

TUBOS CAPILARES

Todos los sistemas de enfriamiento por compresión (aire acondicionado o refrigeración) requieren un reductor de presión o de control de flujo o dosificación de la sustancia de trabajo (o refrigerante) del lado de alta al lado de baja presión. Fig. 1

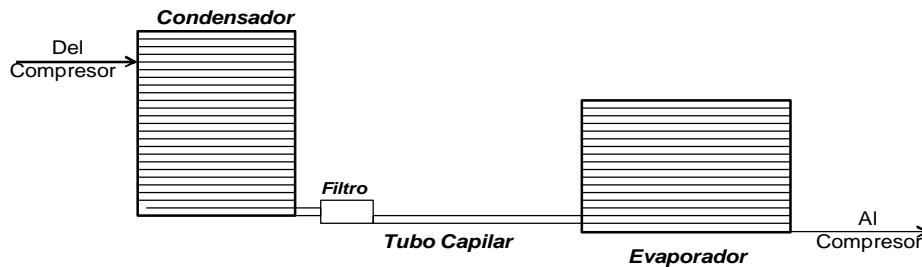


Fig. 1



El Tubo Capilar como elemento dosificador del flujo de refrigerante es muy popular, para los equipos compactos de aire acondicionado y refrigeración especialmente en equipos pequeños, arriba de 5 caballos de potencia se aumenta la carga de refrigerante y la capacidad del compresor, haciendo mas difícil las aplicaciones con tubos capilares, y por lo tanto se recomienda que las aplicaciones sean menor de 5 HP, en refrigeración doméstica, aire acondicionado, congeladores, deshumidificadores, etc. tipo compacto o paquete. Su operación se basa en que la cantidad del flujo de refrigerante (masa) en estado líquido pasa con facilidad a través de un tubo de diámetro pequeño, en cambio cuando está en estado de vapor su restricción al pasar por el tubo es mayor, Conecta la salida del refrigerante del condensador a la entrada del evaporador. En algunos casos se solda en forma paralela, la tubería de succión del compresor al tubo capilar, formando un intercambiador de calor, con el objeto de mejorar el funcionamiento y eficiencia del ciclo.

Como las presiones de descarga y de succión del compresor (presión de condensado y presión de evaporación, dependen de la temperatura ambiente y de la carga térmica del refrigerador (o enfriador) respectivamente), En las aplicaciones con tubo capilar, estas variaciones de presiones no son muy grandes, ya que estos equipos relativamente pequeños se encuentran ubicados en lugares de temperatura controlada, con variaciones de temperatura no muy grandes, por lo que las aplicaciones con tubo capilar son ideales.

Las variaciones de carga no son grandes, por lo que en estos sistemas no se requieren recipientes de líquido, y consecuentemente la carga de refrigerante es mucho menor, casi todos los sistemas de aire acondicionado, refrigeración domestica, etc., son con tubo

capilar, y se producen millones cada año (mas otros millones de años anteriores), el ahorro de refrigerante por este concepto es monumental. Un gran porcentaje de estos sistemas no se carga con la cantidad correcta de refrigerante, esto conduce a una ineficiencia de operación de los sistemas, y a daños a los compresores. Por ejemplo, un sistema que tiene una deficiencia de refrigerante de un 10 %, resulta en un 20 % de disminución de eficiencia. Un equipo de 36000.0 Btu/h, requiere aproximadamente 2.7 Kg. de refrigerante R-22, y tendría un EER de 9.0, si se carga con 1/ 4 Kg. menos tendría un EER de 7.5. equivalente a una reducción de capacidad del 15 % (se necesitaría que el equipo funcionara un 15 % más de tiempo a un costo mayor, para lograr el enfriamiento requerido). En sistemas con tubo capilar la carga de refrigerante es crítica, ya que si la carga es baja, el evaporador no se llena y como ya se indicó, no entregará su capacidad especificada, menor confort, y trabajará ineficientemente, el retorno escaso de refrigerante al compresor, a mayor temperatura, causará un enfriamiento del motor inadecuado, deteriorándolo y finalmente su quemadura, también ocasionando altas temperaturas de descarga dañando el plato de válvulas.

Una deficiencia pequeña de carga de refrigerante, causará una gran pérdida de capacidad y eficiencia en el sistema, y daños al compresor.

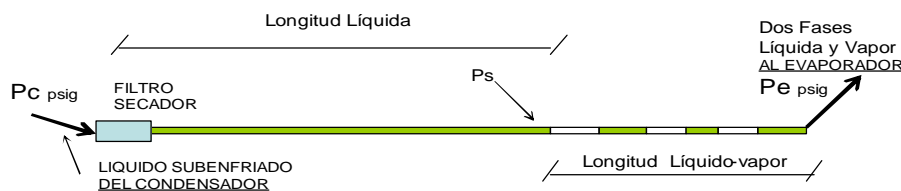
Por otro lado la sobrecarga de refrigerante ocasiona altas presiones de descarga. y por lo tanto alto consumo eléctrico, también causará retorno de refrigerante líquido al compresor, con la consecuente dilución de aceite y por lo tanto la falla de lubricación y rotura del tren mecánico.

Por lo anterior se concluye la importancia de la carga precisa de refrigerante en los sistemas con tubo capilar.

Una ventaja de los sistemas de tubo capilar es que cuando el compresor para, el refrigerante continua su flujo al evaporador, por lo que las presiones del lado de alta y de baja se igualan en corto tiempo, permitiendo el uso de motores y sus componentes de bajo par de arranque

El tubo capilar es de un diámetro pequeño, y por lo tanto susceptible a taparse con cualquier material extraño, y es por lo tanto necesario la utilización de un filtro secador en su entrada. La requerimiento rígido de la cantidad de carga de refrigerante, así como su limpieza, hacen de estos sistemas el fabricarlos en forma compacta, y que salgan de fábrica sellados.

Las principales variables que afectan el funcionamiento del tubo capilar son: Sus Dimensiones largo, y su diámetro. Su Presiones, de entrada o de condensado, y de salida o de evaporación, y el Subenfriamiento del Líquido a su entrada del tubo.



La Temperatura es constante a lo largo del Tubo Capilar. La presión va disminuyendo de P_c (presión de condensado) hasta P_s (presión de saturación) donde el refrigerante se cambia a las fases vapor-líquido., hasta la presión de evaporación P_e

Dibujo de un Tubo Capilar



Como ya se mencionó el control del flujo de refrigerante en el tubo capilar viene del principio físico de que el líquido y el vapor tienen diferencia a fluir. El líquido tiene menos resistencia que el vapor. A medida que el refrigerante entra al tubo capilar a una presión de condensado P_c , esta presión se va reduciendo a temperatura constante T_c , hasta que llega a la presión de saturación P_s a esta temperatura, en ese lugar el refrigerante se evapora y continua por el resto de la longitud del tubo, bajando aún más su presión, en la condición de dos fases Líquida-Vapor. El punto donde se inicia la evaporación se denomina punto de ebullición o de burbujeo.

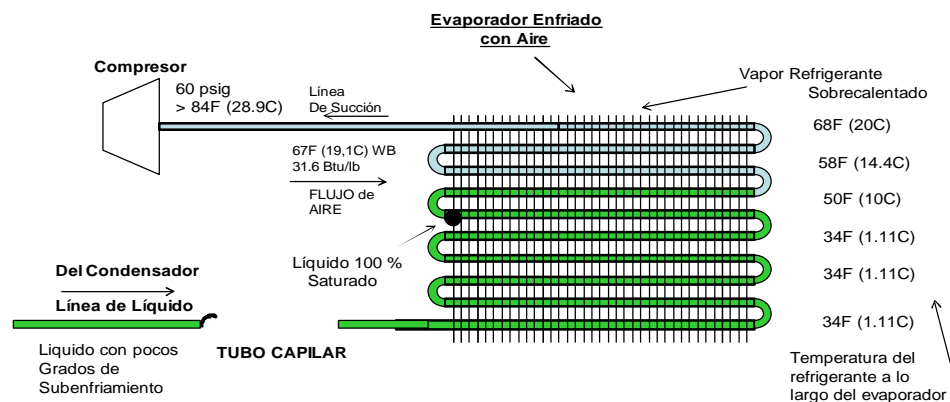
Cuando la temperatura ambiente aumenta, entonces aumenta la presión de descarga, el subenfriamiento decrece, por lo tanto la restricción del tubo se aumenta, contrarrestando el efecto del aumento de presión, o sea el tubo capilar se ajusta asimismo.

Para seleccionar un tubo capilar, existen tablas de selección publicadas por ASHRAE que nos proporciona el diámetro y longitud de un tubo capilar, basándose en la capacidad requerida, tipo de refrigerante, aplicación (temperaturas). Después de todas maneras es necesario hacer las pruebas (prueba y error), al tubo seleccionado hasta ajustarlo a las condiciones deseadas.

Teóricamente existen una gran cantidad de combinaciones Longitud-Diámetro que nos proporcionen el flujo de refrigerante y presiones requeridas, pero existen limitaciones prácticas: Por ejemplo un diámetro pequeño será más propenso a taparse con materia extraño, además de mantener su tolerancia en su diámetro en la fabricación del tubo. Un diámetro grande implica longitudes muy grandes e imprácticas, con altos costos. Un tubo capilar corto y de gran diámetro, puede crear problemas de operación, cualquier fluctuación o imperfección, puede tender a pasar refrigerante líquido al compresor..

Hemos mencionado la importancia de la carga de refrigerante en los sistemas con tubo capilar, como se afecta la eficiencia, capacidad, y funcionamiento. El método recomendable para la determinación de la carga de refrigerante, es el del sobrecalentamiento a la entrada al compresor, que indirectamente nos controla también el subenfriamiento en el condensador. Recordando que el sobrecalentamiento es el calor sensible (que se puede medir) que se añade a un líquido refrigerante que causa que su temperatura se eleve.

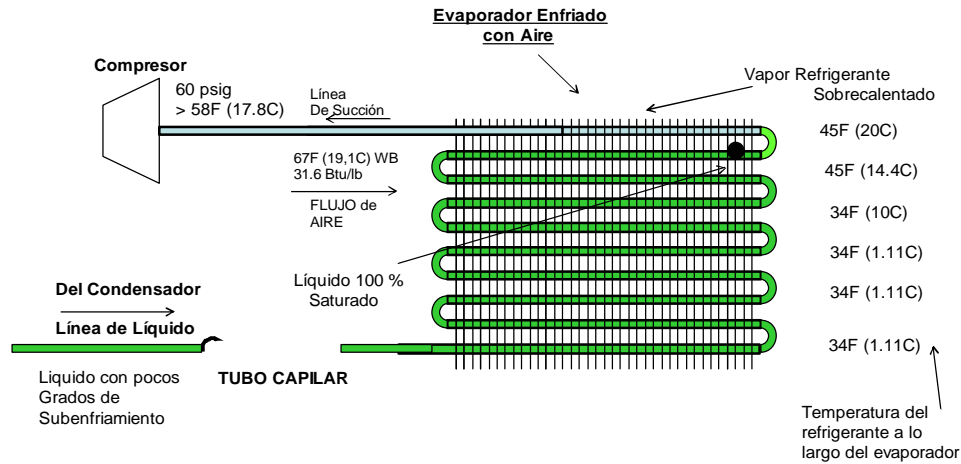
Los dos diagramas a continuación explican el método:



El Sobrecalentamiento es excesivo: $84.0 - 34.0 = 50^{\circ}\text{F}$ (27.8°C)
El evaporador se está usando incompleto, prácticamente solo la mitad
Le falta carga de refrigerante

SISTEMA CON DEFICIENCIA DE REFRIGERANTE





El Sobrecalentamiento esta bien : $58.0 - 34.0 = 24^{\circ}\text{F}$ (13.3°C)

El evaporador se esta usando completo.

La carga de refrigerante es correcta

SISTEMA CON CARGA CORRECTA DE REFRIGERANTE

La forma entonces para determinar la carga de refrigerante en sistemas con tubo capilar, es mediante la medición del sobrecalentamiento a la entrada al compresor, si el sobrecalentamiento es alto la carga de refrigerante esta baja (y también el subenfriamiento del líquido refrigerante a la salida del condensador, antes del tubo capilar, está bajo), la capacidad y eficiencia del sistema estarán bajas, Será necesario añadir refrigerante, el subenfriamiento en el condensador se aumentará, y el sobrecalentamiento a la entrada al compresor disminuirá. Como lo indican las dos figuras anteriores. También el punto de ebullición en el tubo capilar se moverá a la derecha (en la figura respectiva) y el flujo de refrigerante en el sistema se aumentará, mejorando la capacidad y eficiencia del sistema. Es importante en el evaporador tomar en cuenta la humedad ambiental, por eso es necesario medir la temperatura de bulbo húmedo del aire (WB), ya que esta humedad al condensarse en el evaporador es calor latente de condensación que se tiene que añadir a la carga térmica, sino se considera se tendrá un error en la determinación de la carga de refrigerante.

