

Control de evaporadores

Resumen:

La ponencia sobre control de evaporadores, trata sobre la influencia y el acoplamiento de la válvula de expansión y del evaporador en los sistemas de refrigeración.

Realiza un estudio comparativo de las válvulas de expansión convencionales y las válvulas de expansión electrónicas gobernadas por microprocesadores.

Explica como se puede conseguir un ahorro de energía superior al 10% del total consumido en el proceso de refrigeración

Concluye que la utilización de las válvulas electrónicas que permiten ahorros de energía elevados superiores al 10% del total empleado en el proceso de refrigeración, deben utilizarse con otros sistemas avanzados de control y gestión de compresores para ahorrar por encima de un 20% del consumo energético.

Control de evaporadores

Introducción

Modelo simplificado de ebullición en un evaporador

Estabilidad de la ebullición

Evaporadores de expansión seca

Inyección de líquido

Válvula de expansión termostática

Válvula de expansión electrónica

Factores que afectan a la capacidad de la válvula

Acoplamiento de evaporadores y válvulas de expansión

Válvulas que limitan la presión de trabajo del compresor

Conclusiones

Control de evaporadores

Introducción

Durante muchos años, las válvulas de expansión termostáticas se han utilizado para controlar el suministro de líquido a los evaporadores. La experiencia ha servido para mejorar el sistema, pero al mismo tiempo se han observado fenómenos curiosos difíciles de entender debido a su compleja naturaleza. Es lo que se conoce como inestabilidad del sistema.

La explicación de estos fenómenos físicos tiene mucha importancia para cualquier persona que se ocupa de ajustar el suministro de líquido a los evaporadores. Asimismo el desarrollo de los conceptos que se exponen ha permitido la aparición de nuevos sistemas de control que consiguen mejorar el rendimiento de los evaporadores. En algunos casos estos nuevos sistemas de control permiten alcanzar ahorros de energía por si mismos de hasta el 20%, pudiendo superarse considerablemente cuando se combina con otros sistemas de gestión (presión de evaporación y condensación flotante).

El objeto de este artículo es realizar una presentación simplificada pero completa y sencilla de esta situación.

La información reunida procede de la observación de plantas de refrigeración existentes, y puede afirmarse que esta información se puede utilizar en el día a día en las instalaciones de forma cotidiana. En definitiva, solo se trata de ajustar un sistema formado por el acoplamiento de dos elementos, un evaporador y una válvula de expansión termostática. Ambos elementos forman parte del sistema y son responsables de su funcionamiento. Se puede obtener un funcionamiento perfecto del sistema completo solo cuando los dos elementos se han ajustado conjuntamente.

A continuación se indican las características y propiedades de dichos elementos, así como los comentarios correspondientes.

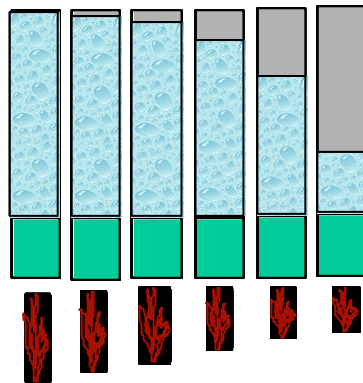
Modelo simplificado de ebullición en un evaporador

El evaporador más simple conocido por cualquiera puede ser de un cazo con leche o agua hirviendo. En este evaporador tan particular, durante el proceso de calentamiento y cuando hierve el líquido se puede observar lo siguiente: Al principio el líquido se calienta hasta alcanzar la temperatura de ebullición. Ignorando el menisco formado en la superficie de contacto entre el líquido y el cazo, hasta que comienza la ebullición, la superficie libre del líquido es plana. Cuando se alcanza la temperatura de ebullición, se producen burbujas de vapor en el líquido. Las burbujas se producen en todo el líquido, y debido a su menor densidad ascienden a la superficie del líquido donde forman una capa de espuma, las burbujas se rompen y el vapor pasa al aire. Sé esta produciendo la evaporación.

Un elemento muy importante en el proceso de la ebullición es la formación de espuma (líquido + vapor) en la superficie del cambio de estado, de líquido a vapor. Por ello, veremos con mas detalle algunos fenómenos asociados a la formación de espuma.

La formación de espuma que es variable, depende de muchos factores como son la cantidad de calor aportado, la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior, propiedades físicas como la tensión superficial, la viscosidad, el régimen de circulación del fluido, etc. Como se ha indicado hay factores que afectan a la naturaleza del líquido, a los fenómenos de transmisión de calor y a la geometría de los recipientes involucrados.

Para simplificar los modelos, se supone que las propiedades físicas del fluido frigorígeno no varían al variar la presión y la temperatura.

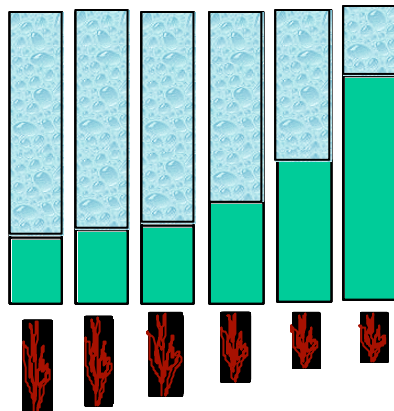
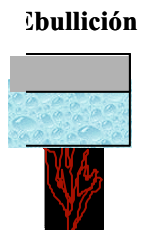


Cuando hay mucho calor, puede suceder que la espuma rebosa por la parte superior del cazo y se salga. Cuando posteriormente se limpia la cocina, lo que se limpia no es espuma, sino líquido, lo cual indica que la espuma arrastra parte de líquido.

Cuando ponemos el cazo con leche como se indica en la figura con un nivel de fuego bajo al hervir la leche forma una zona de espuma de una altura determinada. Al aumentar el nivel del fuego (llama más grande) la zona de espuma se hace mayor, así continua aumentando la espuma al aumentar el fuego

hasta que la espuma alcanza un altura determinada y superior a la altura libre del cazo lo cual provoca que el líquido se salga. El líquido se sale hasta que el nivel de líquido desciende y la altura libre del recipiente sea igual a la de espuma. En esta situación la espuma no rebosa y no puede derramarse el líquido.

Otra forma de expresar lo anterior es diciendo que en un mismo cazo con la misma cantidad de líquido, podemos tener un líquido hirviendo sin derrame de líquido o con derrame de líquido, dependiendo solamente de la cantidad de calor (por unidad de tiempo) aportado al recipiente (carga térmica).



Como en refrigeración normalmente nuestro objetivo es tener inundado el recipiente lo mas posible, debemos realizar el siguiente ensayo. En este caso tenemos el mismo cazo con distintas cantidades de líquido. En esta situación ajustaremos el nivel del fuego al máximo posible pero sin que haya derrame de líquido, o lo que es lo mismo hasta que la espuma llegue justo al borde del recipiente pero sin salirse de él. Tenemos por tanto una zona de espuma de seguridad que como se ve en cada caso es distinta.

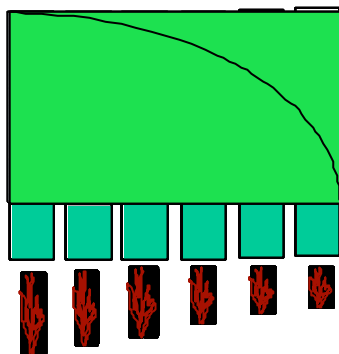
Nótese que cuando más rápido es el aporte de calor, mayor es la formación de espuma, lo cual indica que a mayor carga térmica se produce más espuma.

Estabilidad de la ebullición

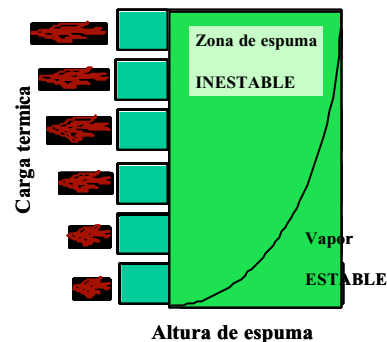
De los ensayos anteriores, es fácil deducir que nuestro objetivo es mantener una ebullición sin producir ningún derrame de líquido. Cuando tengamos una ebullición sin derrame de líquido, diremos que es estable, y si hay derrame la llamaremos ebullición inestable.

Cuando la espuma esta justo en el borde sin rebosar, estaremos en el límite entre la ebullición estable y la inestable. La determinación de este punto es de gran importancia para poder ajustar el calor aportado al recipiente sin que se produzca derrame de líquido, o para ajustar el nivel de líquido de forma que con el calor aportado no se produzcan arrastres de líquido fuera del recipiente.

Cuando se representa de una forma gráfica la posición del fuego del butano (carga de calor) junto con la altura de la zona de espuma de seguridad se obtiene una curva con la forma de la figura.

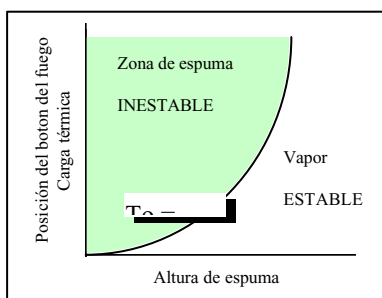


La figura relaciona la zona de espuma en el cazo para cada posición del butano. Al girar dicha figura, se obtiene la de la derecha.



La curva separa la zona de espuma donde se produce arrastre de líquido fuera del recipiente, de la zona en la cual no hay arrastre de líquido.

Esta curva nos dice que si queremos calentar el cazo con el fuego en una posición determinada, debemos dejar una altura del recipiente sin líquido determinada por la curva, para que no haya derrame de líquido al exterior y la espuma llegue justo hasta el borde del recipiente. Si no dejamos esta altura del recipiente libre de líquido, cuando hierva el líquido, este se saldrá; y si dejamos mas altura libre de la indicada, la parte superior a la línea no se utilizará.



La forma de esta curva depende de las características del cazo, del tipo de fuego, y de otros factores, lo cual hace que en la practica sea difícil de determinar.

Evaporadores de expansión seca

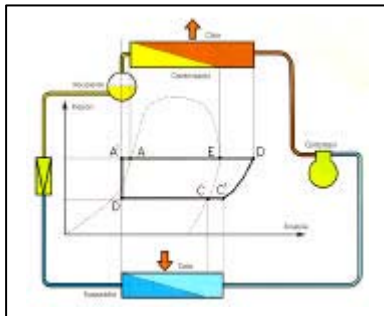
Introducción general

Tal como se ha visto con anterioridad, si tenemos un cazo de altura H , con la curva de estabilidad o de límite de espuma como la indicada tenemos que cuando la carga térmica tiene el valor Q_1 , el cazo está lleno de líquido y espuma justo hasta el borde, si la carga térmica aumenta a un valor Q_2 , se sale espuma del cazo arrastrando líquido al exterior, y si la carga térmica disminuye al valor Q_3 , una parte del evaporador queda sin líquido y sin espuma, y por tanto no se utiliza. Los evaporadores de expansión seca están formados por una batería de tubos paralelos en posición horizontal. Esto hace que el comportamiento difiera del comentado anteriormente del cazo. Entre otros factores no se pueden olvidar la circulación anular en el interior de los tubos, la inestabilidad inherente a la circulación en dos fases, las pérdidas de presión, etc. ya que todo esto complica bastante la ebullición en el interior del evaporador.

Recalentamiento

El recalentamiento es la diferencia entre la temperatura real de un vapor y la temperatura a la presión que se encuentra a la cual empieza a condensar.

En la práctica frigorífica es la resta entre la temperatura leída en un termómetro menos la temperatura equivalente leída con un manómetro, tomadas ambas lecturas en el mismo punto.



El recalentamiento representado por la distancia $C-C'$ es un valor muy importante ya que por un lado nos indica el nivel de inundación en el evaporador, y por otro se utiliza como señal de control y gobierno para la válvula de inyección de líquido al evaporador.

Inundación en un evaporador real

Además de los factores indicados anteriormente como la circulación anular, pérdidas de presión, etc., el nivel de inundación de un evaporador real depende de la forma en que se distribuye el líquido por los distintos tubos, de la carga térmica que recibe cada tubo, de la forma de intercambio de calor (equicorriente o contracorriente), del salto térmico entre el ambiente y el fluido refrigerante, y alguno factor adicional que se olvide.

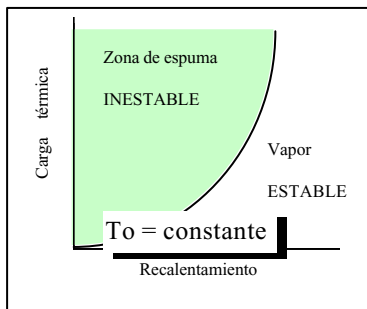
Por ejemplo, el hecho de colocar el distribuidor mirando hacia abajo (el líquido arrastra el vapor), cruzar los tubos del evaporador, inyectar el líquido a la salida del aire a enfriar, son acciones que tienen en cuenta alguno de los efectos señalados antes y que favorecen la inundación del evaporador.

Volviendo al modelo simplificado de ebullición podemos ver que la máxima inundación se alcanza cuando el evaporador (cazo) está con la espuma en el borde superior sin llegar a salirse ni producir derrame de líquido.

Cambiando la palabra espuma por recalentamiento, lo dicho para la ebullición en el modelo simplificado ilustra de una manera intuitiva la evaporación en un evaporador real, indicándonos que dependiendo del nivel de carga térmica se necesita un recalentamiento mayor o menor para que no se produzca arrastre de líquido.

Hay que indicar que los evaporadores estáticos tienen una dinámica diferente, lo cual hace que su regulación difiera a la realizada en los evaporadores de tiro forzado.

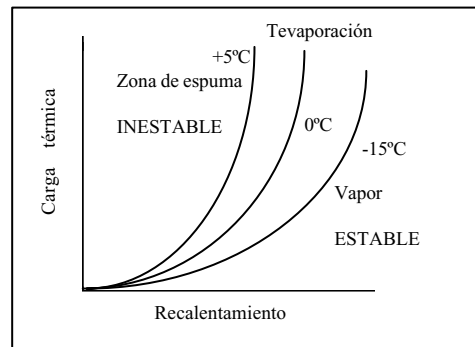
Curva de estabilidad MSS



Si en la curva de estabilidad de la espuma en el cazo, sustituimos la “altura de espuma” por “recalentamiento”, tenemos la curva de estabilidad o de la Mínima Señal eStable (MSS) del evaporador.

Debido a todo lo comentado en las páginas anteriores, la curva de estabilidad es distinta para cada temperatura de evaporación, y también existen factores como un cambio en la forma de transmisión de calor causado por un fallo de un ventilador, hielo en las aletas, una mala distribución, entre otros factores que modifican esta curva MSS característica del evaporador.

Debido a todo lo comentado en las páginas anteriores, la curva de



El conocimiento de la curva MSS pone de manifiesto que para conseguir una inundación determinada, debemos tener un recalentamiento distinto en función de la carga térmica que recibe el evaporador. Esto hace que el recalentamiento que debemos intentar mantener con la inyección es variable y función del nivel de carga térmica.

La experiencia de la inyección nos muestra que cuando se inyecta líquido con un sistema de control automático, cuando el recalentamiento se encuentra en la zona de vapor a la derecha de la curva MSS, la señal del recalentamiento es estable, mientras que cuando está a la izquierda es una señal oscilante debido a la apertura y cierre de la válvula para intentar que no salga líquido (espuma) del evaporador.

Inyección de líquido

Descripción de sistemas de expansión

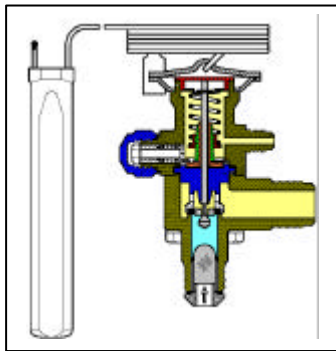
En condiciones ideales, la válvula de inyección debería ajustarse con la curva del evaporador para que en cualquier condición de carga el evaporador estuviera totalmente inundado de líquido, pero sin rebasarlo.

Debido a que la curva de estabilidad MSS del evaporador, no es fija, sino que depende de la forma en que se transmite el calor al evaporador, la inyección óptima será difícil de conseguir en todas las condiciones que pueden presentarse en el evaporador.

En los sistemas de expansión utilizados como pueden ser los tubos capilares, las válvulas de expansión termostáticas y las válvulas de expansión electrónicas, el ajuste a la curva MSS es distinto. El tubo capilar realiza una inyección constante y fija, y solo se utiliza en sistemas pequeños en los cuales no hay variación de carga térmica en el evaporador. La válvula de expansión termostática permite el ajuste en unas condiciones de carga fijas, y la válvula electrónica puede ajustarse a la curva MSS. Ambas se estudian con mas detalle en las secciones siguientes.

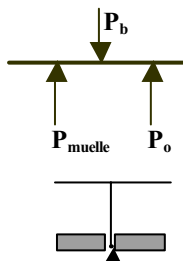
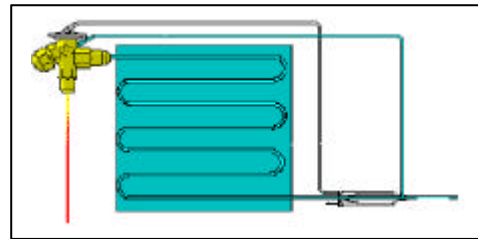
Válvula de expansión termostática

Descripción



Las válvulas termostáticas están formadas por varias partes. Un motor presostático y termostático, un limitador de caudal máximo (orificio o tobera), y un cuerpo o soporte donde se sujetan los otros elementos.

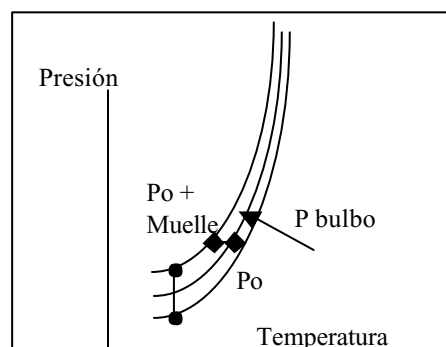
En la válvula existe un bulbo que mide la temperatura en el tubo de salida del evaporador, y una conexión por medio de un tubo externo que pone en contacto la cabeza termostática con la presión en el evaporador, (en algún caso la conexión con la presión se realiza internamente en la válvula).



En las válvulas de expansión termostática la temperatura de salida del evaporador (una vez convertida en presión) se resta de la presión de evaporación poniendo la presión y la temperatura a ambos lados de un diafragma. Consecuencia de la resta de la presión y temperatura (recalentamiento) y la fuerza que opone un muelle, en el diafragma de la válvula, este se desplaza haciendo de

motor para cerrar o abrir el agujero situado en el orificio (tobera).

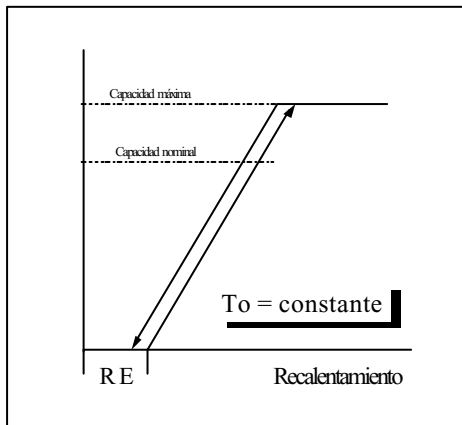
El actuador de este motor de diafragma es un liquido en el interior de un bulbo que al



aumentar la temperatura se evapora aumentando la presión en el interior del bulbo en la parte superior del diafragma. La presión aumenta debido al aumento en el número de moléculas en la fase vapor, y a la dilatación. El líquido es específico para cada refrigerante, no debiéndose utilizar válvulas de un refrigerante para otro.

El líquido que se encuentra en el interior del bulbo es un líquido que debe tener una presión de vapor desplazada 4 °C con la presión de vapor del refrigerante y el muelle del recalentamiento. La dificultad de ajustar la curva del bulbo a 4°C de la curva del refrigerante más el muelle, obliga a la existencia de válvulas de expansión termostática con distinto rango de temperatura.

Funcionamiento



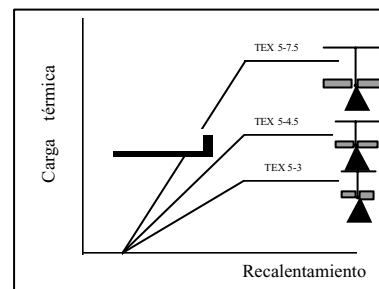
La válvula de expansión termostática está gobernada por el recalentamiento que hay en el lugar que se coloca el bulbo detector de temperatura y la presión que se transmite por medio de la línea de igualación.

En todas válvulas de expansión termostática existe un muelle que se opone a la apertura de la válvula influyendo en cuando, como y cuanto se abre la válvula.

Para que la válvula comience a abrir es necesario alcanzar el recalentamiento estático (RE). A partir de este punto, según aumenta el recalentamiento aumenta la apertura y el caudal de líquido (capacidad de la válvula) que pasa por la válvula. Las válvulas se definen para una capacidad nominal que suele estar entorno al 80% de la capacidad máxima.

En la figura anterior se ve una línea de apertura (subida), y otra línea de cierre (bajada), esta histéresis es debida a las fuerzas de rozamiento que siempre se oponen al movimiento. En las válvulas de expansión termostáticas de Danfoss esta fuerza es prácticamente despreciable y por consiguiente solo representaremos una línea considerando que es una curva ideal sin histéresis.

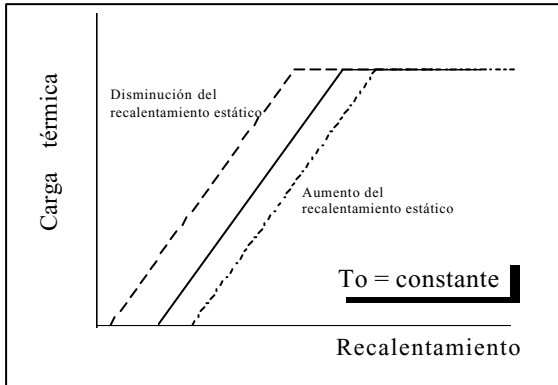
La figura de la derecha representa la curva característica de varias válvulas de expansión termostáticas con distintas capacidades. Como puede verse al cambiar a una válvula mayor tenemos una línea recta con mayor pendiente. Esto se utilizará mas adelante para conseguir un mejor acoplamiento entre evaporador y válvula.



Modificación del recalentamiento estático

El valor mínimo del recalentamiento con el cual la válvula comienza a abrir es el llamado recalentamiento estático, y puede modificarse aumentando o disminuyendo la tensión de un muelle con el tornillo del recalentamiento. Por ejemplo en las válvulas termostáticas el ajuste inicial de fábrica generalmente es de 4°C.

Cuando se aumenta la fuerza del muelle, se desplaza la curva hacia la derecha aumentando el recalentamiento estático. Para desplazarla hacia la izquierda y disminuir el recalentamiento estático, se debe disminuir la tensión en el muelle.



El muelle del recalentamiento no se debe quedar sin tensión, ya que en ese caso, la válvula dejara de regular correctamente y tendrá un comportamiento inestable.

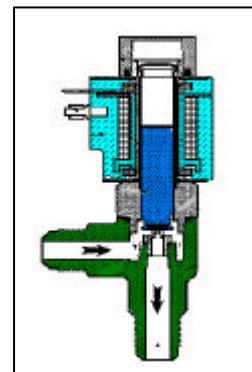
Válvula de expansión electrónica

Descripción

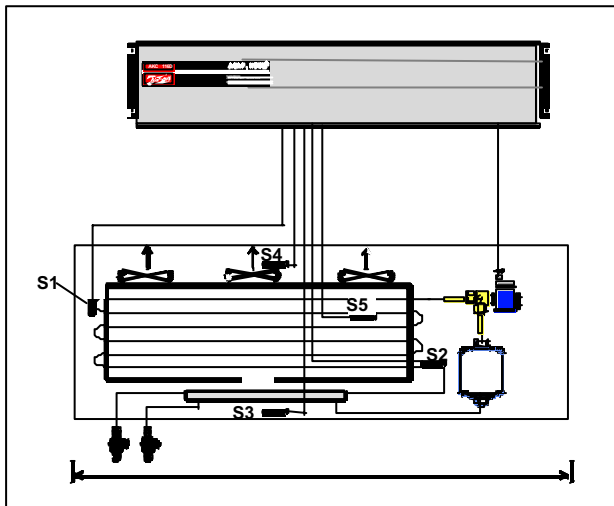
Uno de los problemas que han presentado las válvulas de expansión electrónica, ha sido trabajar en las condiciones existentes en el proceso de expansión. En la expansión se tiene líquido a la entrada de la válvula a una presión alta (incluso superior a 20 bar), y a la salida, hay una mezcla de vapor y de líquido con una presión baja (incluso presiones negativas). Debido a la dificultad en el diseño de las válvulas, han surgido dos conceptos diferentes. Uno las válvulas motorizadas de etapas, y otro las válvulas de pulsos. Ambos sistemas coexisten y nadie sabe si en el futuro se impondrá un sistema o coexistirán ambos.

Las válvulas de etapas, están gobernadas bien por un motor electromecánico, o bien por una solenoide de campo variable, mientras que las válvulas de impulsos son válvulas de solenoide-expansión especiales que modulan el tiempo de apertura en periodos de tiempo muy cortos (pulso cortos en periodos de 6 segundos o inferiores) consiguiendo aperturas menores de un segundo.

A continuación pueden verse las válvulas de expansión electrónica tipo AKV de impulsos con modulación del tiempo de apertura.



Los sistemas de expansión electrónica están formados por un conjunto de sensores de presión y/o temperatura, un regulador electrónico que analiza la información que recibe de los sensores procesándola y estableciendo las ordenes que transmite a una válvula que regula el flujo de líquido al evaporador.



La señal de presión se mide con un transmisor de presión o de temperatura, y las de temperatura con una sonda de temperatura. Estas señales se envían al regulador, el cual las analiza e integra en su sistema de control, dando las ordenes correspondientes al elemento actuador en la válvula de expansión.

Funcionamiento

En las válvulas de expansión termostáticas la inyección es proporcional al recalentamiento siguiendo una línea recta de trabajo. Esta recta no se puede acoplar a la curva MSS del evaporador, por lo cual hay que recurrir a tecnologías especiales para poder mejorar la forma de inyección en el evaporador.

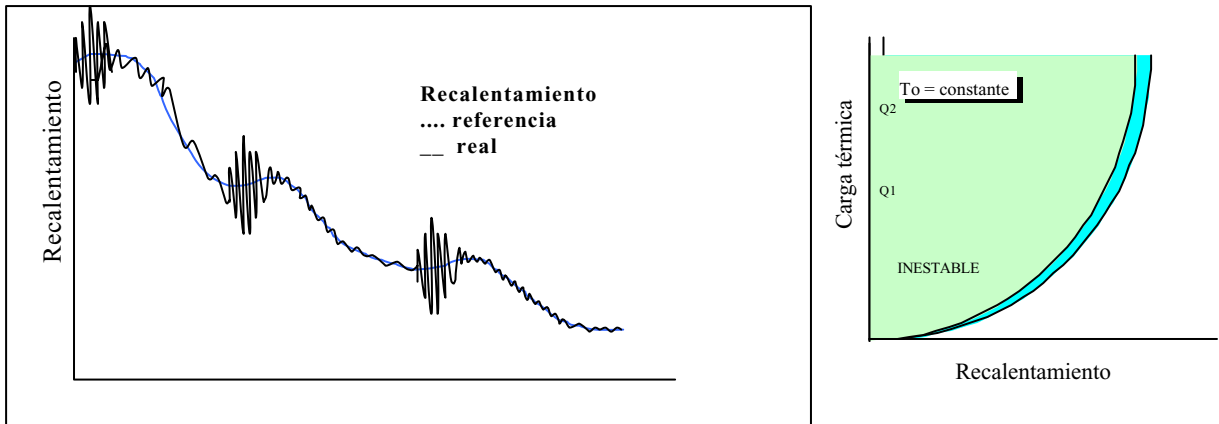
Para esto es necesario el empleo de la electrónica, nuevas válvulas de expansión, y reguladores electrónicos. El empleo de estos nuevos productos junto con el conocimiento de la dinámica interna de los evaporadores (curva MSS) permiten el control de los evaporadores con un mayor nivel de inundación.

Se ha visto que la curva MSS pone de manifiesto que para conseguir una inundación determinada, debemos tener distinto recalentamiento en función de la carga térmica que recibe el evaporador. Esto hace que el recalentamiento que debemos intentar mantener con la inyección es variable y función del nivel de carga térmica.

La experiencia de la inyección nos muestra que al inyectar líquido con un sistema de control automático, cuando el recalentamiento se encuentra en la zona de vapor a la derecha de la curva MSS, la señal del recalentamiento es estable, mientras que cuando está a la izquierda la señal es oscilante debido a la apertura y cierre de la válvula para intentar que no salga líquido (espuma) del evaporador. Como por un lado del evaporador no debe salir líquido que pueda romper el compresor, y por otro lado debe estar siempre lleno para obtener el máximo de superficie de intercambio, se deduce que debemos analizar el recalentamiento a

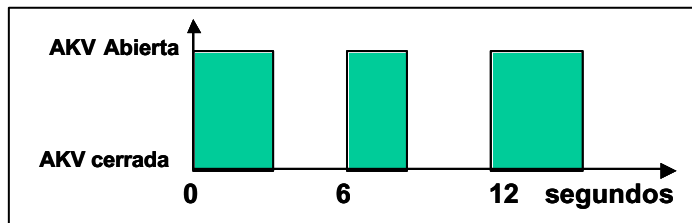
la salida del evaporador. Este estudio se realiza por medio de un estudio de estabilidad de forma que se pueda determinar si el recalentamiento se puede reducir a valores más pequeños.

Esta es la idea desarrollada por Danfoss en sus reguladores electrónicos, en los cuales el propio regulador con los algoritmos de control introducidos en él, es quien basado en un análisis de estabilidad, determina el recalentamiento que debe tener el evaporador en cada instante, y después intenta mantener este valor controlando la apertura de la válvula. De esta forma consigue adaptarse a la forma de la curva MSS en cualquier condición de carga.



Aunque la idea es sencilla y normalmente hay muchos sistemas de control utilizando estos conceptos, el problema que se plantea en la inyección, es que las ecuaciones y sistemas que gobiernan la evaporación y la transmisión de calor no son lineales y no pueden utilizar los mismos algoritmos de control en condiciones de carga muy distintas. Esto hace que haya que definir muchos parámetros adaptativos en los algoritmos de control.

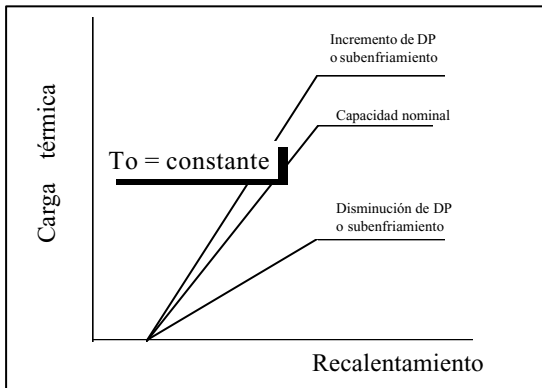
Las válvulas de expansión electrónicas por modulación de impulsos, abren y cierran una vez cada 6 segundos. En ciertos controladores el periodo es ajustable entre 3 y 6 segundos. Los 6 segundos se han elegido como un tiempo corto de forma que no interfiere en la dinámica del evaporador ya que el tiempo de respuesta del evaporador es mucho mayor, y por otro lado permite una vida de la válvula de solenoide suficientemente larga (10 años).



Factores que afectan a la capacidad de la válvula

La válvula de expansión termostática tiene un orificio con un tamaño determinado por el cual debe pasar LÍQUIDO para inundar el evaporador. En función del grado de apertura podrá pasar mayor o menor caudal de líquido, pero además de la

apertura, hay otros factores que influyen en el caudal de líquido o en la cantidad de frío asociada al líquido que pasa. Estos factores son la diferencia de presiones entre la entrada y la salida de la válvula de expansión y el subenfriamiento.



Un aumento en la diferencia de presiones, provoca un aumento en el caudal de fluido, y un mayor subenfriamiento genera una capacidad frigorífica mayor en el líquido que entra al evaporador. Luego tanto un incremento en la diferencia de presión como en el subenfriamiento aumentan la capacidad de la válvula de expansión.

En las válvulas de expansión termostática, esto se traduce en una

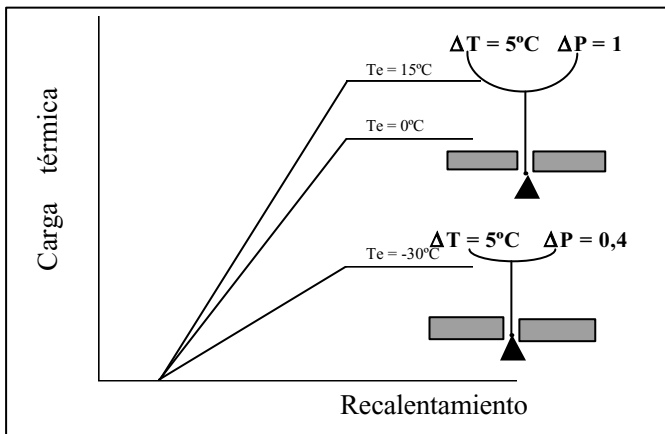
curva característica con una pendiente mayor de la nominal (mas inclinada).

También en este punto se debe tener en cuenta que cuando aumenta mucho el subenfriamiento, el régimen de circulación del fluido en el interior del evaporador puede cambiar disminuyendo la capacidad total del evaporador sin que pueda evaporar todo el líquido.

Un descenso de la diferencia de presiones o un subenfriamiento nulo produce el efecto contrario reduciendo la capacidad de la válvula, lo cual se traduce en una pendiente en la recta más suave.

Un factor que reduce de forma drástica la capacidad de la válvula de expansión es la presencia de burbujas o bolsas de vapor en la entrada de la válvula de expansión, ya que el volumen ocupado por el vapor disminuye el espacio para el paso de líquido por la válvula al evaporador. Para evitar los efectos de esta anomalía como es la pérdida de capacidad y la formación de hielo en la entrada del evaporador es recomendable colocar siempre un visor de líquido en la entrada de la válvula de expansión.

También de debe tener en cuenta la influencia en las variaciones de la presión de condensación, ya que estas se transmiten automáticamente al líquido que entra en la válvula de expansión modificando la cantidad de líquido que pasa por la válvula de expansión.



Otro factor necesario a la hora de seleccionar una válvula de expansión termostática, es la temperatura de evaporación, ya que cuanto menor es la temperatura de evaporación, menor es la apertura máxima de la válvula y menor es la capacidad. Esto es debido a que por ejemplo con R22 evaporando a 5°C , 5°C de

incremento de temperatura incrementa la presión 1 bar, pero evaporando a -30°C , 5°C de incremento de temperatura aumenta la presión 0,4 bar, con lo cual el movimiento de muelle y del diafragma será menor.

En las válvulas electrónicas por modulación de impulsos tipo AKV que pueden regular incluso por debajo del 10% de su capacidad máxima, solo se debe tener en cuenta la aplicación, para que cuando se deba de inundar el evaporador rápidamente como puede ser después de un desescarche, la válvula tenga capacidad suficiente. Además prácticamente no se ve afectada por la caída de presión en la válvula como en las termostáticas, lo cual permite condensar mas bajo.

Acoplamiento de evaporadores y válvulas de expansión.

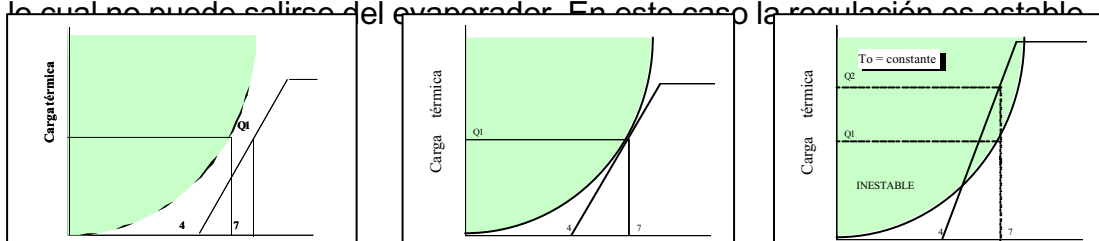
Descripción del acoplamiento válvula de expansión termostática y evaporador

Como se ha visto anteriormente, cada evaporador tiene una curva característica de funcionamiento, la cual depende de una serie de parámetros, y cada válvula de expansión termostática tiene otra curva característica en función de ciertos parámetros. En la practica cotidiana estos dos elementos trabajan juntos, por lo cual se tiene que dar una compatibilidad entre los dos elementos. O dicho de otra forma cuando trabajan juntos, las señales que gobiernan la válvula de expansión proceden del evaporador viéndose afectados por la forma de trabajo y funcionamiento del evaporador, el cual a su vez se ve afectado por la inyección que produce la válvula de expansión y el recalentamiento que indica el nivel de inundación. Esto indica que los parámetros que gobiernan la inundación en el evaporador y el funcionamiento de la válvula de expansión son los mismos.

Teniendo en cuenta que el evaporador presenta la curva MSS que indica el recalentamiento mínimo del evaporador en función de la carga térmica para que no rebose líquido y que la válvula termostática sigue una recta indicando que inyecta una cantidad de líquido (carga térmica a evaporar) en función del recalentamiento, cuando se representan las dos líneas (curva MSS y recta de la termostática) juntas, obtendremos una de las tres figuras siguientes:

En todas las figuras la carga térmica aportada al evaporador vendrá determinada por la temperatura del aire y por la presión de evaporación.

En la figura de la izquierda, cuando el calor aportado es Q_1 , se tiene que el evaporador necesita una zona de seguridad para que no salga líquido medido por un recalentamiento de 7°C (altura de espuma de 7cm), por otro lado la válvula de expansión cuando recibe la señal de 7°C de recalentamiento, abre para permitir el paso de una cantidad de líquido que al evaporarse produce un frío de Q_1 kW. Como la recta de la válvula de expansión está mas a la derecha de la curva MSS del evaporador, tenemos que el evaporador tiene una zona al final sin líquido, por lo cual no puede salirse del evaporador. En este caso la regulación es estable.

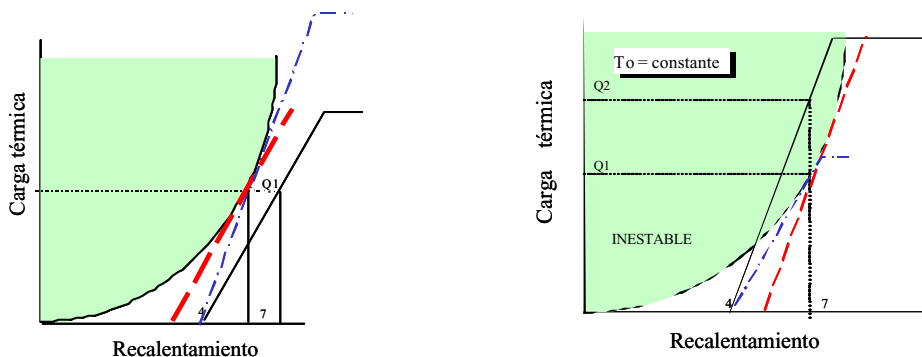


En la figura central cuando el calor aportado es Q_1 , se tiene que el evaporador necesita una zona de seguridad para que no salga líquido medido por un recalentamiento de 7°C (altura de espuma de 7cm), por otro lado la válvula de expansión cuando recibe la señal de 7°C de recalentamiento, abre para permitir el paso de una cantidad de líquido que al evaporarse produce un frío de Q_1 kW. En este caso al ser tangentes la recta y la curva, tenemos que el líquido llega justo hasta el borde del evaporador pero sin llegar a salirse. La regulación es estable.

En la figura de la derecha cuando el calor aportado es Q_1 , se tiene que el evaporador necesita una zona de seguridad para que no salga líquido medido por un recalentamiento de 7°C (altura de espuma de 7cm), por otro lado la válvula de expansión cuando recibe la señal de 7°C de recalentamiento, abre para permitir el paso de una cantidad de líquido que al evaporarse produce un frío de $Q_2 > Q_1$ kW, en este caso con el recalentamiento de 7 entra más líquido que el que puede evaporar la carga térmica, por lo cual el líquido sale del evaporador y va al compresor. El bulbo detecta el líquido que sale midiendo un recalentamiento inferior que incluso puede ser negativo, con lo cual la válvula cierra para inyectar menos. En este caso como entra poco fluido, la carga térmica lo evapora y recalienta a valores más altos, con lo cual la válvula vuelve a abrir hasta el valor Q_2 , con lo cual volvemos a estar en el punto de partida. A partir de este momento el ciclo se repite y la válvula continuará abriendo y cerrando de forma brusca produciendo una inyección pobre, inestable y líquido saliendo el evaporador. En este caso la regulación es inestable.

Teniendo en cuenta que la situación ideal es la de tangencia y recordando que existen rectas de válvulas de expansión con distinta pendiente con válvulas de distinto tamaño (orificio) y que también puede desplazarse la recta hacia la derecha o izquierda modificando la fuerza del muelle se pueden encontrar dos tipos de soluciones:

En la figura de la izquierda, se puede aflojar el tornillo que comprime al muelle del recalentamiento estático (quitar tensión) hasta hacer la recta tangente a la curva, o poner otra válvula con una recta de mayor pendiente.



En la figura de la derecha, se puede apretar el tornillo que comprime al muelle del recalentamiento estático (aumentar tensión) hasta conseguir que la recta y la curva sean tangentes, o poner otra válvula con una recta de menor pendiente.

Los fabricantes de válvulas de expansión siempre recomiendan sustituir la válvula a un tamaño distinto para que la recta de la válvula se acople mejor a la curva característica del evaporador.

Consecuencia de lo dicho al seleccionar una válvula de expansión se recomienda elegir una válvula que nos permita sustituir el tamaño del orificio a un valor superior y a un valor inferior.

Criterio de estabilidad

El funcionamiento estable de un sistema de evaporador y válvula de expansión esta asegurado cuando la capacidad de la válvula es igual o inferior a la capacidad del evaporador.

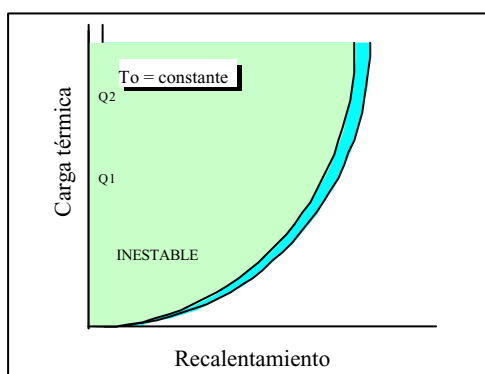
En caso de cambios en la instalación, como pueden ser las condiciones de condensación durante el día y la noche, en verano o en invierno, la presión de evaporación por parada de un compresor, falta de gas, etc. modifican la curva característica de la válvula y por tanto el funcionamiento del evaporador. Consecuencia de esto puede suceder que la instalación esta funcionando perfectamente sin ningún problema, y de vez en cuando aparezca algún inconveniente.

Descripción del acoplamiento válvula de expansión electrónica y evaporador

Debido a que la curva del evaporador solo puede coincidir con la recta de la válvula de expansión termostática en el punto de tangencia, resulta que cuando las condiciones de carga son distintas de las indicadas en este punto el evaporador no está totalmente inundado, y en consecuencia sólo se utiliza parcialmente.

Además al cambiar las condiciones en el entorno de la válvula y del evaporador cambia la curva del evaporador y la recta de la VET, con lo cual el punto de equilibrio de expansión optimo se desplaza a otro punto con el consiguiente desaprovechamiento del evaporador.

Para superar estas limitaciones, es necesario que la línea de trabajo de la válvula de expansión se acople a la línea de funcionamiento del evaporador (curva MSS), debiendo tener en cuenta que la línea del evaporador (curva MSS) que depende de la temperatura de evaporación y de las condiciones de carga, no es fija, y es diferente para cada evaporador.



El regulador electrónico que recibe señales de los sensores de presión y temperatura y gobierna la válvula de expansión electrónica, con los algoritmos de control introducidos en él, es quien realiza un análisis de estabilidad, y determina el recalentamiento que debe tener el evaporador en cada

instante. Después intenta mantener este valor calculado del recalentamiento controlando la apertura de la válvula. De esta forma consigue adaptarse a la forma de la curva MSS en cualquier condición de carga.

Además al tener en cuenta la gran cantidad de evaporadores que existen, se plantea otro problema adicional, que es la necesidad práctica de adaptación del sistema de expansión a cualquier válvula de expansión y a cualquier evaporador. En este punto hay que indicar que el software disponible en la actualidad contiene ajustes para definir la aplicación y el tipo o tamaño de la válvula con los cuales se está trabajando.

Válvulas que limitan la presión de trabajo del compresor (MOP)

Cuando en una instalación es necesario proteger al compresor contra altas presiones de aspiración, se pueden montar válvulas de expansión que a partir de temperaturas en el bulbo superiores a un valor fijo la válvula comienza a cerrar, de forma que disminuye la inyección y baja la presión de aspiración, o también se puede montar un sistema de un regulador con válvula electrónica que permite ajustar una temperatura cualquiera para proteger al compresor

CONCLUSIONES

Las válvulas de expansión electrónica permiten:

Inundar mejor el evaporador.

Utilizar con cualquier refrigerante.

Trabajar con menores presiones de condensación (modulantes por pulsos).

Controlar basándose en la temperatura del aire.

Realizar un montaje e instalación más sencillos

Hacer un ajuste más simple (sin tornillos)

Ahorrar desde un 10 a un 20% de energía

Crece nuestra planta desde un 10 a un 20% sin penalización energética ni económica

Por todo lo cual y teniendo en cuenta la tendencia actual de no permitir incrementar la producción de CO₂ en los países de la comunidad europea, se prevé un aumento de este tipo de válvulas, ya que la sustitución de válvulas termostáticas por electrónicas permitirá un crecimiento de nuestro negocio entre el 10 y el 20% sin ningún tipo de penalización por aumento en el consumo de energía.