INTRODUCCION

El MANUAL TECNICO VALYCONTROL ha sido publicado como respuesta a la inquietud de muchas personas en VALYCONTROL que han tenido en el transcurso de los años en su desarrollo profesional el deseo de aportar sus conocimientos y experiencias en beneficio de nuestro medio de refrigeración y aire acondicionado.

No pretende en ninguna forma ser un libro de texto, ni un curso de refrigeración y aire acondicionado. El énfasis principal se hace en los diferentes componentes y accesorios para protección y control de flujo de los sistemas, así mismo se tratan otros temas complementarios con el objetivo de proporcionar un conocimiento a fondo de una manera detallada; tales como el manejo de tablas, la carta psicrométrica, aceites para refrigeración, método para la limpieza de un sistema, propiedades y características de los refrigerantes CFC's, HFC's, HCFC's y mezclas (blends).

La metodología seguida en el desarrollo de los capítulos fue el de definir en principio el producto en cuestión, mencionar los diferentes tipos, sus características así como su ubicación recomendada, capacidades y método de selección.

En este MANUAL TECNICO VALYCONTROL hemos tratado de incluir la información técnica más actualizada a la fecha que consideramos pueda ayudar en esta época de cambios tecnológicos tanto a estudiantes como a técnicos e ingenieros especializados. Desde luego mucha información con la que cuenta VALYCONTROL ha sido imposible incluirla por lo que invitamos a nuestros amigos a dirigirse a nuestro departamento técnico enviando sus consultas.

Este manual es el resultado de muchos años de trabajo, por lo que nuestro mejor reconocimiento es el que su consulta sea útil al medio de refrigeración y aire acondicionado

VALYCONTROL, S.A. DE C.V.

AYUDEMOS
a la protección del
MEDIO AMBIENTE

Capítulo 1

FILTROS DESHIDRATADORES

Prólogo

En los principios de la refrigeración mecánica, los sistemas no eran tan sensibles a los materiales extraños como lo son ahora. Los sistemas modernos están diseñados para operar a temperaturas más altas, usando compresores que trabajan a mayor velocidad y que son construidos con espacios más reducidos. Bajo estas condiciones, los contaminantes pueden causar problemas serios y sobre todo, reparaciones muy costosas.

En cualquier sistema de refrigeración, el refrigerante y el aceite recorren el circuito cientos de veces cada día. Si existen contaminantes dentro del sistema, éstos circularán con el refrigerante y el aceite y, tarde o temprano, se presentarán problemas como fallas en el funcionamiento de la válvula de expansión, obstrucción del tubo capilar o daños al compresor, ya que estos componentes son los mas afectados por los contaminantes. El refrigerante y el aceite deben mantenerse todo el tiempo limpios, libres de humedad o de cualquier otro contaminante. La mejor manera, y la única, de proteger estos componentes, es instalando filtros deshidratadores en el sistema. Esto es particularmente más importante con los motocompresores, en los cuales el embobinado del motor y las partes internas del compresor están expuestas a los contaminantes que pueda haber en el sistema.

Contaminantes

Los contaminantes son sustancias presentes en los sistemas de refrigeración, los cuales no tienen ninguna función útil y son dañinos para el funcionamiento adecuado del equipo. Pueden existir en cualquiera de los tres estados: sólido, líquido y gaseoso. Los contaminantes más comunes en los sistemas de refrigeración son:

Sólidos: Polvo, mugre, fundente, arena, lodo, óxidos de fierro y cobre, sales metálicas como cloruro de hierro y cobre, partículas metálicas como soldadura, rebabas, limaduras, etc...

Líquidos: Agua, resina, cera, solventes y ácidos.

Gaseosos: Aire, ácidos, gases no condensables y vapor de agua.

Además del estado en que se encuentran, los contaminantes pueden clasificarse como orgánicos e inorgánicos y pueden ser solubles o insolubles en el refrigerante, en el aceite o en una mezcla de ambos.

Los contaminantes inorgánicos son principalmente las partículas metálicas, óxidos, arena, sales, ácidos y gases no condensables. Los orgánicos están compuestos mayormente de carbono, oxígeno e hidrógeno, tales como resinas, ceras, fundentes, lodos, solventes, etc.

Cómo entran los Contaminantes a los Sistemas de Refrigeración

Uno o varios de los contaminantes mencionados anteriormente, pueden de alguna manera introducirse al sistema durante un servicio, la instalación en el campo, su ensamble o inclusive durante la fabricación, aunque se hayan tomado las precauciones necesarias.

Algunos otros contaminantes se forman dentro del sistema como consecuencia del efecto de otros contaminantes, cuando el sistema está en operación y las condiciones son propicias.

Equipos Nuevos

Algunos contaminantes permanecen en los equipos nuevos durante su manufactura o ensamble, debido a una limpieza deficiente; tal es el caso de la arena de fundición en los compresores. Grasas y aceites utilizados en el corte, estirado y doblado de tubos para la fabricación de serpentines. Rebabas, fundente y pasta durante el proceso de soldadura. Pedazos desprendidos de empaques de asbesto o hule y otros materiales.

Instalación y Servicio

Otros contaminantes entran al sistema durante su instalación o al efectuar un servicio, debido a la falta de conciencia o habilidad del contratista o del técnico.

La unión o soldadura de tubos, si no se hace con cuidado, es la mayor fuente de contaminantes como: óxidos, rebabas, fundente, pasta y humedad. Esto se debe a no cortar los tubos con la herramienta adecuada, usar exceso de fundente y recalentar demasiado al soldar.

También al cargar el refrigerante y/o aceite, cuando éstos no son de la calidad necesaria o no se han manejado apropiadamente, se pueden introducir junto con ellos contaminantes como humedad, aire y otros gases no condensables. Estos mismos contaminantes pueden entrar al sistema si existe alguna fuga en el lado de baja presión, cuando esta presión es negativa; es decir, menor que la atmosférica (vacío). Una vez dentro, estos contaminantes deben ser expulsados por medio de una bomba de vacío. Si el vacío no es el adecuado o si se hace con el mismo compresor, lo más probable es que queden cantidades suficientes de aire y humedad para causar problemas a los equipos.

Durante la Operación

Los refrigerantes son solventes excelentes y al arranque del compresor, todos los contaminantes en el sistema son barridos y arrastrados a través de las tuberías hacia el cárter del compresor.

La estabilidad química de un sistema se ve afectada por las altas temperaturas, siendo éste un factor que casi nunca se toma en consideración.

Si el sistema está operando en condiciones anormales de presión y temperatura, y existe la presencia de humedad y aire, es casi segura la formación de otros tipos de contaminantes debido a la descomposición química del aceite o del refrigerante. Esto es más común con compresores herméticos y semiherméticos. Estos sistemas son pequeños reactores químicos comparables a los utilizados en plantas químicas; ya que tienen todos los ingredientes como calor, presión, reactivos (refrigerante, aceite, humedad y oxígeno), catalizadores (acero y cobre), óxidos (de hierro y cobre) y algunas veces, sales metálicas.

Los refrigerantes halogenados son compuestos muy estables; esto es, no se descomponen fácilmente con calor. En recipientes de acero (o el compresor) son estables hasta alrededor de 260°C, pero en presencia de sales metálicas u óxidos, su límite de estabilidad con respecto a la temperatura se reduce drásticamente. Si por alguna razón la temperatura de operación aumenta arriba de la normal, se produce una reacción química entre el refrigerante y la humedad llamada hidrólisis, produciendo ácidos clorhídrico y fluorhídrico y bióxido de carbono. También hay producción de ácidos en grandes cantidades cuando el aislamiento del embobinado del motor está dañado, generando chispazos y constantes arcos eléctricos.

Está demostrado que por cada 10°C que aumente la temperatura del sistema, la velocidad de las reacciones químicas aumenta al doble.

Los ácidos producidos se presentan en forma de gas cuando el sistema está seco, y son inofensivos, pero en presencia de humedad se vuelven líquidos y son altamente corrosivos.

Por otra parte, los aceites minerales para refrigeración, aunque sean cuidadosamente refinados y seleccionados, se descompondrán bajo condiciones adversas en combinación con el refrigerante, aire y humedad. Los ácidos orgánicos que contienen los aceites son ácidos débiles e inofensivos, pero en presencia de sales metálicas y altas temperaturas, contribuyen a la descomposición del aceite mediante una reacción química llamada polimerización.

Además, si hay aire en el sistema, la deterioración del aceite se acelera. El principal producto de la descomposición del aceite es el lodo. Los otros subproductos son resinas y barnices. La apariencia física de estos materiales va desde un aceite espeso, luego más denso como resina o goma, posteriormente espeso como lodo, y finalmente un sólido en forma de polvo. La reacción entre el aceite y el refrigerante también causará la formación de lodo y más ácido.

La peor condición posible para la formación de grandes cantidades de ácido y otros contaminantes como carbón, es cuando se quema el motocompresor debido a la alta temperatura que alcanza, acelerando las reacciones químicas entre refrigerante, aceite y barniz del aislamiento del embobinado.

Efectos de los Contaminantes

Contaminantes Sólidos

Los contaminantes sólidos, principalmente las partículas metálicas, pueden causar en un sistema de refrigeración problemas como:

1. Rayar las paredes de los cilindros y los cojinetes.
2. Taponeo en el cedazo de la válvula de termo expansión o del tubo capilar.
3. Alojarse en el devanado del motocompresor y actuar como conductores, creando corto circuito, o actuar como abrasivos en el aislante del alambre.

4. Depositarse en los asientos de las válvulas de succión o descarga, reduciendo significativamente la eficiencia del compresor.
5. Tapando los orificios de circulación de aceite en las partes móviles del compresor, provocando fallas por falta de lubricación.
6. Sirven como catalizadores (aceleradores) de la descomposición química de refrigerante y aceite.

Aunque el aceite tiene alta resistencia dieléctrica, la presencia de partículas metálicas o humedad disminuyen esa resistencia, volviéndolo un conductor de corriente eléctrica, pudiendo causar falla o quemadura.

Gases no Condensables

Son un tipo de contaminantes frecuentemente encontrados en los sistemas de refrigeración. El que sean dañinos o no al sistema, depende del tipo de gas y la cantidad presente. Los químicamente reactivos, tales como cloruro de hidrógeno, atacarán otros componentes en el sistema y en casos extremos producirán fallas. Los que son químicamente inertes como el aire, el hidrógeno, el oxígeno, el bióxido de carbono, el nitrógeno, etc., que no se licúan en el condensador, reducen la eficiencia de enfriamiento. Su presencia contribuye a incrementar la presión de condensación y, por lo tanto, la temperatura, acelerando las indeseables reacciones químicas.

El aire en particular, como ya se mencionó, incrementa la descomposición del aceite. Su presencia en los sistemas de refrigeración es debida a:

1. Evacuación incompleta del sistema.
2. Algunos materiales lo liberan o se descomponen a alta temperatura durante la operación.
3. Fugas en el lado de baja.
4. Reacciones químicas durante la operación del sistema.

Los gases no condensables se eliminan purgando el sistema durante la operación, o creando un buen vacío antes de cargar el sistema con refrigerante.

Contaminantes Orgánicos

Como ya vimos, estos contaminantes son parcialmente solubles en la mezcla de refrigerante y aceite, pero pueden volverse completamente solubles mediante la acción del calor; por lo tanto, circularán por todo el sistema donde cada uno causará problemas en distintas partes, principalmente en la válvula de expansión o el tubo capilar. Como las resinas o ceras, que se precipitan a bajas temperaturas como las que se tienen en estos dispositivos, acumulándose en el orificio hasta obstruirlo.

Acidos

Tal como se mencionó anteriormente, los ácidos, particularmente los inorgánicos, son más corrosivos en presencia de humedad. Atacan principalmente las partes metálicas de acero y cobre. Por ejemplo, el ácido clorhídrico (HCl) reacciona con estos metales formando las indeseables sales que sirven de catalizadores para otras reacciones químicas. El ácido fluorhídrico (HF), es aún más corrosivo, llegando inclusive a atacar al vidrio.

Otra parte del sistema donde los ácidos tienen un efecto deteriorante, es sobre el barniz aislante del alambre del embobinado del motocompresor, disolviéndolo y creando la posibilidad de un corto circuito.

Humedad

De acuerdo a todo lo expuesto hasta ahora, podemos darnos cuenta que la mayor parte de los problemas de contaminantes son debido a la presencia de la humedad en los sistemas de refrigeración. Por esto, se le considera mundialmente como el enemigo No. 1 de los sistemas de refrigeración; por lo que vamos a dedicar una sección aparte sobre su procedencia, sus efectos y cómo controlarla.

Humedad en los Sistemas de Refrigeración

Es bien conocido el peligro que representa un exceso de humedad en los sistemas de refrigeración; ya que la humedad combinada con altas temperaturas, da origen a fenómenos complejos, sobresaliendo la formación de hielo en la válvula de termo expansión o en el tubo capilar, ácidos en refrigerante y aceite, lodo y hasta quemadura del motocompresor. Aun cuando el contenido de humedad no sea excesivo como para congelarse en la válvula de termo expansión o en el tubo capilar, de todos modos puede causar algunos de los otros problemas previamente mencionados y, puesto que todos estos efectos no pueden ser detectados de manera ordinaria, es importante el uso de filtros deshidratadores para mantener la humedad en un nivel seguro.

Procedencia

Las principales fuentes de humedad son:

1. Mal secado del equipo en su fabricación.
2. Introducción durante la instalación o servicio en el campo.
3. Como producto de la combustión de una flama de gas.
4. Retención en los poros de la superficie de los metales.
5. Fugas en el lado de baja cuando la presión es menor que la atmosférica (vacío).
6. Fugas en los condensadores enfriados por agua.
7. Reacciones químicas (oxidación) de algunos refrigerantes o aceites.
8. Mezclada con el refrigerante o el aceite al cargarlos al sistema.
9. Descomposición del aislante de los motocompresores.
10. Condensación de la humedad del aire que ha entrado en el sistema.

Aunque el contenido de humedad en cada uno de los puntos anteriores no tendría efecto por si sola, sí se debe de considerar al determinar el contenido global del sistema terminado. Por ejemplo, el aceite a granel contiene entre 20 y 30 partes por millón (ppm) de humedad. Los refrigerantes, también a granel, tienen una tolerancia aceptable de 10 a 15 ppm. Cargar el refrigerante al sistema a través de un filtro deshidratador, siempre será una práctica segura.

Efectos

Si se permite que circule por el sistema demasiada humedad mezclada con el refrigerante, puede conducir a cualquiera de los siguientes efectos:

1. Formación de hielo en la válvula de termo expansión, en el tubo capilar o el evaporador, restringiendo el flujo de refrigerante y en algunos casos, obstruyéndolo por completo.
2. Oxidación y corrosión de metales.
3. Descomposición química del refrigerante y del aceite.
4. Cobrizado.
5. Daño químico al aislamiento del motor u otros materiales.
6. Hidrólisis del refrigerante formando ácidos y más agua.
7. Polimerización del aceite, descomponiéndolo en otros contaminantes.

Control

Es imperativo que la humedad sea removida de los componentes de los sistemas de refrigeración durante la manufactura y ensamble de equipos nuevos, y que se tomen las precauciones necesarias para evitar que se quede en el sistema durante la instalación, o al hacerle un servicio. La humedad está presente siempre en todos los sistemas de refrigeración, pero ésta deberá mantenerse por debajo del nivel máximo permisible, para que el sistema opere satisfactoriamente.

¿Qué tanta agua es segura? Nadie lo sabe con certeza, pero en algo estamos todos de acuerdo, y eso es, que mientras menos agua haya presente, es mejor, y que no debe haber agua libre (suelta) dentro del sistema.

Solubilidad en los Refrigerantes

Aunque los fabricantes de refrigerantes hacen un gran esfuerzo por obtener sus productos “secos”; es decir con un mínimo contenido de humedad, es muy frecuente que, al momento de introducirlo al sistema lleve más humedad de la máxima permisible, por diversas causas ajenas al fabricante y que, generalmente, son debidas a descuidos en la operación de traspasar varias veces el refrigerante de un recipiente a otro, y sobre todo, cuando los recipientes no han sido limpiados adecuadamente.

Si la concentración de humedad es alta y la temperatura es suficientemente baja, el agua en forma de hielo se separa del refrigerante. También se puede formar lo que se llama hidrato sólido, que es una molécula compleja de refrigerante y agua, la cual puede formarse a temperaturas mayores que las requeridas para que se forme el hielo. Por otra parte, también se puede formar agua líquida a temperaturas arriba de las requeridas para separar el hielo o el hidrato sólido. La pregunta aquí es ¿Qué tan seco debe estar un refrigerante para que el agua disuelta en él no se separe? El refrigerante debe estar lo suficientemente seco para que aún a la más baja temperatura de diseño, no ocurra esta separación.

La separación del agua como hielo o como líquido, está relacionada a la solubilidad del agua en el refrigerante.

Solubilidad

Los refrigerantes tienen cierta afinidad con el agua; es decir, tienen cierta capacidad para mezclarse con el agua tanto en fase líquida como en fase de vapor. Esta característica se llama solubilidad. La solubilidad del agua en los refrigerantes varía con cada tipo de refrigerante y con la temperatura, o sea que, el agua se disuelve más fácilmente en unos refrigerantes que en otros, y ***la cantidad de agua que se puede disolver en un refrigerante es mayor a altas temperaturas y disminuye a bajas temperaturas.***

En la tabla 1.1 se presentan datos sobre la solubilidad del agua en fase líquida de algunos refrigerantes halogenados a diferentes temperaturas. Esta solubilidad está expresada en partes por millón (ppm) en peso. Una ppm equivale a 1 miligramo de agua disuelta en 1 kilogramo de refrigerante. Los valores de la tabla 1.1 indican la cantidad máxima de agua que se disolverá en el refrigerante a una temperatura dada. Ejemplo: la solubilidad del agua en el R-12 a -10°C es 13.7 ppm, esto significa que a esa temperatura, el R-12 puede contener disueltos como máximo, 13.7 miligramos de agua por cada kilogramo de refrigerante. Si hay un exceso de agua presente, ésta existirá como agua libre (suelta), y si la temperatura es muy baja, se congelará.

Quizá los valores de la tabla 1.1 no sean de mucha importancia para los técnicos o ingenieros en refrigeración; ya que es muy difícil determinar la cantidad de agua presente en un sistema en operación. Sin embargo, se puede obtener información útil de esta tabla.

Mientras mayor sea la solubilidad del agua en un refrigerante, menor será la posibilidad de que se separe el hielo o el agua en un sistema de refrigeración. La solubilidad del agua en el amoníaco, en el bióxido de carbono y en el bióxido de azufre es tan alta, que no hay problemas de

TEMP. °C	R-12	R-22	R-502	R-134a
60	440.0	3,150	1,400	2,117
55	359.0	2,754	1,238	1,928
50	286.0	2,470	1,108	1,716
45	228.0	2,190	975	1,611
40	183.0	1,896	862	1,478
35	147.0	1,690	750	1,359
30	116.0	1,488	646	1,226
25	91.0	1,278	553	1,100
20	69.0	1,106	472	978
15	57.0	956	394	857
10	44.0	830	335	783
5	33.0	706	284	680
0	25.0	596	236	591
-5	18.6	502	194	531
-10	13.7	419	160	470
-15	10.0	346	131	407
-20	7.3	282	105	341
-25	5.1	229	84	300
-30	3.5	186	66	252
-35	2.4	149	52	214
-40	1.7	120	40	183
-45	1.2	94	31	158
-50	0.8	73	24	132

Tabla 1.1 - Solubilidad del agua en fase líquida para algunos refrigerantes halogenados (ppm).

separación de hielo o agua líquida. Pero en otros refrigerantes como el R-12, en el que la solubilidad del agua es tan baja, es de esperarse que los problemas de congelación sean mayores, y de hecho, así es. Los sistemas con R-12 deberán ser secados con mayor intensidad para evitar restricciones debidas al hielo a bajas temperaturas, o problemas de corrosión debidas al agua líquida.

Aunque en refrigerantes como el R-22, el R-502 y el R-134a, la solubilidad del agua es mayor que en el R-12, cuando operan a bajas temperaturas, también pueden tenerse los mismos problemas de formación de hielo y de agua líquida.

Concentración Relativa

Lo que nos indican los valores de la tabla 1.1, es la máxima cantidad de agua que el refrigerante puede aceptar en fase líquida a una temperatura dada, es una condición de saturación. Si el refrigerante contiene más humedad que la indicada en la tabla a la misma temperatura, se tiene un líquido sobresaturado de humedad, a lo que se le conoce como saturación relativa y se expresa como un porcentaje de la humedad en condiciones de saturación. Por ejemplo, si en un sistema con R-12 a una temperatura de 40°C con un contenido de humedad de 15 ppm, de la tabla 1.1 la saturación relativa será 15/183 X 100 = 8.19%.

En la fase de vapor también se puede presentar esta sobresaturación, y también se expresa en porcentaje. Cuando en una mezcla de vapor y líquido se tiene humedad, ésta estará en equilibrio en las dos fases, pero la concentración es diferente en el líquido que en el vapor.

Se puede calcular la distribución de la humedad entre las dos fases, expresada como una relación de porcentaje en peso. En la tabla 1.2 se muestran las relaciones de la distribución de humedad para varios refrigerantes. Los valores de esta tabla indican la concentración relativa de agua en el vapor comparada con la concentración en el líquido. Las relaciones de distribución para el R-22, el R-502 y el R-134a son menores de 1, lo que significa que la concentración de agua en el equilibrio, es mayor en la fase líquida que en la fase vapor. En el caso del R-12 sucede lo contrario.

Por ejemplo, en un cilindro cerrado de refrigerante 22, cualquier contenido de humedad presente estará distribuido entre las dos fases de acuerdo a la relación de la tabla 1.2; así que, cuando se extraiga vapor del cilindro, éste estará más seco que el líquido. Al extraer más y más vapor, el líquido remanente contendrá más humedad. Para el R-12 sucede lo contrario, y el vapor estará más húmedo que el líquido.

Los valores de la tabla 1.2, pueden usarse para calcular la concentración del agua en equilibrio en el refrigerante en fase líquida, si se conoce la concentración en la fase vapor y viceversa.

En un sistema de refrigeración en operación, que contenga una cierta cantidad constante de humedad circulando a través del sistema con el refrigerante, la saturación relativa variará con la temperatura y con los cambios de fase del refrigerante.

Consideremos un sistema con R-22 a 35°C (fig. 1.3). Si en el tanque recibidor existe una mezcla de líquido y vapor, y el líquido contiene 60 ppm de humedad, la saturación relativa del líquido será:

$$\frac{60}{1690} \times 100 = 3.55\%$$

TEMP. °C	R-12	R-22	R-502	R-134a
35	5.85	0.400	0.635	0.36
30	6.48	0.400	0.644	0.39
25	7.08	0.401	0.651	0.42
20	7.64	0.403	0.656	0.45
15	8.28	0.400	0.660	0.48
10	9.00	0.391	0.660	0.50
5	9.99	0.390	0.660	0.53
0	10.98	0.380	0.640	0.57
-5	11.69	0.359	0.617	---
-10	12.32	0.336	0.586	---
-15	12.95	0.313	0.550	---
-20	13.70	0.291	0.518	---
-25	14.60	0.268	0.491	---
-30	15.50	0.246	0.463	---
-35	16.29	0.224	0.431	---
-40	17.10	0.210	0.400	---

Tabla 1.2 - Distribución de agua entre las fases líquida y vapor de los refrigerantes halogenados.
Agua en vapor (% en peso)
Agua en líquido (% en peso)

Si se permite que el vapor y el líquido en el recibidor alcancen el equilibrio (lo que puede ocurrir en el ciclo de paro), de la tabla 1.2, el contenido de humedad del vapor será:

60 X 0.40 = 24 ppm a una S.R. de 3.55%

Cuando comience a trabajar el sistema y el líquido con 60 ppm sea transferido del recibidor a la válvula de expansión, la humedad en el líquido se evapora junto con el refrigerante hacia el evaporador. Si suponemos que todo el líquido se evapora en el evaporador a 4°C, la cantidad de humedad en el evaporador por metro cúbico, será 60 ppm por la densidad del vapor de refrigerante a 4°C.

$$60 \times 10^{-6} \frac{\text{kg agua}}{\text{kg R-22}} \times 1.5208 \frac{\text{kg R-22}}{\text{m}^3\ \text{R-22}} = 9.125 \times 10^{-5} \frac{\text{kg agua}}{\text{m}^3\ \text{R-22}}$$

El peso de un m³ de humedad acuosa saturada a 4°C, es igual a 40.7×10^{-5}kg. La saturación relativa en el evaporador es:

$$\frac{9.125 \times 10^{-5}}{40.7 \times 10^{-5}} \times 100 = 22.4\%$$

Al retornar el vapor de succión al compresor a una temperatura de 18°C, la densidad del vapor será 1.42 kg/m³.

El peso de un m³ de vapor de agua a 18°C es

$$60 \times 10^{-6} \times 1.42\ \text{kg/m}^3 = 8.52 \times 10^{-5}\ \text{kg/m}^3$$

El peso de un m³ de vapor acuoso saturado a 18°C es 96.8×10^{-5} kg/m³
La saturación relativa en el compresor es

$$\frac{8.52 \times 10^{-5}}{96.8 \times 10^{-5}} \times 100 = 8.8\%$$

Para las condiciones mostradas en la fig. 1.3, la saturación relativa varía de 3.55% en la línea de líquido a 35°C, a 22.4% en el evaporador a 4°C, y a 8.8% en el vapor a 18°C en la línea de succión. Cuando la saturación relativa del vapor llega a 100% a temperaturas de 0°C o más bajas, hay formación de hielo durante la evaporación del refrigerante.

La humedad requerida para que ocurra un taponamiento con hielo, es en función a la cantidad de vapor que se forme durante la expansión, y de la distribución del agua entre las fases líquida y vapor a la salida de la válvula de termo expansión o el tubo capilar. Por ejemplo, en un sistema de R-12 con líquido a una temperatura de 45°C y una temperatura en el evaporador de -30°C, después de la expansión, el refrigerante será 41.3% vapor y 58.7% líquido en peso.

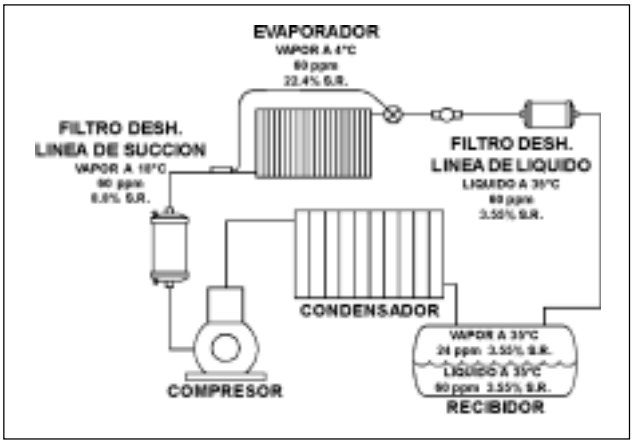


Figura 1.3 - Sistema con R-22 contenido de humedad del refrigerante líquido = 60 ppm

De la tabla 1.1, a -30°C el R-12 tiene un contenido de agua saturada en fase líquida de 3.5 ppm. De la tabla 1.2 se puede determinar el contenido de agua saturada en la fase vapor:

3.5 X 15.50 = 54.25 ppm

Cuando el vapor contiene más de la cantidad de saturación (100% h.r.), se presentará agua libre como una tercera fase. Si la temperatura es menor de 0°C, se formará hielo. Usando estos valores y los porcentajes de líquido y vapor, puede calcularse el contenido de agua crítico del refrigerante en circulación:

líquido	3.5 X	0.587 =	2.05
vapor	54.25 X	0.413 =	22.40
			24.45 ppm

Si se mantiene el nivel de humedad abajo de su valor crítico, se evita que haya agua libre en el lado de baja del sistema.

El análisis anterior puede utilizarse para todos los refrigerantes y todas las aplicaciones. Un sistema de R-22 con temperaturas de 45°C en el líquido y -30°C en el vapor, alcanza la saturación cuando la humedad en circulación es de 135 ppm. Nótese que este valor es menor que la solubilidad en el líquido a -30°C (186 ppm); por lo que no se presentará agua en forma libre.

El entendimiento de esta relación química entre el refrigerante y la humedad en un sistema de refrigeración, nos ayuda a controlar el problema. Debe considerarse también que este entendimiento de la solubilidad del agua en los refrigerantes, puede preparar el camino para mejores procedimientos de secado.

Desecantes

Introducción

Por todo lo visto hasta ahora, la conclusión es, que para controlar y eliminar los contaminantes en los sistemas de refrigeración, es indispensable hacer uso de algún material que tenga esta capacidad. Pero esto no debe ser preocupación nuestra, ya que este problema lo han resuelto otras personas desde hace varias décadas en base a estudios, investigaciones y experiencias. Se comenzó por probar con materiales que ya se empleaban satisfactoriamente en otras ramas de la industria, como la química. Algunos tuvieron que ser desechados y otros dieron buenos resultados después de probarlos y evaluarlos cuidadosamente. A estos materiales se les conoce como desecantes.

Definición

Los desecantes son materiales usados principalmente para remover la humedad excesiva contenida en la mezcla refrigerante-aceite, tanto en forma de vapor como líquida, ya sea en equipos nuevos o ensamblados en el campo.

La eliminación de humedad se logra de dos maneras: por adsorción y por absorción. En el proceso de absorción, el desecante reacciona químicamente con la humedad, combinando sus moléculas para formar otro compuesto y removiendo de esta manera la humedad. En el proceso de adsorción, no hay reacción química entre el desecante y la humedad. El desecante es muy poroso, y por lo tanto, tiene una superficie muy grande expuesta al flujo. Y es en estos poros donde de una manera mecánica se atrapa y se retiene la humedad.

Por lo anterior, en un sistema de refrigeración conviene más usar desecantes que remuevan la humedad por el proceso de adsorción.

Tipos

Existen muchos materiales que tienen la capacidad de servir como agentes desecantes o deshidratantes, pero no todos son adecuados para utilizarse en refrigeración,

ya que en estos sistemas, se requiere un material que remueva la humedad de la mezcla refrigerante-aceite, sin causar reacciones indeseables con estos compuestos o con otros materiales del sistema.

De entre los diferentes desecantes que remueven la humedad por el proceso de adsorción, los más comúnmente empleados en refrigeración son: sílica gel, alúmina activada y tamiz molecular.

Características

La principal característica de un desecante, es que debe tener una gran capacidad para adsorber humedad. Algunos también adsorben ácidos. No deben ser solubles ni con el agua, ni con el refrigerante, ni con el aceite. No deben romperse al saturarse de humedad. Deben tener una alta resistencia mecánica para mantener su integridad física y resistir la presión del flujo de refrigerante y las vibraciones.

La sílica gel ($Si0_2$) es un material no cristalino. La alúmina activada (Al_2O_3) no es totalmente cristalina. Ambos desecantes tienen su red de poros de tamaño variable, y como su estructura no es uniforme, estos materiales son clasificados como adsorbentes amorfos.

El tamiz molecular es un silicato sintético. Su configuración molecular consiste de una serie de componentes de tamaño definido, dando como resultado un material uniforme, altamente cristalino.

El proceso de adsorción mediante el cual estos tres desecantes atrapan y retienen la humedad, consiste en que las moléculas del agua se adhieren a las paredes interiores de los poros o conductos capilares. Puesto que la superficie de estos poros o capilares es enorme, y las moléculas de agua son de tamaño pequeño, pueden retener cantidades relativamente grandes de agua.

A continuación se da una breve descripción de los tres desecantes más comunes.

Alúmina Activada.- Un sólido duro de color blanco, comúnmente en forma granular que no es soluble en agua. Además de su capacidad para retener agua, también tiene una excelente capacidad para retener ácidos. Generalmente no se utiliza en forma granular, sino que se tritura y se moldea en forma de bloque poroso, combinada con otro desecante para incrementar su capacidad de agua. Así, además de una gran capacidad para retener agua y ácidos, se proporciona filtración.

Sílica Gel.- Un sólido con aspecto de vidrio que puede tener forma granular o de perlas. No se disuelve en agua y tiene poco desprendimiento de polvo cuando se utiliza suelta. Tiene una capacidad aceptable para retener humedad. También se puede usar mezclada con otros desecantes para incrementar su capacidad de retención de agua, en forma granular (suelta) o moldeada en forma de bloque poroso.

Tamiz Molecular.- Es el más nuevo de los tres desecantes y ha tenido muy buena aceptación en la industria. Es un sólido blanco que no es soluble en agua. Su presentación común es en forma granular o esférica. Tiene una excelente capacidad de retención de agua, aunque menor que la de la alúmina activada para retener ácidos. Debido a lo anterior, es muy común combinar estos dos desecantes para balancear estas dos características: retener agua y ácidos. Esta mezcla generalmente es en forma de bloques porosos moldeados.

Capacidad y Eficiencia

Por *capacidad* se entiende como la cantidad de humedad que un desecante puede adsorber y retener. La *eficiencia* es la habilidad que un desecante tiene para deshidratar un refrigerante, hasta el más bajo contenido de humedad correspondiente a una temperatura. A esto último se le conoce como Sequedad en el Punto de Equilibrio o EPD (Equilibrium Point Dryness).

Si un desecante recientemente activado (sin ningún contenido de humedad) se pone en contacto con un refrigerante que contiene humedad, el desecante comenzará a adsorber humedad del refrigerante. Cuando esto sucede, el refrigerante tendrá menos humedad y el desecante contendrá algo de humedad. A partir de este momento, el desecante a su vez pasará la humedad al refrigerante, aunque, como hay mas humedad en el refrigerante que en el desecante, es mayor la velocidad con que el desecante adsorbe agua del refrigerante, que la velocidad con que la vuelve a traspasar. Conforme se reduce la cantidad de agua en el refrigerante y aumenta la velocidad con que el desecante la pasa, la velocidad de adsorción disminuye. Cuando las dos velocidades se igualan, se dice que los contenidos de humedad en el desecante y en el refrigerante alcanzan un equilibrio.

La cantidad de agua que adsorbe un desecante de un refrigerante, para llegar a este punto de equilibrio depende de:

1. El tipo de refrigerante.
2. La cantidad de agua en el refrigerante.
3. La temperatura del refrigerante.
4. El tipo de desecante (volumen y tamaño de los poros y superficie).

En algunos desecantes la capacidad de adsorción de agua, se ve afectada por la cantidad de aceite presente en el refrigerante.

De acuerdo a las normas 35 y 63 de ASHRAE, en este punto de equilibrio, el contenido de agua en el refrigerante se conoce como Sequedad en el Punto de Equilibrio (EPD) y al agua retenida por el desecante se le conoce como capacidad de agua. Las unidades en que se miden estos dos valores son partes por millón para el EPD y porciento en peso para la capacidad de agua (o bien, gramos de agua por 100 gramos de desecante).

Las curvas de equilibrio de humedad entre los tres desecantes comunes y los refrigerantes R-12, R-22 y R-134a se muestran en las figuras 1.4, 1.5 y 1.6, respectivamente. Estas curvas (isotermas de adsorción) indican que para cualquier cantidad especificada de agua en un refrigerante en particular, cada desecante retiene una cantidad

específica de agua correspondiente. Por ejemplo, si en un sistema con R-12 (figura 1.4), se desea un EPD de 5 ppm, el tamiz molecular adsorberá y retendrá 17% en peso de agua, la alúmina activada 7% y la sílica gel 4%. Esto significa que cada 100 gramos de tamiz molecular, retendrán 17 gramos de agua del R-12 a 24°C y la alúmina y la sílica retendrán 7 y 4 gr. respectivamente. Desde luego, se seleccionaría el tamiz molecular; aunque se puede utilizar cualquiera de los tres desecantes si se emplean cantidades suficientes. Esto significará usar 4.25 veces más sílica o 2.43 veces más alúmina.

En la figura 1.7 se puede observar como varía la capacidad de agua con el tipo de refrigerante; ya que siendo el mismo desecante, la misma temperatura y a un mismo EPD, digamos 15 ppm, el desecante podrá remover aproximadamente un 6.2% en peso del R-12, mientras que del R-22 sólo podrá remover aproximadamente un 3.4% en peso de humedad.

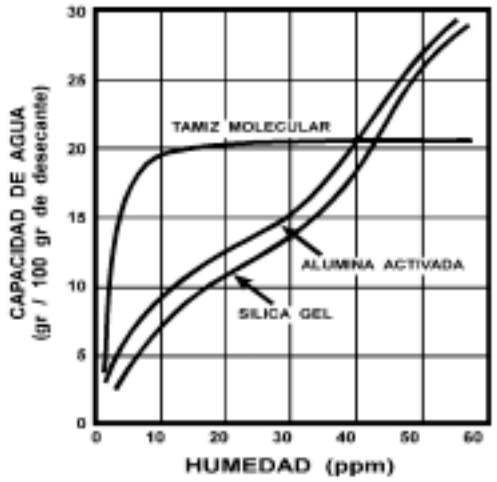


Figura 1.4 - Curvas de equilibrio de humedad para R-12 y tres desecantes comunes a 24°C

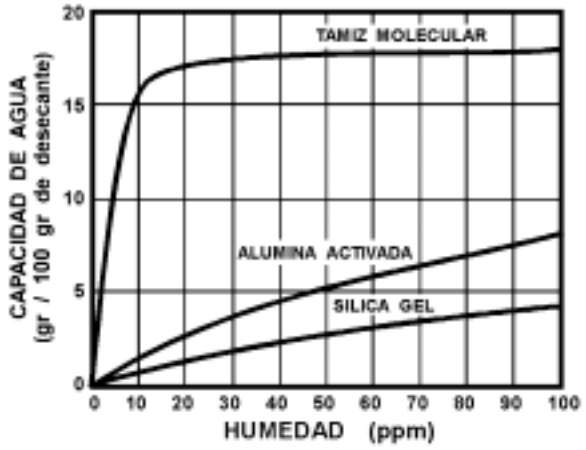


Figura 1.5 - Curvas de equilibrio de humedad para R-22 y tres desecantes comunes a 24°C

De esto se concluye que los refrigerantes en los que el agua es más soluble, como en el R-22 y R-134a (ver tabla 1.1), requieren más desecante para una deshidratación adecuada, que en aquellos en los que el agua es menos soluble, como en el R-12.

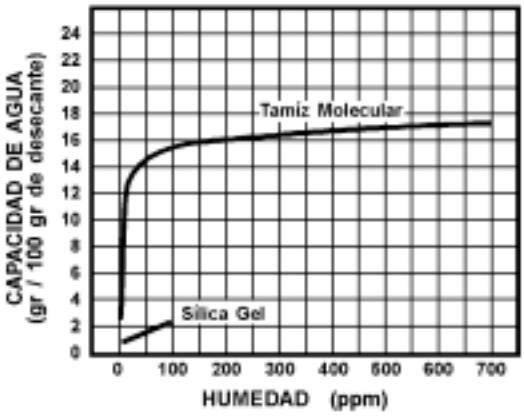


Figura 1.6 - Curvas de equilibrio de humedad para R-134a para tamiz molecular y sílica gel a 52°C

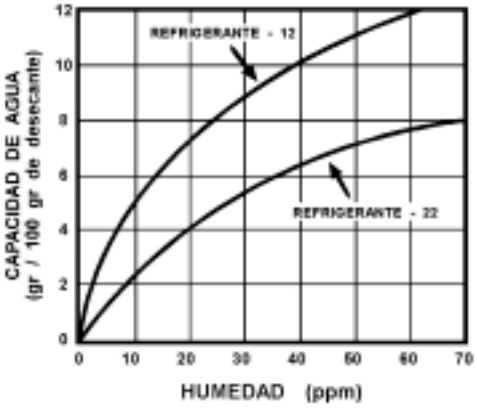


Figura 1.7 - Curvas de equilibrio de humedad para R-12 y R-22 a 24°C

Como se mencionó previamente, la capacidad retención de agua de los desecantes, también se ve afectada por la temperatura. La figura 1.8 muestra las mismas curvas para los tres desecantes y el R-22, similar a las mostradas en la figura 1.5, pero a una mayor temperatura, 52°C. Si nuevamente nos referimos al ejemplo anterior, a un EPD de 5 ppm a 52°C, el tamiz molecular adsorberá y retendrá 6 gr de agua por cada 100 gr de desecante, que es una cantidad mucho menor que 10.5 que retiene a 24°C. Similarmente, la alúmina activada y la sílica gel retendrán 1.0 y 0.4 gramos, respectivamente.

Obviamente, la capacidad de retención de agua de un desecante es mayor a temperaturas más bajas. Esto se ilustra en la figura 1.9, donde se puede apreciar que a bajas temperaturas se obtiene mayor capacidad de retención de agua. De aquí se deduce que es una ventaja deshidratar el refrigerante en un punto del sistema, donde relativamente la temperatura del líquido es más baja.

Aunque todas las gráficas (Figs. 1.4 a 1.8) muestran que el tamiz molecular tiene una capacidades de retención de agua más alta que la alúmina activada o la sílica gel a un mismo valor de EPD, los tres desecantes son adecuados si se utilizan cantidades suficientes.

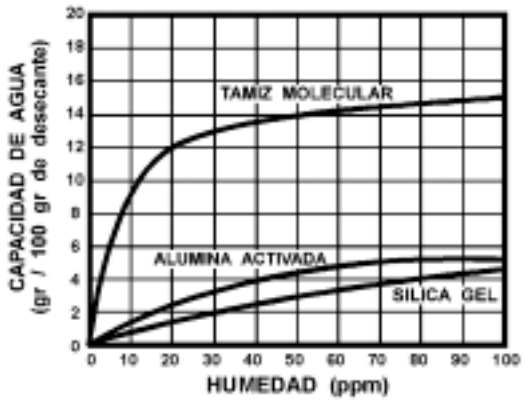


Figura 1.8 - Curvas de equilibrio de humedad para R-22 y tres desecantes comunes a 52°C

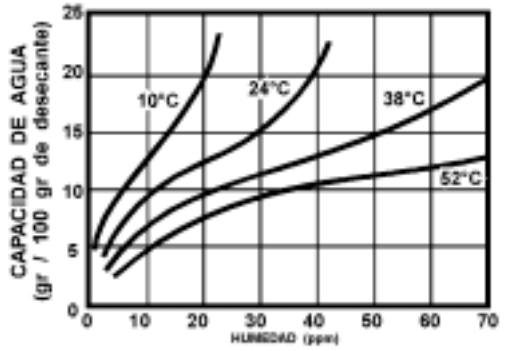


Figura 1.9 - Curvas de equilibrio de humedad para alúmina activada a varias temperaturas en R-12

Lo que hace que el tamiz molecular tenga más capacidad para retener agua que la alúmina o la sílica, es el tamaño de sus poros. Como ya se mencionó, la alúmina y la sílica tienen el tamaño de sus poros muy variable y son mucho más grandes que los poros del tamiz molecular. Esto permite que en esos poros se introduzcan además de agua, refrigerante y aceite. En los poros del tamiz molecular sólo entran moléculas de agua. Las moléculas del refrigerante y el aceite son mucho más grandes que las del agua y por eso no penetran. De aquí su nombre de tamiz molecular.

Debido a que los desecantes son muy sensibles a la humedad, deberán protegerse todo el tiempo hasta que estén listos para usarse. Los desecantes se obtienen en envases sellados de fábrica, y deberán manejarse en condiciones a prueba de humedad.

Los desecantes que no hayan sido usados y que por alguna razón hayan adsorbido humedad, pueden ser reactivados calentándolos de 4 a 8 horas a alta temperatura en un horno de preferencia al vacío, de acuerdo con la siguiente guía:

Alúmina activada _____ de 200 a 315 °C
Sílica gel _____ de 175 a 315 °C
Tamiz molecular_____ de 260 a 350 °C

La reactivación de desecantes, ya sea sueltos o en forma de bloque, sólo se recomienda hacerla cuando no hay otro recurso. Nunca se debe tratar de reactivar un desecante que ya haya sido usado en el sistema. Por otro lado, suponiendo que se cuenta con el equipo adecuado, el costo real del proceso es excesivo, quizá más de los que cueste uno nuevo, además del tiempo invertido para ello.

Filtros Deshidratadores

Definición

Un filtro deshidratador por definición, es un dispositivo que contiene material desecante y material filtrante para remover la humedad y otros contaminantes de un sistema de refrigeración (figura 1.10).

Valycontrol, S.A. de C.V. fabrica una gran variedad de deshidratadores para sistemas de refrigeración doméstica, comercial, industrial y aire acondicionado.

Descripción

La aplicación de los desecantes en los sistemas de refrigeración, se hace encapsulándolos en unos dispositivos mecánicos llamados filtros deshidratadores. Un filtro deshidratador está diseñado para mantener seca la mezcla

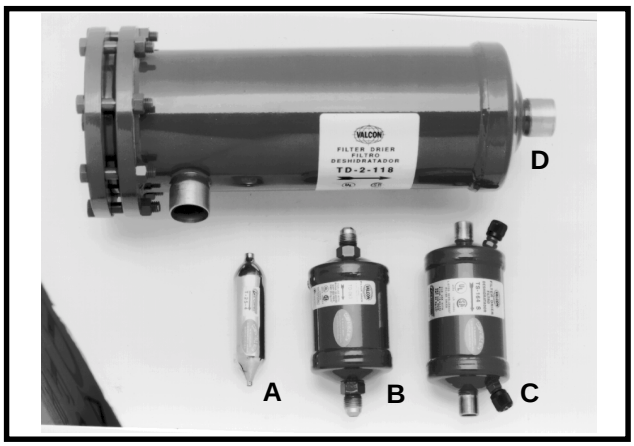


Figura 1.10 - Diferentes tipos de filtros deshidratadores

de refrigerante y aceite, adsorbiendo los contaminantes líquidos disueltos, tales como humedad y ácidos; y también, para retener por medio de filtración todas las partículas sólidas que estén siendo arrastradas a través del sistema por la mezcla de refrigerante aceite. No debe haber ningún misterio asociado con la operación de un filtro deshidratador. Todas las funciones de diseño y compuestos que se integran para fabricar estos dispositivos, son conceptos claros y fáciles de entender.

El uso de los filtros deshidratadores en los sistemas de refrigeración, es la mejor manera de proteger los componentes en el muy probable caso de que estos contaminantes estuvieran presentes en el sistema, ya que la válvula de termo expansión, el tubo capilar y el compresor , son los componentes más afectados por los contaminantes.

Tipos de Filtros Deshidratadores

Toda la amplia variedad de filtros deshidratadores para refrigeración, se puede resumir en dos tipos: los que tienen el material desecante suelto, y los que tienen el desecante en forma de un bloque moldeado (figura 1.11). En los filtros deshidratadores de desecantes sueltos, la carga de desecante se encuentra en su estado original en forma de gránulos, y generalmente, se encuentra compactada por algún medio de presión mecánica (como la de un resorte) entre dos discos de metal de malla fina, o entre cojincillos de fibra de vidrio (figura 1.12). En los filtros deshidratadores del tipo de bloque moldeado, el bloque es fabricado generalmente por una combinación de dos desecantes, uno con una gran capacidad de retención de agua y el otro con una gran capacidad de retención de ácidos.

Figura 1.11 - Sílica y bloques desecantes

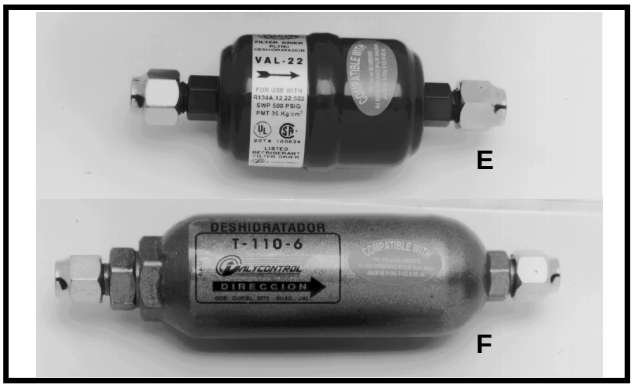


Figura 1.12 - Filtros deshidratadores del tipo desecante suelto. "E" desechable y "F" recargable

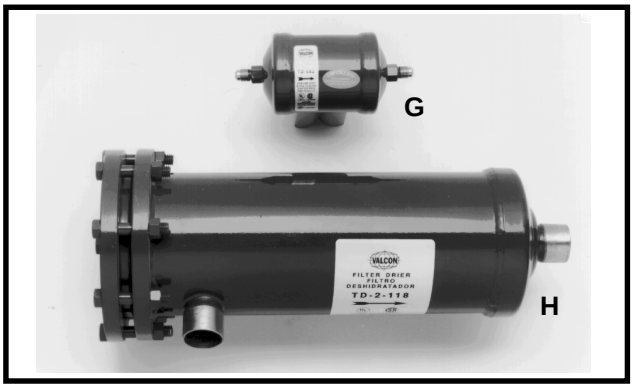


Figura 1.13 - Filtros deshidratadores del tipo de bloque moldeado. "G" desechable y "H" recargable

Las combinaciones de desecantes más comúnmente utilizadas en los filtros deshidratadores del tipo de bloque son: alúmina activada más sílica gel y alúmina activada más tamiz molecular.

En los del tipo de desecante suelto, generalmente se utiliza un solo desecante que puede ser sílica gel o tamiz molecular; aunque algunas veces se utiliza una combinación de ambos.

Tanto los filtros deshidratadores del tipo de desecante suelto y los del tipo de bloque, pueden ser desechables o recargables (figuras 1.12 y 1.13). Los desechables son totalmente sellados, y una vez que cumplen con su función de filtración se saturan de humedad, se desechan y se instala uno nuevo en su lugar. Los filtros deshidratadores recargables están construidos de tal forma, que se pueden destapar por uno de sus extremos para retirar el material desecante usado y limpiar los filtros, se coloca el desecante nuevo activado y se cierran.

En cuanto a sus conexiones, los hay soldables y roscados. Los soldables se fabrican en diámetros de conexiones desde capilar hasta 3-1/8" (figuras 1.10 "A" y "C"), y los roscados (tipo “Flare”) van desde 1/4" hasta 5/8" (figuras 1.10 "B"). Los metales que más se utilizan para la fabricación de los filtros deshidratadores son cobre, latón y acero; en estos últimos, las conexiones soldables son de cobre.

Su uso en general es en sistemas con refrigerantes halogenados y casi nada con amoníaco; ya que con este refrigerante la humedad no representa gran problema, y lo más común es el empleo de filtros únicamente. Los filtros deshidratadores pueden aplicarse en sistemas de refrigeración doméstica, comercial, industrial y aire acondicionado, en cualquier rango de temperatura.

Clasificación

La mayoría de los fabricantes de filtros deshidratadores publican tablas de capacidades y selección en las cajas o empaque de los mismos. Una información adicional y más completa se puede encontrar en las tablas de selección de los catálogos. En dichas tablas se listan datos tales como modelo, conexiones, cantidad de desecante, área de filtrado, capacidad de retención de agua, capacidad de flujo de refrigerante, recomendaciones de selección para cada tipo de refrigerante de acuerdo al tonelaje y la aplicación, y también las dimensiones.

Anteriormente, estas clasificaciones las hacía cada fabricante de acuerdo a sus propias experiencias, aunque la mayoría, sólo publicaban valores para competir pero que no eran los reales, sin siquiera probar y evaluar sus propios filtros deshidratadores.

Al ir progresando la industria de la refrigeración, se desarrollaron métodos adecuados para la comparación y evaluación de los filtros deshidratadores. Sin embargo, sólo se han desarrollado tres normas de clasificación, una para la *capacidad de retención de agua*, otra para la *capacidad de flujo de refrigerante* y otra de *seguridad*. Hasta que no se establezcan normas para las otras características importantes como capacidad de retención

de ácidos, filtración, etc., los fabricantes proporcionarán sus propios datos de pruebas y evaluaciones, así como sus recomendaciones.

En la actualidad, se ha generalizado en todo el mundo la clasificación de filtros deshidratadores en base a estas normas. Valycontrol, S.A. de C.V. lo ha venido haciendo desde hace mucho tiempo, y es el único fabricante en nuestro país que lo hace. Estas clasificaciones deben ser consideradas en el diseño y fabricación de un filtro deshidratador, y su comprensión es de gran valor para el usuario, el fabricante de equipos, así como los técnicos de servicio. Como una ayuda para ellos, a continuación se describen brevemente en que consisten estas clasificaciones de los filtros deshidratadores.

Capacidad de Retención de Agua

La capacidad de retención de agua, es la cantidad de agua (en gotas o gramos) que el filtro deshidratador retendrá a una temperatura estándar y a una Sequedad en el Punto de Equilibrio (EPD) especificada para cada refrigerante.

Esta capacidad se mide por métodos descritos en la norma 710 del *Air Conditioning and Refrigeration Institute* (ARI), cuando el contenido real de agua no se conoce. Esta norma especifica las condiciones a las cuales se debe hacer la clasificación de los filtros deshidratadores, en lo que se refiere a su capacidad para deshidratar la mezcla de refrigerante y aceite (capacidad de retención de agua), la capacidad de flujo del refrigerante y algunas consideraciones de seguridad.

La norma 63 de ASHRAE también fija un procedimiento de prueba para determinar las capacidades de retención de agua y de flujo, para los filtros deshidratadores de la línea de líquido bajo ciertas condiciones.

Las temperaturas especificadas por esta norma son 75°F (24°C) y 125°F (52°C); ambas se refieren a temperaturas del refrigerante en la línea de líquido. Los EPD usados para cada refrigerante son:

	antes del secado		después del secado	
R-12	565	PPM	15	PPM
R-22	1,050	"	60	"
R-502	1,020	"	30	"
R-134a	---		80	"
R-404A / R-507	---		50	"

Tabla 1.14 - Valores del contenido de humedad de varios refrigerantes, que se usan para clasificar los filtros deshidratadores por su capacidad de agua.

Estos puntos de referencia fueron fijados arbitrariamente, para prevenir confusiones que surgieran de determinaciones hechas a otros puntos. Nótese que para establecer esta capacidad de retención de agua se consideran: el tipo de refrigerante, la cantidad de desecante y la temperatura.

La razón por la que se escogieron diferentes EPD para cada refrigerante es la siguiente: Refiriéndonos a la figura 1.7 a un EPD de 15 ppm, la capacidad del desecante para R-12 es de 6.2% y para R-22 es de 3.4% aproximadamente; pero a un EPD de 60 ppm para el R-22 es de aproximadamente 7.5%. La razón por la que se usan diferentes EPD para el R-12 y el R-22, es debido a que el agua es más miscible en unos refrigerantes que en otros a una misma temperatura. Por ejemplo, de la tabla de la figura 1.1, vemos que a una temperatura de -20°C el R-12 puede contener disueltas 7.3 ppm como máximo; en cambio, el R-22 puede tener hasta 282 ppm, por lo que hay más probabilidad de una congelación con el R-12 que con el R-22. Así, es evidente que la capacidad de agua de un filtro deshidratador sólo significa algo cuando se refiere a un refrigerante en particular, a un cierto EPD y a una cierta temperatura. Es por esto que surgió la necesidad de establecer una norma, y así, surgió hace mucho tiempo la norma 710 de ARI.

Capacidad de Flujo

Es el flujo máximo de refrigerante líquido que permitirá un filtro deshidratador nuevo, a una caída de presión de 2 lb/pulg² (13.8 kPa) dada en toneladas por minuto. Esta clasificación se hace en base a las normas 710 de ARI y 63 de ASHRAE. Para filtros deshidratadores de la línea de succión, la capacidad de flujo se determina de acuerdo a las normas 78 de ASHRAE y 730 de ARI. Esta última, también da algunas caídas de presión recomendadas para la selección de filtros deshidratadores en instalaciones temporales o permanentes.

Debe observarse que la capacidad de flujo difiere, dependiendo del tipo y tamaño de conexión y de los componentes internos. La capacidad de flujo puede reducirse rápidamente, cuando el filtro deshidratador haya filtrado cantidades críticas de sólidos y semisólidos. La cantidad y el tiempo de cuando esto va a ocurrir, no se puede predecir y no está indicado en la norma de ARI. El filtro deshidratador deberá reemplazarse cuando su capacidad de flujo caiga abajo de los requerimientos de la máquina. En la tabla 1.17, se muestran las caídas de presión máximas recomendadas en la línea de líquido y en la línea de succión, a varias temperaturas y para diferentes refrigerantes. Nótese que hay mayor tolerancia cuando la instalación de los filtros deshidratadores es temporal (por ejemplo en limpieza de sistemas después de una quemadura) que cuando la instalación es permanente. Esto es con el propósito de aprovechar al máximo el filtro, dejándolo que colecte la mayor cantidad posible de contaminantes.

Debe recordarse que las capacidades de flujo están basadas en una situación ideal de un sistema completamente limpio.

Seguridad

La norma para esta clasificación, está basada en la presión de ruptura del cuerpo del filtro deshidratador. Todos los filtros deshidratadores para la línea de líquido fabricados bajo la norma 710 de ARI, deberán cumplir los requerimientos de la norma 207 de Underwriters' Laboratories, Inc. (UL): "Componentes y Accesorios No Eléctricos para Contener Refrigerante". Esta norma establece que la presión de trabajo segura (SWP) para un filtro

deshidratador debe ser de 500 psi (35 kg/cm²), y la presión de ruptura debe ser como mínimo 5 veces la presión de trabajo; es decir, 2,500 psi (175 kg/cm²). Los filtros deshidratadores que fabrica Valycontrol, S.A. de C.V., cumplen con esta norma y están aprobados con el No. 20T4.

Para las demás características, hasta ahora no existen normas sobre las que se puedan basar los fabricantes de filtros deshidratadores para hacer su clasificación; por lo que cada fabricante hace sus pruebas y evaluaciones, y de acuerdo a los resultados, se dan algunas recomendaciones. A continuación, se mencionan el resto de las características.

Capacidad de Acidos

Todavía no se ha establecido una norma a seguir para determinar la capacidad de un filtro deshidratador para retener ácidos, sin embargo, existen dos métodos populares para medir la presencia de ácido en un sistema. Un método es mediante el uso del ácido oléico estándar, y el otro, es hacer una prueba en aceite de un compresor quemado. Ningún método es representativo de lo que realmente ocurre en el sistema, ya que sólo indican la presencia de ácido en mayor o menor cantidad, al igual que un indicador de líquido y humedad sólo indica la presencia de agua pero no la remueve. El contenido de ácido en el aceite de un compresor quemado es, con mucho, mayor que el que se puede encontrar en el resto del sistema, mientras que el ácido oléico no se encuentra en el sistema. Las pruebas en laboratorio y en el campo han mostrado que la cantidad de ácido adsorbido por un desecante, es muy cercanamente proporcional al peso del desecante. De aquí se puede hacer una comparación de la capacidad de un filtro para recoger ácidos, conociendo el peso de desecante utilizado.

Como ya se mencionó en el tema de desecantes, la alúmina activada tiene esta gran capacidad para adsorber ácidos. Los filtros deshidratadores del tipo de bloque moldeado que fabrica Valycontrol, S.A. de C.V., contienen un gran porcentaje de este desecante.

Remoción de Ceras

La habilidad de un filtro deshidratador para remover ceras y resinas, se vuelve más importante en aplicaciones de baja temperatura con R-22 o R-502. En un sistema con R-12 hay menos problemas de ceras, ya que el R-12 puede retener cera disuelta a mucho más baja temperatura que el R-22 o el R-502. Mientras las ceras permanezcan en estado líquido no causan problemas, pero a bajas temperaturas pueden solidificarse, y depositarse sobre los asientos de las válvulas.

No existe un método aceptado para clasificar la habilidad de un filtro deshidratador para remover ceras. En este caso, se realizaron pruebas con varios materiales, para ver sus características de adsorber ceras. Los resultados mostraron que el carbón activado de un tamaño de poro en particular, era el más eficiente para la remoción de ceras. El carbón activado no es un material desecante, pero debido a esa característica, se incluye en combinación con desecantes en los bloques moldeados que Valycontrol, S.A. de C.V. fabrica exclusivamente, con el propósito de utilizarlos en sistemas donde se tienen problemas de ceras, como es el caso de los sistemas donde ha ocurrido una quemadura al compresor.

Filtración

Como tampoco existe una norma a seguir para clasificar un filtro deshidratador por su habilidad de filtrar y retener material extraño, y mientras no se desarrolle una, la guía más simple es que la capacidad de filtración es proporcional a la superficie de filtrado. Esta superficie varía mucho con las marcas y tipos de filtros deshidratadores; por lo tanto, la capacidad de filtración también es variable. La superficie de filtrado es muy importante, puesto que el filtro actúa como tal en la línea de líquido para la mezcla refrigerante - aceite, y para la mezcla vapor de refrigerante y aceite en la línea de succión. A continuación se describen sólo algunos de los múltiples tipos de filtros deshidratadores.

Los de tipo de desecante granular suelto emplean diferentes medios de filtración, que van desde simples telas de alambre (cedazos) de latón o acero de entre 60 y 150 mallas por pulgada², a lana de acero, fibra de vidrio, fieltro y cartón (como el de los filtros de aceite automotriz). Cualquiera de estos elementos filtrantes que se emplee, se instala generalmente en el extremo correspondiente a la salida del flujo de refrigerante. Otra variante en este tipo de filtros deshidratadores, son aquellos en los que la superficie filtrante es un bloque de material inerte (cerámica) hueco, y dentro de éste se coloca el desecante. A excepción de este último, la superficie de filtrado de los filtros deshidratadores de desecante suelto, es pequeña en relación al tamaño del filtro deshidratador.

Los de tipo de bloque desecante moldeado, son diseñados de tal forma que la mezcla de refrigerante aceite, pase a través de una capa uniforme de desecante. Esto asegura una filtración uniforme si la porosidad del bloque es también uniforme. El bloque es mantenido en su posición generalmente mediante un resorte, el cual lo presiona contra un empaque que forma el sello en el extremo de la salida, forzando al refrigerante a pasar a través de un bloque. Por lo regular, se instala un filtro de seguridad después del bloque, y consiste de una tela de metal de 100 mallas por pulgada² o un cojín de fibra de vidrio. Este tipo de filtros deshidratadores ofrecen la máxima superficie de filtración que se puede obtener.

En cualquiera de los tipos, un filtro deshidratador debe ser juzgado por su habilidad para atrapar y retener grandes cantidades de sólidos, y al mismo tiempo, continuar proporcionando un flujo aceptable con una mínima caída de presión. Cualquiera de los filtros deshidratadores retendrá las partículas sólidas más grandes como rebabas, pero no todos protegerán contra los contaminantes solubles que pueden afectar la estabilidad química del sistema. No se ha publicado nada acerca del límite más bajo de tamaño de partículas, pero el fabricante debe advertir la capacidad de sus filtros deshidratadores para filtrar en el rango bajo de micrones. Los filtros deshidrata-

dores de Valycontrol, S.A. de C.V. del tipo de bloque moldeado, en pruebas de laboratorio, retienen partículas del rango de 5 a 10 micrones (un micrón es una millonésima parte de un metro).

Mientras más grande sea la superficie de filtrado, más ampliamente se distribuirán los sólidos, y sólo se formará una capa muy delgada de material sobre la superficie del bloque. Si la superficie es pequeña, la capacidad de flujo se reducirá considerablemente con una pequeña cantidad de contaminantes, y el sistema no operará a su capacidad. Por el contrario, un filtro deshidratador con una superficie de filtración grande, al remover contaminantes sólidos, su capacidad decrece ligeramente. Por lo tanto, recogerá más contaminantes y seguirá manteniendo su capacidad de flujo. Sin embargo, como nadie puede estar seguro de cuanta contaminación hay en el sistema, siempre se debe seleccionar un filtro deshidratador con una superficie de filtración tan grande como el sistema lo permita.

Capacidad del Sistema

Esto aunque no está considerado en ninguna norma ni en ningún texto, es importante mencionarlo. Esta característica determina la capacidad más grande de un sistema de refrigeración o aire acondicionado, en el que se puede instalar un filtro deshidratador de un tamaño dado. La capacidad se refiere siempre a la conexión de mayor tamaño. Por ejemplo, si vemos la tabla de capacidades en el catálogo, la serie de filtros deshidratadores de 30 pulgadas cúbicas (TD-30), hay cuatro diferentes conexiones.

TD-303 = 3/8" flare
TD-304 = 1/2" flare
TD-305 = 5/8" flare
TD-307S = 7/8" soldable

La mayor capacidad de refrigeración en T.R. (toneladas de refrigeración) la tiene el de conexión de 7/8", TD-307 S. Los de conexiones menores, su capacidad se reduce única y exclusivamente porque de acuerdo a las prácticas normales de refrigeración, usualmente se instalan en sistemas que tienen menor capacidad de refrigeración. La tabla está basada en una extensa investigación de mercado, y muestra la relación entre la capacidad del filtro deshidratador y el tamaño del sistema en T.R.

El fabricante de filtros deshidratadores hace estas “recomendaciones de selección”, porque de acuerdo a las investigaciones de mercado, el contenido real de agua en un sistema raramente se conoce; en cambio, la capacidad en T.R. siempre es conocida. Por esta razón, adicional a su clasificación de acuerdo a normas, Valycontrol, S.A. de C.V. clasifica sus filtros deshidratadores de acuerdo a la capacidad del sistema en T.R. La mayoría de los técnicos se refieren a la capacidad del sistema en HP, en lugar de toneladas de refrigeración, por lo que Valycontrol, S.A. de C.V. también hizo una relación entre la capacidad de sus filtros deshidratadores y la capacidad del sistema en HP. Esta tabla se encuentra en el catálogo.

Cuándo se debe Instalar un Filtro Deshidratador

En realidad, lo más recomendable es que el sistema todo el tiempo esté protegido por filtros deshidratadores. Los equipos de refrigeración y aire acondicionado que ya vienen ensamblados de fábrica (paquetes), ya traen instalados los filtros deshidratadores. Cuando la instalación se hace en el campo o cuando se efectúa un servicio a un equipo, cualquiera que sea el motivo, es altamente recomendable la instalación de filtros deshidratadores. La mayoría de los contaminantes en un sistema son residuos de la fabricación, instalación o reparación. Debido a que los refrigerantes son excelentes solventes, estos contaminantes son rápidamente arrastrados durante el arranque, a través de las líneas y hacia el compresor. Por esto, los filtros deshidratadores no solamente son una seguridad en caso de que el procedimiento de evacuación no haya sido el adecuado, sino que además de la humedad, también removerán las partículas sólidas y otros contaminantes.

Por otra parte, si ocurrió una quemadura del compresor, es imprescindible la instalación de filtros deshidratadores para una completa limpieza del aceite y del refrigerante, y para proteger el compresor nuevo; ya que la producción de contaminantes cuando se quema un motocompresor, es demasiado alta.

En cualquiera de los tres casos (instalaciones nuevas, servicios y quemaduras de compresores), el sistema necesita protección, y mayormente durante el arranque inicial. Aunque un filtro deshidratador es el dispositivo principal utilizado para remover todos los contaminantes del sistema, debe tenerse en cuenta que no es el substituto a un trabajo o diseño deficiente, sino la herramienta de mantenimiento necesaria, para que el sistema funcione en forma apropiada y contínua por más tiempo.

Dónde se debe Instalar un Filtro Deshidratador

Durante mucho tiempo la pregunta era: ¿dónde es mejor instalar un filtro deshidratador, en la línea de líquido o en la línea de succión? Al avanzar en esta discusión, se hará evidente que sólo hay dos ubicaciones prácticas para la instalación de los filtros deshidratadores: la línea de succión y la línea de líquido. Ambas tienen ventajas y desventajas, las cuales serán analizadas.

Como ya se mencionó anteriormente, los componentes más afectados por los contaminantes son el compresor y la válvula de expansión o el tubo capilar. Es obvio que los filtros deshidratadores deban de instalarse cerca de estos componentes.

Antiguamente, la costumbre había sido instalar un filtro deshidratador en la línea de líquido para proteger la válvula de termo expansión o el capilar, y en la línea de succión no se instalaba nada, o en algunas ocasiones se instalaba únicamente un filtro de cartón o fieltro, pero sin desecante, y sólo temporalmente durante el arranque inicial del sistema, o para limpieza después de una quemadura, el cual era luego retirado.

En la actualidad, se ha comprobado que para que el sistema trabaje libre de problemas durante más tiempo, los componentes deberán tener protección contra contaminantes permanentemente, y no sólo durante el arranque inicial del equipo.

Los filtros deshidratadores para la línea de líquido, están diseñados para aplicarse en particular en ese lado del sistema, y de manera similar se diseñan los filtros deshidratadores para la línea de succión. Ambos tienen material desecante en cantidad suficiente y también un elemento filtrante; por lo que realizan las dos funciones. Las consideraciones que se toman en cuenta para estos diseños son: los tipos de desecante y la relación entre la humedad y los diferentes refrigerantes (ver tema de desecantes). De acuerdo a estas relaciones, a los refrigerantes se les puede extraer igualmente la humedad disuelta estando éstos en fase de vapor o líquido; por lo que la deshidratación puede llevarse a cabo tanto en la línea de succión, como en la de líquido, y de igual manera la filtración. A continuación, analizaremos cada uno de los lados del sistema, para poder hacer una conclusión respecto a dónde es más conveniente efectuar la deshidratación y dónde la filtración.

En primer término, se debe considerar el tipo de refrigerante, su estado, su velocidad y su temperatura, así como el tipo de desecante. En la línea de líquido, la temperatura del refrigerante es alta y la velocidad lenta. En la línea de succión el refrigerante está en forma gaseosa, a baja temperatura y a mayor velocidad; se estima que la velocidad del vapor de refrigerante en la línea de succión es seis veces la velocidad que tiene en la línea de líquido. Por esto, también hay diferencia en el diámetro de la tubería, y consecuentemente, la caída de presión en el lado de baja es crítica; mientras que en la línea de líquido se puede tolerar una mayor caída de presión, sin que repercuta en la eficiencia del sistema.

Para poder predecir con precisión la capacidad de retención de agua de un desecante en el refrigerante, tanto en fase líquida como en fase de vapor, se requiere recurrir a las curvas de equilibrio como las mostradas en las figuras

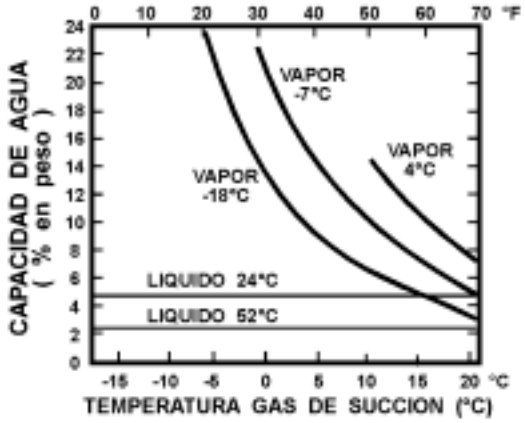


Figura 1.15 - Capacidad de retención de humedad de la alúmina activada en R-22 @ 60 ppm fase líquida vs. fase vapor

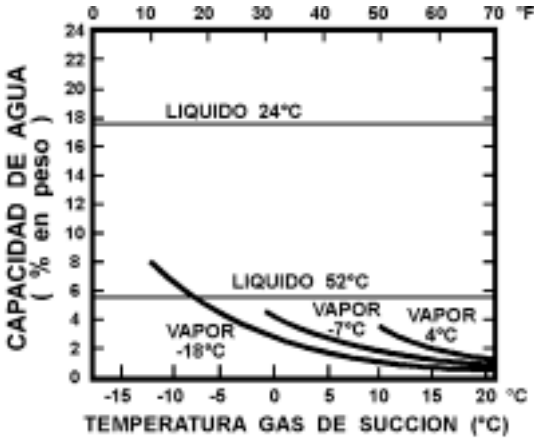


Figura 1.16 - Capacidad de retención de humedad de la alúmina activada en R-12 @ 15 ppm fase líquida vs. fase vapor

de la 1.4 a la 1.9. Estas son únicamente para la fase líquida. Hay muy poca información acerca de la capacidad de retención de agua de los desecantes en la fase vapor de los refrigerantes. En las figuras 1.15 y 1.16 se muestran las capacidades de retención de agua de la alúmina activada con R-22 y R-12 en la fase vapor, a un EPD de 60 ppm y 15 ppm, respectivamente. Como era de esperarse, para el R-22 (figura 1.15), los desecantes tienen mayor capacidad de retención de agua en la fase vapor que en la fase líquida. Con el R-12 (figura 1.16) sucede a la inversa, el desecante tiene más capacidad de retención de agua en la fase líquida. Con el R-502, aunque no se muestran las curvas, hay poca diferencia en la capacidad de retención de agua entre las dos fases.

Los desecantes de tamiz molecular, debido a su alta capacidad de retención de agua a baja saturación relativa, son efectivos para secar todos los refrigerantes ya sea en fase vapor o líquida. La sílica gel tiene un comportamiento similar a la alúmina activada (figuras 1.15 y 1.16); es decir, estos desecantes son más efectivos cuando se aplican en la fase vapor de refrigerantes, con altos niveles de solubilidad de agua como el R-22 y el R-134a, o en la fase líquida con refrigerantes con bajo nivel de solubilidad de agua, como el R-12 (ver tabla 1.1). Adicional a esta consideración, enseguida se hará un análisis de las ventajas y desventajas de instalar filtros deshidratadores en uno u otro lado del sistema.

Línea de Líquido

La instalación de un filtro deshidratador en la línea de líquido, antes del dispositivo de expansión, se ha vuelto la ubicación más aceptada por todos los que están involucrados con la fabricación, instalación y servicio de equipos de refrigeración. Esto tiene las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas. Primero que todo, la humedad es removida del refrigerante justo antes que el punto más bajo de temperatura del sistema alcance al dispositivo de expansión, limitando así la posibilidad de congelación. Además, el filtro deshidratador también removerá contaminantes sóli-

dos, evitando también que se tape el dispositivo de expansión.

Otra consideración importante es que en esta ubicación, el refrigerante está en forma líquida y a alta presión, lo que permite que el filtro deshidratador disponga de esa presión para proporcionar un adecuado flujo, y esto a su vez, permita tener el tamaño del filtro deshidratador dentro de los límites económicos. Aun más, la velocidad del refrigerante es lenta y los diámetros más pequeños, lo que permite que esté más tiempo en contacto con el desecante, y por lo tanto, el EPD se consigue más rápidamente.

Desventajas. Tal como se vio anteriormente (figura 1.9), la capacidad de retención de agua de un filtro deshidratador disminuye a alta temperatura. Si el refrigerante líquido que llega al filtro deshidratador está caliente, se reduce la eficiencia del desecante. Sin embargo, los fabricantes de filtros deshidratadores tomamos esto en cuenta, y compensamos esa reducción de capacidad agregando más desecante. Aquí cabe mencionar que se han instalado filtros deshidratadores dentro del espacio refrigerado, como en cámaras de congelación, con excelentes resultados; mejores que si se instalaran a la salida del condensador o del recibidor. Claro, siempre y cuando exista disponible una de tubería con longitud suficiente.

Una gran desventaja al instalar un filtro deshidratador en la línea de líquido, es cuando éste es del tipo de desecante suelto, el cual tiene que montarse en forma vertical con el flujo de abajo hacia arriba. Con este arreglo, las pulsaciones del refrigerante pueden levantar y dejar caer el desecante repetidamente, dando como resultado la formación de polvo en exceso. Esto puede entonces tapar la malla de salida, y aún los tubos capilares.

Otra desventaja es que si existen sales metálicas en el sistema, no serán retenidas por el filtro deshidratador de la línea de líquido; ya que estas sales son solubles en el refrigerante líquido caliente, y pasarán junto con éste hacia otros componentes, donde pueden causar los daños ya mencionados en el tema de contaminantes.

Línea de Succión

En sistemas nuevos que van a arrancarse por primera vez, después de efectuado un servicio, donde hubo una quemadura del compresor, o cuando se sospecha que contienen contaminantes sólidos, se debe de instalar un filtro deshidratador en la línea de succión, además del de la línea de líquido. Aunque el uso de un filtro deshidratador para la línea de succión estaba reservado únicamente para estos propósitos, se ha comprobado que en esta ubicación también se pueden retener además de partículas sólidas, otros contaminantes empleando los materiales desecantes adecuados.

Ventajas. En primer término, al instalar el filtro deshidratador justo antes del compresor, se protege éste de los contaminantes sólidos que puedan causar abrasión a las partes móviles. Con una combinación de desecantes apropiada, también se pueden retener otros contaminantes como ácidos, humedad y sales metálicas. Estas últimas son solubles en el refrigerante en la línea de líquido, pero en el vapor frío se precipitan, y ya como sólidos, son retenidos sobre la superficie del filtro deshidratador.

Desventajas. De acuerdo con el principio de que la capacidad de retención de agua de un filtro deshidratador es mayor a baja temperatura, originalmente se pensaba que su instalación en la línea de succión lo haría más eficiente en cuanto a eliminación de humedad. Sin embargo, las pruebas han revelado que éste no es el caso, y que en realidad, de hecho tiene menor capacidad de retención de agua, especialmente con R-12 y R-502. Solamente con el R-22 un filtro deshidratador en la línea de succión, tendría aproximadamente igual capacidad que en la línea de líquido.

Otra desventaja para su instalación en la línea de succión es la cuestión del tamaño. Un filtro deshidratador para la línea de succión debe ser lo suficientemente grande, para poder manejar la capacidad de flujo total de vapor del sistema y mantener una mínima caída de presión; ya que, como sabemos, una caída de presión alta en la línea de succión implica una disminución de capacidad en el sistema completo y, probablemente, una falla del compresor si la restricción es muy severa. Además, con la alta velocidad del vapor de refrigerante, se tiene un contacto muy pobre entre éste y el desecante.

Si bien es cierto que el filtro deshidratador en la línea de succión protegerá al compresor de los contaminantes del sistema, no debe ser el único filtro en el sistema, ya que no podrá proteger al dispositivo de expansión u otros accesorios. El filtro deshidratador en la línea de succión debe usarse "además de", y no "en lugar de" un filtro deshidratador para la línea de líquido.

Las conclusiones de esta discusión sobre dónde es mejor instalar un filtro deshidratador son, como ya se mencionó, que los componentes deberán estar todo el tiempo protegidos.

En la actualidad, con las más modernas técnicas y procesos de fabricación disponibles, así como con los mejores desecantes, Valycontrol, S.A. de C.V. en base a muchos años de investigación y experiencia práctica, diseña y fabrica filtros deshidratadores con las características adecuadas para las necesidades de cada lado del sistema, brindando protección a los componentes. La recomendación es que para tener esta protección, lo mejor es emplear filtros deshidratadores del tipo de bloque desecante, que ofrecen una gran superficie de filtración y una combinación balanceada de desecantes, para retener además de partículas sólidas, los contaminantes solubles como agua, ceras, ácidos y sales metálicas. La combinación de desecantes proporciona una protección total del sistema, mejor que cualquiera de los desecantes solos.

Solamente en sistemas pequeños como refrigeradores domésticos, unidades de aire acondicionado de ventana, enfriadores de bebidas, congeladores, etc., se recomienda el uso de filtros deshidratadores con un sólo desecante. Además, en este tipo de sistemas, por razones de economía, no se justifica el uso de un filtro deshidratador en la línea de succión y no es indispensable. En sistemas más grandes que usen compresores semiherméticos o abier-

Tabla 1.17 - Caídas de presión máximas recomendadas a través de los filtros deshidratadores de la línea de succión y línea de líquido, para instalación permanente o temporal.

tos, lo más recomendable es instalar filtros deshidratadores tanto en la línea de líquido como en la de succión.

Cuándo se debe Cambiar un Filtro Deshidratador

Hay dos razones principales para cambiar un filtro deshidratador estando el sistema en operación:

1. Cuando haya una caída de presión arriba del límite recomendado.
2. Cuando el desecante se haya saturado de humedad.

Respecto al punto No. 1, la capacidad de flujo de un filtro deshidratador para la línea de líquido, se determina en toneladas por minuto a una caída de presión de 2 lb/pulg² (psi) a través del mismo, según los procedimientos de ASHRAE y ARI. Esta capacidad de flujo se ve rápidamente disminuida cuando grandes cantidades de sólidos y semisólidos son retenidos por el filtro. No hay forma de predecir qué cantidad se acumulará ni cuando va a ocurrir, pero es obvio que cuando la capacidad de flujo del filtro deshidratador caiga abajo de los requerimientos del equipo, éste deberá ser reemplazado. En la Tabla 1.17 se muestran las máximas caídas de presión permisibles a través de los filtros deshidratadores de la línea de succión y de la de líquido, respectivamente, tanto para instalaciones permanentes como temporales para los diferentes tipos de refrigerante. Como se puede observar en la tabla 1.17, las caídas de presión son menores en la línea de succión que en la línea de líquido, y si por ejemplo, los filtros deshidratadores se están utilizando para la limpieza de un sistema después de una quemadura (instalación temporal), se puede permitir que la caída de presión sea mucho mayor de la normal, con el objeto de aprovechar al máximo la capacidad de filtración, antes de retirar los filtros y cambiarlos por otros nuevos, o que se cambien los bloques desecantes, en el caso de filtros deshidratadores recargables. Los filtros deshidratadores para la línea de succión, están provistos de válvulas de acceso para poder medir la caída de presión. Si sólo tiene válvula de acceso en la conexión de entrada, se puede usar ésta y la de la válvula de servicio de succión del compresor.

En relación al punto 2, la capacidad de retención de agua de un deshidratador, depende de la cantidad y tipo de desecante, del tipo de refrigerante y de la temperatura. Si el contenido de agua en el sistema rebasa la capacidad del filtro deshidratador, éste deberá reemplazarse por otro nuevo; o bien, si es del tipo recargable, se deberán cambiar los bloques desecantes.

En ambos casos, es de gran utilidad instalar un indicador de líquido y de humedad, de buena calidad, inmediatamente después del filtro deshidratador de la línea de líquido. Este dispositivo permite observar la presencia de burbujas en el líquido, lo que puede ser una indicación de caída de presión. También se puede observar el contenido de humedad por el color del indicador (ver capítulo de indicadores de líquido y humedad).

Por otra parte, es norma que los filtros deshidratadores también deban de cambiarse cada que se abra el sistema por cualquier razón.

Si después de cambiar una vez los filtros deshidratadores sigue habiendo indicios de exceso de humedad o de caída de presión, deben reemplazarse por segunda vez, y aún una tercera vez, si es necesario, hasta que el técnico quede convencido de que el nivel de contaminantes en el sistema, se haya reducido a un límite seguro.

Normalmente cuando se va a cambiar un filtro deshidratador o a reemplazar el desecante, se requiere vaciar la línea de refrigerante y aislar el filtro, cerrando las válvulas de paso o de servicio en la línea.

Cómo se debe Seleccionar un Filtro Deshidratador

Antiguamente, en base a la experiencia, lo recomendable era seleccionar un filtro deshidratador que tuviera mayor cantidad de desecante de la necesaria, para efectuar la deshidratación y, en aquellas situaciones donde un solo deshidratador no era suficiente, era cuestión de instalar un segundo, y si se requería, hasta un tercero.

En la actualidad es muy fácil seleccionar un filtro deshidratador para que cumpla con el trabajo de secado, ya que la mayoría de los fabricantes de filtros deshidratadores publican en sus catálogos tablas de selección, en las cuales los clasifican de acuerdo a la norma 710 de ARI. Como ya sabemos, esta norma se desarrolló para proporcionar un método preciso de prueba, y además, especifica cómo un fabricante debe clasificar sus filtros deshidratadores. De esta manera, a los técnicos y fabricantes de equipos, se les facilita seleccionar un filtro deshidratador y pueden estar seguros que realizará el trabajo para el que fue seleccionado.

Algunos fabricantes en el mundo, entre ellos Valycontrol, S.A. de C.V., van un paso adelante de las normas de ARI,

en el hecho de que no solamente publican los datos apegados a estas normas, sino que también hacen sus propias “Recomendaciones de Selección” para los técnicos. Por ejemplo, se hacen recomendaciones para equipos domésticos y comerciales, para fabricantes de equipos originales de refrigeración y aire acondicionado, y para ensamble y reemplazo en el campo. En estas recomendaciones se considera un exceso de suciedad en el sistema, lo que significa que el filtro deshidratador puede retener una cantidad considerable de suciedad, y aún proporcionar un flujo adecuado para mantener la capacidad del sistema.

El tamaño de un filtro deshidratador puede variar de acuerdo al sistema y al refrigerante que se utilice. Al seleccionar un filtro deshidratador para una instalación de cierto tamaño, nosotros podemos suponer que el filtro debiera ser más grande si el sistema es con R-22, a que si es con R-12. Pero esto no es así, ya que si recordamos, de acuerdo a la norma 710 de ARI, el R-22 debe deshidratarse a un EPD de solo 60 ppm y el R-12 debe deshidratarse hasta un EPD de 15 ppm. Por otro lado, en el sistema con R-22, se requeriría circular menos cantidad de refrigerante que en el sistema con R-12, para obtener aproximadamente la misma capacidad. En conclusión, si las condiciones son similares, se requerirá un filtro deshidratador de mayor tamaño si el sistema es con R-12, que si fuese con R-22.

Si echamos un vistazo a las tablas de selección de filtros deshidratadores en el catálogo de Valycontrol, veremos que los diferentes modelos están clasificados de acuerdo a la norma 710 de ARI, pero además, aparecen unos datos de «Capacidades Recomendadas» tanto para fabricantes de equipo como para reemplazo en el campo. Si observamos, un cierto modelo de filtro se recomienda para una cierta capacidad cuando se instala en un equipo original, pero para un reemplazo en el campo, se requerirá instalarle uno más grande para que dé la misma capacidad.

Lo anterior, se debe principalmente a que un fabricante de equipo original, puede determinar el contenido de humedad dentro de sus equipos, haciendo esto más fácil seleccionar con precisión el tamaño de filtro deshidratador que debe instalar en cada unidad. Cuando se hace una instalación nueva, o cuando se repara un equipo en el sitio de trabajo, no hay una manera sencilla de que el contratista o el técnico determinen el contenido de humedad, a menos que se hagan complicados cálculos o pruebas de laboratorio. Debido a esto, lo más común es que se seleccione un filtro deshidratador con una capacidad algo mayor de la requerida; así, se tendría una cantidad adicional de desecante para retener el exceso de humedad que entrara al sistema, en caso de abrirlo por cualquier razón.

La clasificación de los filtros deshidratadores se hace bajo dos condiciones diferentes: primero, una clasificación de laboratorio, en base a condiciones de operación ideales; la segunda clasificación, se basa en una exageración de su funcionamiento a las condiciones reales en el campo. Como regla, la clasificación en condiciones de laboratorio, será más alta que las fijadas para uso en condiciones en el campo. Cuando se selecciona por capacidad, deberá usarse la clasificación del fabricante. La razón es que esta clasificación es más baja que la de laboratorio, y su uso asegurará que el filtro deshidratador sea lo suficientemente grande para cumplir con el trabajo. Todos los filtros deshidratadores seguirán la regla de que mientras más grandes son, más contaminación detienen. También sabemos que en los de mayor tamaño, la caída de presión es menor, y puesto que es necesario que los filtros deshidratadores mantengan una caída de presión baja, lo más sensato es, seleccionar un filtro deshidratador tan grande como el espacio y la economía lo permitan.

En el lado de baja del sistema, el proceso de selección es muy similar. Mientras son la humedad y las ceras lo que pueden detener el funcionamiento una válvula de expansión, el ácido y los contaminantes insolubles son los que pueden matar un compresor. En la línea de succión se debe seleccionar un filtro deshidratador más por su capacidad de filtración y remoción de ácidos, que para remover humedad. También deberá seguirse la regla de que mientras más grande mejor.

Otra opción en el proceso de selección de filtros deshidratadores, es entre los de tipo sellado y los recargables y se debe considerar también el tipo de sistema; es decir, si se trata de refrigeración doméstica, comercial, industrial o aire acondicionado, y si es de baja, media o alta temperatura.

En base a toda la información expuesta en este capítulo, hemos aprendido cómo poder calcular la capacidad de retención de agua de un filtro deshidratador, para un sistema y refrigerante determinados. Pero esto no es necesario hacerlo, ya que el fabricante ha hecho todos esos cálculos para que la selección sea simple. En el catálogo en las Tablas de Selección de Filtros Deshidratadores, aparecen los valores de las diferentes clasificaciones para cada modelo de filtro deshidratador. De cualquier manera, veremos algunos ejemplos de cómo calcular esa capacidad, y cómo seleccionar un filtro deshidratador.

Debido a la diversidad de modelos y aplicaciones de los filtros deshidratadores, y a que existen también una variedad de sistemas en cuanto al tamaño y temperaturas de trabajo, haremos un ejemplo representativo de cada uno.

Para la selección de un filtro deshidratador, generalmente deben considerar varios parámetros de diseño.

1. Contaminantes presentes en el sistema
2. Presión máxima de operación
3. Temperatura máxima de operación
4. Humedad total en el sistema
5. Tipo y cantidad de refrigerante
6. Tipo y tamaño de sistema

Contaminantes

Esta información es necesaria para determinar el área de filtración total requerida.

Presión de Operación

Se necesita esta información para determinar la mínima presión de ruptura requerida. Como ya se había mencionado, la presión de ruptura mínima requerida por un filtro deshidratador está dada por la norma 207 de Underwriters' Laboratories (UL). Esta norma establece que la presión de ruptura, debe ser mínimo 5 veces la presión de trabajo (500 psi) o sea, 2500 psi (175 kg/cm²). Los filtros deshidratadores que fabrica Valycontrol, S.A. de C.V. cumplen ampliamente con esa norma.

Temperatura de Operación

Esta información sirve para determinar el tipo de desecante. Como ya se vio en el tema de desecantes, el tamiz molecular es generalmente el desecante de más aceptación para usarse en la línea de líquido, debido a su alta capacidad de retención de agua aún en temperaturas altas. La sílica gel se emplea con mejor resultado en la línea de succión. Si se va a utilizar sílica gel en la línea de líquido, se deberá emplear un volumen aproximadamente tres veces mayor. Algunas veces se emplean mezclas de estos dos desecantes. Esto es en lo que se refiere a la aplicación de desecante suelto.

La alúmina activada, generalmente no se utiliza sola. La mayoría de las veces se emplea combinada con tamiz molecular o con sílica gel y en forma de bloque moldeado, para darle a estos bloques, además de capacidad de retención de agua, la capacidad de retener ácidos y también mayor área de filtrado. De esta forma, se pueden instalar tanto en la línea de líquido como en la de succión.

Humedad Total del Sistema

Con esta información se determina la cantidad de desecante necesario para mantener la humedad en un nivel seguro. La norma 710 de ARI establece el método para comparar diferentes desecantes y filtros deshidratadores. Este método sirve más bien como una guía para pruebas de laboratorio. La experiencia ha demostrado que una manera más significativa para dar el tamaño a los filtros deshidratadores, es basándose en la cantidad de desecante, la capacidad del sistema y la cantidad y tipo de refrigerante. Es decir, el filtro deshidratador deberá tener el tamaño suficiente para mantener la humedad del sistema por debajo del nivel permitido, a la temperatura de operación.

Ejemplo 1. Cálculo y selección de un filtro deshidratador para refrigeración doméstica.

Datos:

Carga de refrigerante	= 900 g
Tipo de refrigerante	= R-12
EPD (Nivel de humedad en R-12)	= 15 ppm
Temperatura de evaporación	= -15°C
Humedad en el sistema*	= 250 mg

*(dato del fabricante)

Nota: Para efecto de clasificación de filtros deshidratadores, su capacidad de retención de agua se expresa en gramos o en gotas de agua. Debe recordarse que 1g de agua = 20 gotas de agua.

Cálculos:

Primero debe calcularse la humedad total del sistema, para lo cual, todos los valores deben estar en las mismas unidades.

Peso del agua en el R-12 = 15 ppm = 15 mg de agua/kg de R-12

como son 900 g de R-12:

$$900 \text{ g R-12} \times \frac{0.015 \text{ g agua}}{1000 \text{ g R-12}} = 0.0135 \text{ g de agua}$$

El agua total es: la del refrigerante más la del sistema = 0.0135 + 0.250 = 0.2635 g de agua.

$$\text{Convertido a ppm} = \frac{0.2635\text{g}}{900 \text{ g}} = 0.0002928 \text{ g} = 292.8 \text{ ppm}$$

De la tabla 1.1 podemos ver que el R-12 a -15°C retendrá 10 ppm a esta temperatura, el resto del agua (292.8 - 10 = 282.8 ppm) se congelará. Por lo tanto, el filtro deshidratador deberá ser capaz de remover 282.8 ppm de agua. Para calcular los gr de desecante requerido, expresamos la humedad en gramos y luego en gotas.

$$0.2828 \frac{\text{g de agua}}{1000 \text{ g de R-12}} \times 900 \text{ g de R-12} = 0.2545 \text{ g de agua}$$

$$0.2545 \text{ g agua} \times \frac{20 \text{ gotas}}{1 \text{ gramo}} = 5.09 \text{ gotas de agua}$$

De la figura 1.4 tomamos los valores de la sílica gel y el tamiz molecular, que son 9% y 20.5% en peso, respectivamente. Aquí cabe mencionar que todos los desecantes al embarcarse, tienen algo de humedad conocida como "humedad residual". La máxima permitida de acuerdo a una norma industrial típica, es del 2%. Los datos de las tablas se refieren al desecante seco; por lo que a la capacidad de la tabla se le resta el 2%; así, la capacidad efectiva es 7% y 18.5%, convirtiéndolas a gotas de agua:

Sílica:

$$7 \frac{\text{g agua}}{100 \text{ g desec.}} \times 20 \frac{\text{gotas de agua}}{1 \text{ g agua}} = 140 \frac{\text{gotas agua}}{100 \text{ g desec.}}$$

Lo que significa que cada gramo de sílica gel removerá 1.4 gotas. Haciendo lo mismo para el tamiz molecular, tenemos que cada gramo retendrá 3.7 gotas de agua.

La cantidad de desecante requerido para este sistema será:

$$\frac{5.09 \text{ gotas} \times 1 \text{ g}}{1.4 \text{ gotas}} = 3.63 \text{ g de sílica gel}$$

$$\frac{5.09}{3.7} = 1.37 \text{ g de tamiz molecular}$$

Cualquiera de estos dos desecantes mantendrá el sistema dentro de un nivel seguro, pero no permitirá un factor de seguridad para las operaciones futuras. El factor de seguridad deberá ser determinado por el técnico. La recomendación general es, que para dar protección al sistema por muchos años, se utilicen de 10 a 15 veces la cantidad mínima requerida; esto es:

Sílica gel	de 36 a 54 g
Tamiz molecular	de 14 a 21 g

Finalmente, cabe mencionar que un filtro deshidratador con sílica gel que contenga entre 36 y 54 gms., sería demasiado grande y desproporcionado para un refrigerador doméstico, por lo que lo lógico sería utilizar un filtro deshidratador molecular. En la Tabla de Filtros Deshidratadores Domésticos del Catálogo de Valycontrol, vemos que el modelo T-20-4 contiene 20 g de desecante molecular, y nos sirve perfectamente para este trabajo.

Ejemplo No. 2. Cálculo y selección de un filtro deshidratador para un sistema de refrigeración comercial.

Datos:

Carga de 11 kg de R-12 con ø de 5/8" en la línea de líquido.

En este caso, no tenemos datos de la humedad residual del sistema, por lo que suponemos que los componentes están limpios y que el sistema completo fue cuidadosamente secado durante su ensamble. De acuerdo a la norma 710 de ARI, el contenido de humedad del R-12 antes de la deshidratación es 565 ppm., y el contenido de humedad después de la deshidratación es 15 ppm (tabla 1.14). La humedad residual en el refrigerante será:

(565-15) ppm = 550 ppm = 550 mg de agua/kg de R-12

Como son 11 kg de refrigerante, la humedad total será:

$$0.550 \frac{\text{g de agua}}{\text{kg de R-12}} \times 11 \text{ kg de R-12} = 6.05 \text{ g de agua}$$

Convirtiendo a gotas de agua:

$$6.05 \text{ g de agua} \times \frac{20 \text{ gotas}}{1 \text{ g de agua}} = 121 \text{ gotas de agua}$$

En el ejemplo No. 1 vimos que la sílica gel tiene una capacidad de retención de agua de 1.4 gotas por gramo de desecante, y el tamiz molecular, 3.7 gotas por gramo de desecante. La cantidad que se requiere de cada desecante es como sigue:

$$\frac{121 \text{ gotas de agua}}{1.4 \text{ gotas de agua/g desec.}} = 86.43 \text{ g de sílica gel}$$

Procediendo igual para el tamiz molecular = 32.70 gr de molecular. Haciendo la misma consideración del ejemplo No. 1 del uso de 10 a 15 veces la cantidad mínima:

Sílica gel de	864 a	1,296 g
Molecular de	327 a	490 g

Viendo el Catálogo de Valycontrol, S.A. de C.V., la tabla de selección de filtros deshidratadores comerciales, observamos que no hay ningún modelo de filtro deshidratador con molecular y conexión de 5/8", por lo que, se deberá seleccionar uno de sílica gel. Los modelos T-750-16 y T-1000-16 tienen ambos conexión de 5/8", pero uno tiene 625 g y el otro 850 gms. de sílica; por lo que el modelo que se deberá seleccionar es el T-1000-16 que es del tipo recargable.

Otra opción sería un filtro deshidratador del tipo sellado con bloque moldeado, que de acuerdo a la tabla de selección del catálogo, el modelo TD-165 tiene una capacidad de agua de 244 gotas, a un EPD de 15 ppm con conexión de 5/8".

Ejemplo No. 3. Cálculo y selección de un filtro deshidratador para un sistema de aire acondicionado.

Datos:

Refrigerante	= R-22
Temp. de condensación	=35°C
Carga de refrigerante	= 35 kg

Aquí nuevamente, no tenemos datos de que haya humedad residual en el sistema, por lo que haremos las mismas consideraciones del ejemplo No. 2, en cuanto a que los componentes están limpios, y el sistema ha sido cuidadosamente secado durante su ensamble.

El contenido de humedad en el refrigerante se calcula de acuerdo a la norma 710 de ARI. Para el R-22, el contenido de humedad antes de la deshidratación es de 1,050 ppm, y después de la deshidratación es 60 ppm (tabla 1.14). Por lo que la capacidad de agua del filtro deshidratador que se va a usar será como sigue:

(1,050-60) X 35 = 34,650 mg de agua = 34.65 g de agua

Si esta capacidad la expresamos en gotas de agua:

34.65 X 20 = 693 gotas

Refiriéndonos a la tabla de selección de filtros deshidratadores para la línea de líquido, con R-22 en el catálogo de Valycontrol vemos que hay dos modelos que tienen la capacidad requerida, el TD-3-118 y el TD-3-138. La elección sería entre estos dos modelos, dependiendo del diámetro de la línea de líquido.

Si la humedad en el sistema excede el valor especificado por la norma de ARI, entonces deberá seleccionarse un filtro deshidratador con mayor capacidad de retención agua.

En este ejemplo no se calculó la cantidad de desecante porque, dado al tamaño del sistema, se recomienda instalar filtros deshidratadores del tipo recargable con bloque desecante. Como ya se mencionó, los bloques moldeados están fabricados con combinaciones de desecantes, por lo que es más complicado hacer este cálculo. La capacidad de retención de agua la calcula el fabricante, proporcionándola en su catálogo para que la selección sea más simple para los técnicos.

En sistemas con R-22 es más recomendable el uso de un filtro deshidratador en la línea de succión, adicional al de la línea de líquido, por la razón ya comentada de que con este refrigerante se obtiene la máxima capacidad de secado en la fase de vapor. En el caso particular de sistemas de aire acondicionado, también es recomendable el uso de filtros deshidratadores en la línea de succión para protección del compresor, el cual generalmente es del tipo semi-hermético o hermético.

Como fabricante de filtros deshidratadores, Valycontrol, S.A. de C.V., hace sus recomendaciones de selección con base en los datos técnicos más recientes que hay disponibles, y en la experiencia de más de 15 años de fabricar filtros deshidratadores del tipo de bloque desecante. En todos los casos, los resultados deberán ser satisfactorios con los modelos recomendados para los sistemas de refrigeración normales. Como se puede observar en el

catálogo, se han considerado las diferencias entre las aplicaciones para sistemas de refrigeración comercial, congelación y aire acondicionado. En estos últimos, puesto que pueden armarse en el campo o ensamblados de fábrica, los modelos recomendados son diferentes para una misma capacidad por razón de que el fabricante cuenta con equipos e instrumentos de mayor precisión, que los que puede usar un técnico en el campo para hacer la instalación.

Valycontrol, S.A. de C.V. publica su propia selección de filtros deshidratadores, pero al final de cuentas, la selección correcta de un filtro deshidratador dependerá de las condiciones que se esperan para cada trabajo. Dentro del contexto económico, conviene considerar instalar en el sistema capacidad adicional de retención de agua y filtración.

Cómo Instalar un Filtro Deshidratador

Independientemente del lado del sistema donde se vaya a instalar el filtro deshidratador, debe asegurarse que se esté respetando el sentido del flujo, el cual está indicado mediante una flecha en la etiqueta. Todos los filtros deshidratadores, a excepción de los reversibles o bidireccionales para bombas de calor, los demás están diseñados para ofrecer una óptima capacidad con flujo en un solo sentido; es decir, sólo tienen una entrada y una salida. El objetivo principal al buscar una posición para el filtro deshidratador, es asegurar un contacto uniforme entre el refrigerante y el desecante.

Para lograr esto, a continuación se ofrecen algunas recomendaciones de instalación tanto para la línea de líquido, como para la línea de succión.

Línea de Líquido

Los filtros deshidratadores para la línea de líquido se pueden instalar en cualquier posición, y en la mayoría de los casos, trabajan muy bien. Sin embargo, deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones.

No se recomienda que los filtros deshidratadores de desecante suelto (como los de sílica) se instalen en forma horizontal, debido a que los gránulos no están compactados y tienden a acumularse en el fondo, dejando parte del área del flujo sin cubrir. Si se instalan horizontalmente, el refrigerante tiende a formar canalizaciones entre los gránulos y se presenta un contacto deficiente entre el desecante y el refrigerante. Por otra parte, si hay turbulencias en el flujo, éstas pueden causar abrasión al desecante formando un polvo fino que no es detenido por el filtro, y posiblemente cause daños en los cilindros, pistones y válvulas del compresor. La recomendación es que se instalen en forma vertical, con el flujo del refrigerante de arriba hacia abajo.

En los filtros deshidratadores de bloque desecante, no hay riesgos de abrasión ni de canalizaciones, por lo que la posición no es problema, ya que en cualquier posición siempre va a haber un buen contacto entre el refrigerante y el desecante. Aunque en los de tipo recargable se

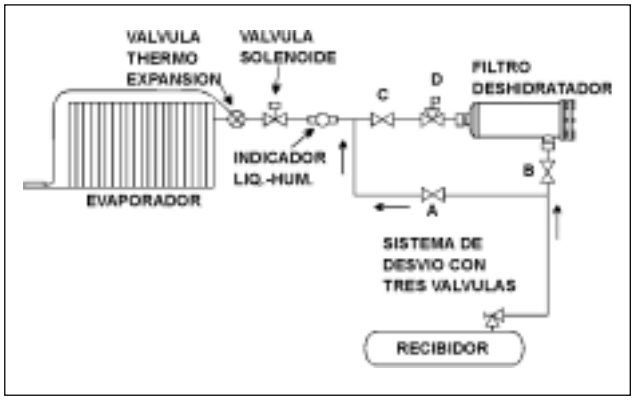


Figura 1.18 - Arreglo de desvío (by pass) con tres válvulas en la línea de líquido

pueden hacer las siguientes recomendaciones, procure instalar el filtro deshidratador de tal manera que, cuando se destape para hacer el cambio de bloques, no caiga material extraño dentro de la cápsula hacia la conexión de la salida. Algunas veces se recomienda construír un arreglo de desvío (bypass) para los filtros deshidratadores recargables, como el mostrado en la figura 1.18. Este arreglo permite que el sistema opere con o sin filtro deshidratador, y también reemplazar los bloques desecantes sin interrumpir la operación del sistema. El funcionamiento de las válvulas es el siguiente:

Estando las 3 válvulas ("A", "B", y "C") abiertas, el refrigerante circulará mayormente a través de la válvula "A" y no habrá una caída de presión debida al filtro deshidratador. Estrangulado el flujo de refrigerante por medio de la válvula "A", se puede obligar a que pase una parte del refrigerante a través del filtro deshidratador.

Si se van a reemplazar los bloques desecantes o el filtro, se deben cerrar las válvulas "A" y "B", dejando abierta únicamente la válvula "C". Esto es con el objeto de vaciar de refrigerante el filtro deshidratador estando funcionando el sistema. Cuando se pare el compresor por baja presión, se cierra la válvula "C" e inmediatamente se abre la válvula "A". De esta manera, se puede destapar el filtro deshidratador y proceder a reemplazar los bloques desecantes. Después del cambio se cierra la cápsula, se hace un buen vacío con una bomba al filtro deshidratador, se abren las válvulas "B" y "C" y se cierra la válvula "A" total o parcialmente, como se desee.

Si existe la posibilidad de que el operario no tenga experiencia en vaciar el refrigerante líquido del filtro deshidratador, como se describió arriba, y solamente cierra las válvulas "B" y "C" dejando la válvula "A" abierta, entonces se recomienda instalar una válvula de alivio de presión como se ilustra en la figura, ya que, el refrigerante líquido atrapado entre las válvulas "B" y "C" puede desarrollar una presión hidráulica peligrosa.

Línea de Succión

Debe recordarse que de este lado del sistema, el refrigerante está en forma de vapor a presión y temperatura bajas, y su velocidad es aproximadamente seis veces la

que tiene en la línea de líquido. La recomendación es que en este lado se instalen de preferencia filtros deshidratadores del tipo de bloque desecante. Normalmente, la posición de un filtro deshidratador en la línea de succión, debe ser en forma vertical con el flujo de arriba hacia abajo. Esto tiene poco que ver con el desecante, el motivo principal es asegurar el regreso del aceite al compresor. Si se monta en forma horizontal, el aceite puede quedar atrapado dentro de la cápsula del filtro deshidratador. Si no se dispone de suficiente espacio o la tubería corre horizontalmente, se pueden hacer arreglos con codos soldables de cobre de 45°, tal como se ilustra en la figura 1.19

En la figura 1.20, se muestra la instalación más adecuada para un filtro deshidratador en la línea de succión, en una tubería vertical empleando un codo de 90°. Estos arreglos permiten que el aceite drene fácilmente hacia el compresor y no se quede atrapado.

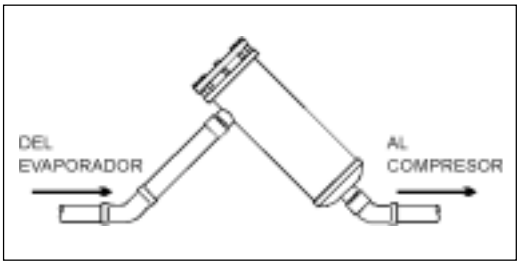


Figura 1.19 - Instalación de un filtro deshidratador tipo recargable de bloques desecantes en una tubería horizontal en la línea de succión.

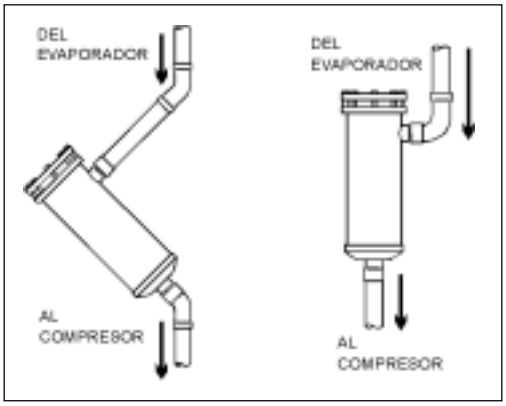


Figura 1.20 - Instalación recomendada para un filtro deshidratador tipo recargable de bloques desecantes en una tubería vertical en la línea de succión.

Finalmente, es importante mencionar que siempre se debe instalar el filtro deshidratador de manera segura en los muros o a la estructura de la unidad, de tal forma que su peso no sea soportado totalmente por la tubería, principalmente con los de gran tamaño. Si no se hace así, existen muchas posibilidades de que surjan fugas debido a las vibraciones.

Consideraciones de Seguridad para Filtros Deshidratadores

Cuando trabaje con filtros deshidratadores, deberá tomar las precauciones siguientes:

1. Para seleccionar el filtro deshidratador adecuado y para una correcta aplicación, deberán seguirse las recomendaciones del fabricante.
2. En sistemas donde la carga de refrigerante es crítica, como los domésticos o en unidades de aire acondicionado de ventana, y en general, en aquellos que no tienen tanque recibidor de líquido y que usan capilar para la expansión, si el filtro deshidratador es de sílica o alúmina, puede afectar el rendimiento del sistema reduciendo la cantidad de refrigerante circulado. Esto se debe a que estos desecantes retienen una cierta cantidad de refrigerante; por lo tanto, en este tipo de sistemas el filtro deshidratador deberá ser lo más pequeño posible.
3. Al quitar los sellos de las conexiones de un filtro deshidratador, deberá tenerse cuidado para no dañar la rosca o la superficie. El filtro deshidratador deberá ser instalado al sistema lo más pronto posible después de haberle quitado los sellos. Si un filtro deshidratador ha estado mucho tiempo expuesto al medio ambiente sin los sellos en las conexiones, no deberá instalarse al sistema. Lo mismo se aplica a los bloques desecantes o a los desecantes sueltos tales como la sílica.
4. Debe tenerse cuidado al manejar los filtros deshidratadores para no dañarlos, golpearlos o hacer mal uso de ellos.
5. La intensión de instalar un filtro deshidratador en un sistema, es remover los residuos de humedad que puedan quedar aún después de hacer un buen vacío. No pretenda que los filtros deshidratadores hagan el trabajo de la bomba de vacío en lo que a eliminación de humedad se refiere.
6. Procure instalar el filtro deshidratador de la línea de líquido, en el punto de más baja temperatura. Si se instala dentro de la cámara, aumentará su desempeño por cuestión de que la humedad es menos soluble en el refrigerante a bajas temperaturas, y eso es aprovechado por el desecante para atraparla.
7. Cuando un filtro deshidratador haya cumplido con su función, es necesario reemplazarlo si es del tipo sellado, o cambiar los bloques desecantes si es del tipo recargable. Los indicadores de líquido humedad son herramientas valiosas para determinar cuando esto es necesario.
8. Los filtros deshidratadores o desecantes que se han retirado de un sistema después de haber sido usados, no deben reciclarse para volverlos a instalar. Estos pueden contener, además de la humedad y ácidos, aceites, semi-sólidos y partículas sólidas, los cuales no se pueden eliminar al intentar reactivarlos.

Capítulo 2

BLOQUES DESECANTES Y SILICA GEL

Prólogo

En el capítulo 1, páginas 6-9, se trató de una manera amplia el tema de los desecantes. En este capítulo se hablará de los desecantes como repuesto para filtros deshidratadores del tipo recargable, tanto de bloques moldeados, como de desecante suelto.

Iniciaremos por hacer un breve resumen de lo que son los desecantes. Vimos que un desecante es un material sólido, capaz de remover humedad y ácido de un líquido o de un gas. Esta remoción algunos desecantes la hacen por un proceso llamado absorción, y otros por medio de otro proceso llamado adsorción. En el primero, absorción, el desecante reacciona químicamente con la sustancia a secar, formando otro compuesto diferente. En el proceso de adsorción, el desecante retiene la humedad y los ácidos dentro de sus grietas o poros, sin que haya una reacción química. Para efectos de refrigeración, los desecantes que se requieren son los que recogen humedad por adsorción, ya que no hay formación de otros compuestos que contaminarían el sistema.

De entre todos los desecantes de este tipo, los que mejor resultado han dado en refrigeración, son la alúmina activada, la sílica gel y el tamiz molecular, teniendo cada uno diferentes capacidades para retener agua y ácido.

Desecantes Sueltos

Quizá, la sílica gel haya sido el primer desecante utilizado en un deshidratador en los principios de la refrigeración, cuando la humedad era reconocida como el único contaminante. Posteriormente, al irse desarrollando la industria de la refrigeración, surgieron equipos más veloces y más eficientes, pero que exigen más limpieza y son menos tolerantes a los contaminantes. La sílica gel tiene una densidad casi igual que la alúmina activada y el tamiz molecular, y aunque tiene buena capacidad de retención de agua, sus gránulos son más grandes y se requiere mayor volumen que los otros desecantes, para obtener el mismo resultado. Esto la hace poco práctica para utilizarse en filtros deshidratadores para sistemas pequeños, como las unidades de ventana de aire acondicionado y los refrigeradores domésticos, en los cuales se emplea el tamiz molecular solo.

En la actualidad, la sílica gel se emplea principalmente como el único desecante en los sistemas de refrigeración comercial o industrial, en el rango de 1/4 hasta 10 HP, encapsulada en filtros deshidratadores del tipo sellado (desechables) y recargables. Algunas veces se usa en combinación con otro desecante como el tamiz molecular.

Figura 2.1 - Desecantes sueltos y algunos filtros deshidratadores que utilizan desecante suelto.

En los tipos recargables, la carga de sílica varía desde 95 g en el modelo T-110-6, hasta 850 g en el modelo T-1000-16 (Figura 2.1).

Tal como se mencionó en el capítulo anterior, a este tipo de filtros deshidratadores se recomienda cambiarles el desecante cuando se haya saturado de humedad, o cuando se abra el sistema por cualquier razón. Una buena recomendación es, instalar un indicador de líquido y humedad después del filtro deshidratador en la línea de líquido. La sílica de reemplazo debe ser nueva y activada, y debe guardarse en un envase sellado, protegida de la humedad del ambiente. Este desecante puede adquirirse en tambores de 159 kgs (a granel), pero lo más común es la presentación en frascos de 340 hasta 800 g, que es más recomendable, para recargar filtros deshidratadores.

Algunos fabricantes como Valycontrol, S.A. de C.V., emplean un indicador de humedad que se mezcla con la sílica gel, y sirve para indicar que el desecante está activado, sobre todo cuando va a estar almacenado por largos períodos, o en lugares donde la humedad relativa ambiental es alta. Este indicador de humedad es un material también desecante del mismo tipo que la sílica, pero que tiene la característica de cambiar de color en presencia de la humedad. Cuando está seco es de un color azul intenso, y en presencia de humedad disminuye la intensidad del color azul. Mientras mayor sea el contenido de humedad, este color se desvanece, hasta que a una saturación total de humedad, el indicador adquiere un tono ligeramente rosa o incoloro. La adición de este indicador es con el único objeto de advertir al técnico, cuándo debe y cuándo no debe utilizar la sílica.

La sílica gel tiene una presentación en forma de gránulos o perlas de aproximadamente 3mm de diámetro, los cuales son de color ámbar, de gran dureza y porosidad. Un gramo de este desecante posee una superficie de adsorción de aproximadamente 617 m². La sílica gel no debe fragmentarse cuando se satura de humedad. Existen otros tipos de sílica gel que no son recomendables para usarse en sistemas de refrigeración; tal es el caso de aquella que viene en apariencia de perlas transparentes, las cuales tienen poca capacidad de retención de agua y que al saturarse de humedad se fragmentan.

Respecto a los sistemas de refrigeración pequeños, el desecante empleado es el tamiz molecular, generalmente contenido en filtros de tubos de cobre con conexiones soldables para capacidades desde 1/12 hasta 1/2 HP. Estos filtros deshidratadores no son recargables. En la tabla 2.2, se muestra un comparativo de la capacidad de retención de agua de estos dos desecantes para varios refrigerantes a dos temperaturas diferentes , tal y como lo establece la norma 710 de ARI.

La clasificación de estos desecantes para su capacidad de secar el refrigerante, se basa en la cantidad de refrigerante en un sistema, que puede ser mantenido en equilibrio a las condiciones que indica la norma 710 de ARI; esto es:

R-12 15 ppm después de remover 550 ppm (11 gotas de agua / kg de R-12).

R-22 60 ppm después de remover 990 ppm (20 gotas de agua / kg de R-22).

R-502 30 ppm después de remover 990 ppm (20 gotas de agua / kg de R-502).

Puede notarse en la tabla, que las capacidades de secado y de retención de agua del tamiz molecular, no varían mucho con la temperatura; en cambio con la sílica gel, sí se ven disminuidas estas capacidades al aumentar la temperatura, por lo que con este desecante, importa mucho la ubicación del filtro deshidratador en la línea de líquido. Se recomienda instalarlo en el punto de más baja temperatura, entre el tanque recibidor y la válvula de expansión.

El significado de los valores de la tabla 2.2 es, por ejemplo, para el R-12 a 24°C: un gramo de sílica gel puede mantener en equilibrio la humedad de 159 g de refrigerante a las condiciones mencionadas, y ese mismo gramo puede adsorber 1.75 gotas de agua. Para el mismo refrigerante y a la misma temperatura, un gramo de tamiz molecular es capaz de secar 345 g de refrigerante y de adsorber 3.8 gotas de agua.

Bloques Desecantes

Los desecantes en forma de bloque han sido usados con éxito desde hace muchos años. En la opinión de muchos, el bloque desecante representa uno de los avances más notables en la fabricación de filtros deshidratadores. Esta opinión se basa no solamente en el amplio uso de los primeros modelos que se fabricaron, sino también en el reciente incremento de filtros deshidratadores de bloque desecante disponibles en la industria.

Hace aproximadamente 30 años, se hizo el primer filtro deshidratador con un bloque desecante auténtico. En ese tiempo sólo era posible hacerlo con pura alúmina activada.

Los bloques moldeados en la actualidad se fabrican con una combinación de dos o tres desecantes, los cuales se trituran y se mezclan con un aglutinante, se vacían en moldes, se comprimen a alta presión para darle la forma del molde, y se colocan en un horno a muy alta temperatura, donde adquieren una forma permanente y se activan los desecantes. La cantidad y tipo de aglutinante varía con cada fabricante. En la actualidad, las técnicas de aglutinado han progresado. El aglutinante debe seleccionarse por su capacidad para mantenerse estable, cuando se usa con refrigerantes comunes, y no debe afectar la capacidad de adsorción de humedad de los desecantes.

Valycontrol, S.A. de C.V. es el pionero y líder en nuestro país en cuanto a fabricación de bloques desecantes se refiere, y su calidad ha trascendido las fronteras, al grado

Figura 2.3 - Bloques desecantes y Filtros Deshidratadores de Bloques de Piedra desecante.

DESECANTE	DENSIDAD (gr/cm3)	R-12				R-22				R-502			
		CAPACIDAD DE SECADO (gr de R-12)		CAPACIDAD DE AGUA (gotas)		CAPACIDAD DE SECADO (gr de R-22)		CAPACIDAD DE AGUA (gotas)		CAPACIDAD DE SECADO (gr de R-502)		CAPACIDAD DE AGUA (gotas)	
		24°C	52°C	24°C	52°C	24°C	52°C	24°C	52°C	24°C	52°C	24°C	52°C
SILICA GEL	0.714	159	62	1.75	0.68	31	17	0.62	0.34	18	9	0.36	0.18
TAMIZ MOLECULAR	0.818	345	309	3.8	3.4	173	163	3.4	3.2	163	150	3.2	3.0

Tabla 2.2 - Capacidades de secado y de agua para dos desecantes con diferentes refrigerantes a diferentes temperaturas. La capacidad es por cada gramo de desecante.

de que más de la mitad de nuestra producción de filtros deshidratadores y bloques desecantes se exportan, compitiendo con amplia ventaja con otros fabricantes de marcas reconocidas (Figura 2.3).

Valycontrol, S.A. de C.V. ha perfeccionado su técnica de aglutinado, de tal manera que los granos individuales de desecante son atraídos por fuerzas capilares; de esta manera, cada gránulo que forma el bloque está fuertemente ligado sin ser recubierto por el adhesivo. Esto permite que los desecantes mantengan su capacidad y haya un filtrado más profundo.

Otros fabricantes no han desarrollado sus técnicas de aglutinado, y utilizan sustancias que hierven en el proceso de curado para formar burbujas que envuelven completamente los granos individuales, reduciendo enormemente la capacidad de retención de agua y ácido, así como la capacidad de filtración.

Es muy difícil producir un bloque desecante con pura alúmina activada, o puro tamiz molecular, sin que se deshaga. Algunos fabricantes han creído resolver este problema produciendo un bloque de material inactivo (cerámica), el cual es hueco y se rellena con algún desecante como tamiz molecular. Como las dimensiones externas de los filtros deshidratadores se han estandarizado, no queda mucho espacio para el desecante, ya que gran parte del volumen es ocupado por el bloque de cerámica. Su capacidad de retención de agua comparada con la de un bloque desecante, es muy pequeña.

Las principales características que debe reunir un bloque desecante son:

1) Buena capacidad de retención de agua.
2) Buena capacidad de retención de ácidos.
3) Buena capacidad de flujo.
4) Gran superficie de filtración.
5) Resistencia a la ruptura y a desgranarse durante el manejo normal.

La capacidad de retención de agua y ácidos, se logra con una combinación balanceada de desecantes, como la alúmina activada y el tamiz molecular.

La capacidad de flujo y la superficie de filtración, se obtienen con el tamaño apropiado de gránulos, el tipo de aglutinante y la uniformidad de los poros. Con respecto a esto último, la experiencia nos ha demostrado que un bloque con granos muy pequeños, retendrá partículas sólidas muy finas, pero se tapará muy rápido aún con pequeñas cantidades; por el contrario, si los granos son muy grandes, nunca se tapará pero no retendrá muchos contaminantes sólidos. El tamaño adecuado de grano debe estar entre estos dos extremos, y mejor aun, entre la distribución de los granos para que la porosidad sea uniforme; es decir, que el bloque no esté más poroso en una parte y más denso en otra, para que el flujo sea el óptimo y la filtración sea la máxima.

La forma y tamaño de los bloques desecantes, varía con el tamaño y tipo de filtro deshidratador donde se va a usar, además de la aplicación que va a tener. Esto es, se fabrican bloques desecantes desde 3 pulg³ (49.2 cm³) hasta 75 pulg³ (1,229 cm³) para filtros deshidratadores del tipo sellado para la línea de líquido, y desde 16 hasta 43 pulg³ (262 a 704 cm³) para filtros deshidratadores del tipo sellado en la línea de succión. La fabricación de bloques desecantes para uso en la línea de líquido, es diferente a la fabricación de aquellos que son para la línea de succión, dado que las condiciones del refrigerante también son diferentes. En la línea de líquido, el refrigerante está en forma líquida a alta presión y temperatura y a baja velocidad; en la línea de succión sucede lo contrario, el refrigerante está en fase vapor, frío, a baja presión y a mayor velocidad.

Los bloques desecantes para filtros deshidratadores del tipo recargable, se fabrican en varios tamaños desde 24 pulg³ (393 cm³) hasta 100 pulg³ (1,638 cm³). El bloque desecante "estándar" es el de 48 pulg³ (787 cm³) para filtros deshidratadores de tipo recargables. Dependiendo de la capacidad del filtro deshidratador, éste puede llevar de uno hasta cuatro bloques. Al igual que los de tipo sellado, su composición varía según la aplicación que se le va a dar. Se fabrican bloques desecantes con capacidad para agua y ácidos para uso en la línea de líquido, o para la línea de succión. Hay un tipo de bloque, que por sus características, puede emplearse tanto en la línea de líquido como en la línea de succión. Para sistemas con alto contenido de humedad, se fabrica un bloque de alta capacidad, en el cual se aumenta la cantidad de desecante molecular (Fig. 2.4).

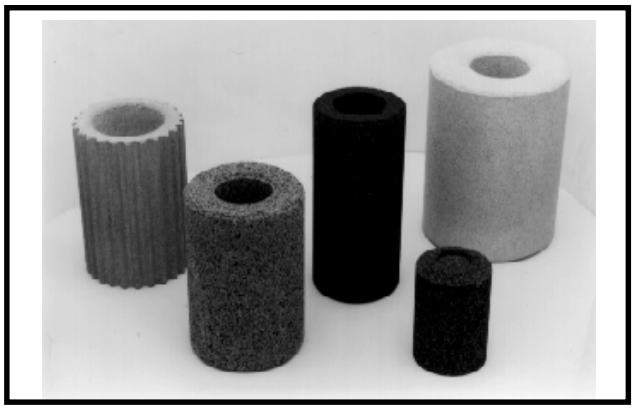


Figura 2.4 - Diferentes bloques desecantes para la línea de líquido, línea de succión, así como para quemaduras de motocompresor.

Para casos especiales de sistemas donde el motocompresor se ha quemado, se fabrican bloques desecantes que, además de los materiales desecantes, se les agrega carbón activado. Este material aunque no tiene características desecantes, tiene una propiedad muy útil en estos casos, que es la de remover las ceras y barnices, producto de la descomposición del aceite durante la quemadura. En el capítulo 11, se explica el proceso de limpieza de sistemas después de una quemadura, utilizando filtros deshidratadores de bloques desecantes.

La geometría de los bloques desecantes, tanto para filtros deshidratadores sellados como los recargables, sigue un patrón fijo; aunque últimamente han aparecido algunas modificaciones y hay pequeñas variantes de un fabricante a otro. En general, el bloque desecante tiene forma cilíndrica , con un agujero axial que se extiende totalmente de un extremo a otro en los del tipo recargable, y en los de tipo sellado, el agujero es parcial; es decir, uno de los extremos está cerrado. Esto tiene dos propósitos: primero, sirve de apoyo para presionar al bloque mediante un resorte, contra la tapa de salida dentro del filtro deshidratador, y segundo, para que el refrigerante fluya desde la superficie hacia el centro hueco del bloque, y que no se vaya directamente por el agujero sin pasar a través del desecante (Figura 2.5).

Las ventajas que ofrece el bloque moldeado, con respecto a los desecantes sueltos son:

1. El refrigerante pasa a través de una capa uniforme de desecante. Esto evita canalizaciones.
2. El contacto con el refrigerante es más estrecho, sin desaprovechar material desecante.
3. Con las combinaciones de desecantes se pueden conseguir objetivos como retener humedad, ácidos y ceras.
4. No hay fricción, debido a que los gránulos se mantienen rígidamente en su posición.
5. Por su forma, proporcionan un excelente grado y gran superficie de filtración, lo que les permite retener más cantidad de contaminantes antes de obstruirse.
6. La forma de los de tipo recargable es estándar, y puede instalarse en filtros deshidratadores de otras marcas.

Finalmente, mencionaremos que los bloques desecantes son muy sensibles a la humedad, y deberán estar todo el tiempo protegidos hasta el momento de su instalación, misma que recomendamos efectuarse en el menor tiempo posible, para evitar que estén mucho tiempo expuestos a la humedad del medio ambiente.

A través de los años y en base a experiencias propias, Valycontrol, S.A. de C.V. ha encontrado que la mejor manera de mantener alta la capacidad de retención de agua en sus bloques desecantes, es envasándolos en latas de metal sellados fáciles de abrir.

Respecto a la reactivación, diremos que no se recomienda en lo absoluto, sobre todo en desecantes que ya han sido utilizados en un sistema. Hay muchas razones para ello; primero, cada desecante tiene una temperatura de reactivación diferente, el equipo requerido es costoso y aunque se tuviera el equipo, hay otros factores que considerar como el tiempo invertido, pero sobre todo, el hecho de que si bien la humedad puede eliminarse, no sucede lo mismo con el aceite, los semi-sólidos y las partículas sólidas.

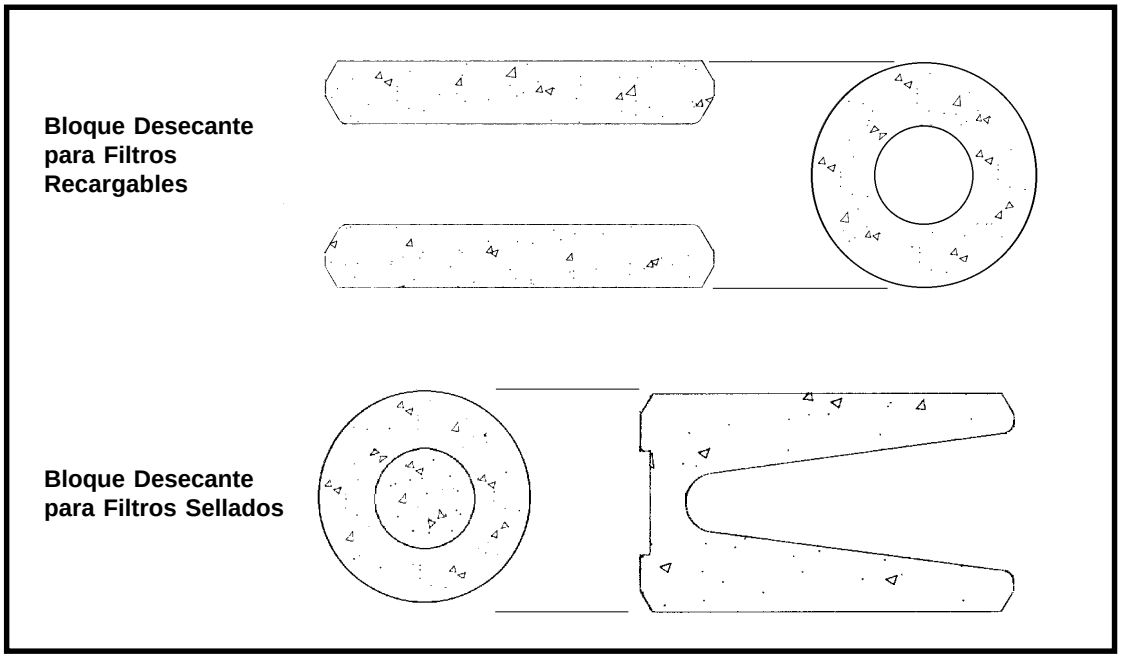


Figura 2.5 - Geometría de los bloques desecantes.

Capítulo 3

INDICADORES DE LIQUIDO - HUMEDAD

Definición

El indicador de líquido y humedad es un accesorio ampliamente utilizado en los sistemas de refrigeración, principalmente en refrigeración comercial y aire acondicionado. Es un dispositivo de metal con una mirilla de vidrio, que permite observar la condición del refrigerante. Anteriormente, se utilizaba como indicador de líquido únicamente, una simple mirilla. Posteriormente, surgió la idea de aprovechar esa ventana al interior para indicar humedad, y en la actualidad, todos los fabricantes lo hacen con ese doble propósito (Figura 3.1).

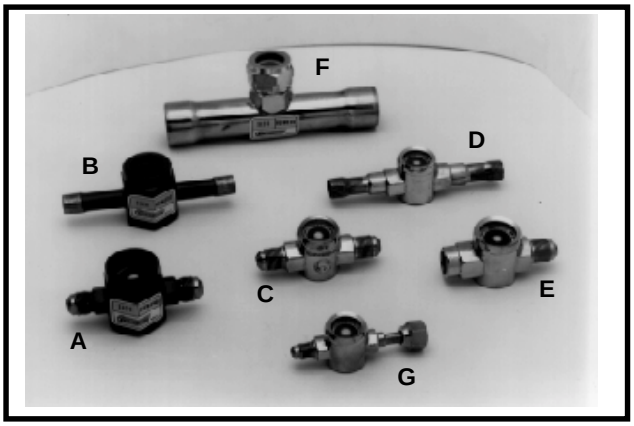


Figura 3.1 - Indicadores de líquido y humedad típicos

A. Cuerpo de acero, conexiones flare.
B. Cuerpo de acero con extensiones de tubo de cobre soldables.
C. Cuerpo de latón forjado, conexiones flare.
D. Cuerpo de latón forjado, con extensiones de cobre soldables.
E. Cuerpo de latón forjado, conexiones flare hembra y macho.
F. Cuerpo de tubo de cobre soldable.
G. Cuerpo de latón con conexión flare macho y tuerca.

Un indicador de líquido y humedad, es en realidad, la herramienta de mantenimiento preventivo más barata, que se puede instalar en el sistema de manera permanente. El indicador de líquido y humedad elimina la incertidumbre, de que el contenido de humedad del sistema pueda estar abajo de un nivel seguro, o lo suficientemente alto para causar problemas. También indica si falta refrigerante al sistema, o si hay alguna caída de presión en la línea de líquido.

Funcionamiento

La función más importante de un indicador de líquido y humedad, es revelar la presencia de exceso de humedad en el refrigerante, el cual puede ser nocivo para el dispositivo de expansión y al sistema completo.

La otra función, es observar a través del cristal el paso de refrigerante, el cual debe estar totalmente líquido.

Indicación de Humedad

Para realizar la primer función, o sea, indicación de humedad, cuentan con un elemento indicador. Este elemento sensor de humedad, consiste generalmente de un papel filtro poroso, impregnado con una sal anhidra de cobalto. Esta sal es única, en que tiene la capacidad de cambiar de color en presencia o ausencia de pequeñas cantidades de humedad. Este elemento está protegido contra aceite, lodo y suciedad, para que no pierda su propiedad; sin embargo, un exceso de humedad “libre” o una temperatura alta, pueden decolorarlo o dañarlo permanentemente. También, un exceso de aceite en el sistema, puede cambiar el color del elemento al color del aceite. El elemento indicador está calibrado para que cambie de color, de acuerdo con lo que se consideran niveles seguros o inseguros de humedad. Como ya sabemos, los niveles de seguridad de humedad varían con cada tipo de refrigerante, y por lo tanto, los puntos de cambio de color en el indicador de humedad, también varían con cada refrigerante (Ver tabla 3.2).

Es importante mencionar que todos los indicadores de humedad operan sobre el principio de saturación relativa, por lo tanto, debe considerarse la temperatura del refrigerante al evaluar el color del elemento indicador.

Es obvio también, que el indicador de humedad sólo muestra si un sistema contiene más o menos de cierta cantidad de humedad. "Qué tanta menos", no importa, puesto que el sistema está seguro. "Cuanta más", tampoco lo muestra el indicador, sólo que el sistema está húmedo o inseguro y se deben seguir los pasos para remover el exceso de humedad.

El elemento indicador de humedad debe tener la característica de reversibilidad de color, es decir, que marque "húmedo" cuando haya humedad, y que retorne a "seco" al eliminar la humedad. Esta capacidad debe operar cuantas veces sea necesario, y con la mayoría de los refrigerantes halogenados. Hay algunas marcas de indicadores de líquido y humedad, cuyos elementos indicadores no lo son en realidad, y sólo colocan un papel de color para competir en el mercado.

Algunos fabricantes emplean dos elementos indicadores, uno para refrigerante R-12 y otro para el R-22. La mayoría emplean sólo uno. Otros fabricantes emplean

las palabras “WET” (húmedo) y “DRY” (seco), las cuales se vuelven legibles al momento en que el elemento cambia de color.

Cuando se adquieren nuevos, los indicadores de líquido y humedad siempre van a indicar “húmedo”, pero esto es normal. Una vez instalados en el sistema y puestos en operación, los elementos indicarán la condición correcta del refrigerante. Toma aproximadamente una hora para obtener una lectura confiable, pero es hasta después de 8 a 10 horas cuando se estabiliza y muestra el color con más precisión.

COLOR INDICADOR TEMP. LINEA DE LIQUIDO	R-11 & R-12			R-22			R-134a		
	24°C (75°F)	38°C (100°F)	52°C (125°F)	24°C (75°F)	38°C (100°F)	52°C (125°F)	24°C (75°F)	38°C (100°F)	52°C (125°F)
Azul Seco	ABAJO 5	ABAJO 10	ABAJO 20	ABAJO 30	ABAJO 45	ABAJO 60	ABAJO 50	ABAJO 80	ABAJO 110
Azul Tenue PRECAUCION	5 - 15	10 - 30	20 - 50	30 - 90	45 - 130	60 - 180	50 - 200	80 - 225	110 - 310
Rosa HUMEDO	ARRIBA 15	ARRIBA 30	ARRIBA 50	ARRIBA 90	ARRIBA 130	ARRIBA 180	ARRIBA 200	ARRIBA 225	ARRIBA 310

Las cantidades en negrillas corresponden a las condiciones de diseño promedio de líneas de refrigerante líquido operando a 38°C (100°F). Dado que la temperatura real no es crítica, se puede realizar una estimación comparándola con la temperatura del cuerpo. Si se siente fría al tacto, use la columna de 24°C (75°F), si se siente caliente, utilice la columna de 52°C (125°F).

Tabla 3.2 - Contenido de humedad en partes por millón (ppm) para varios refrigerantes a varias temperaturas.

Como ya mencionamos, la temperatura es importante porque, mientras más alta la temperatura del líquido, más alto es el contenido de humedad que se necesita para producir el cambio de color. Si un indicador está caliente, digamos, a 52°C, puede mostrar un color de “seco”, aunque el sistema contenga mucha más agua; quizá de dos a tres veces más de la indicada. Para una indicación precisa y confiable, el refrigerante de la línea de líquido debe estar cercano a los 25°C.

Por otro lado, la concentración real del agua será diferente para cada refrigerante, esto se debe a que la solubilidad del agua es diferente para cada refrigerante. En realidad, no es necesario conocer el contenido real del agua, puesto que el color da una indicación confiable de que está en un nivel seguro. La concentración de agua indicada puede variar ligeramente de un indicador a otro, según el fabricante.

Valycontrol, S.A. de C.V., emplea en todos sus indicadores, elementos indicadores de líquido y humedad fabricados a base de sal de cobalto anhidra, son de un color azul intenso cuando el sistema está “seco”, y cuando el contenido de agua está por arriba de un nivel seguro, cambian a un color rosa. Cualquier tono de color intermedio de estos dos, indica una concentración de agua entre el nivel seguro y un exceso, por lo que se deben tomar precauciones. La indicación más precisa, se obtiene cuando la temperatura del refrigerante líquido se encuentra cercana a los 25°C, que es la temperatura de referencia para calibrar los elementos indicadores.

A continuación, se presentan en la tabla 3.2 , los cambios de color de acuerdo a los contenidos de humedad en el sistema, a diferentes temperaturas y para diferentes refrigerantes. No es necesario medir con precisión la temperatura en la línea de líquido. Tan sólo con el tacto, si se siente fresca, se usa la temperatura de 25°C, si está muy caliente, se usa la de 55°C, y si está tibia, se usa la de 40°C.

Analizando los datos de la tabla 3.2, es evidente que el cambio de color no ocurrirá al mismo nivel de humedad con todos los refrigerantes, debido a que la solubilidad del agua es diferente para cada refrigerante.

También habrá variaciones en el cambio de color, debido a la temperatura del refrigerante.

La ubicación del indicador de líquido y humedad en la línea de líquido, para efecto de indicación de humedad, no es muy importante, puesto que la carga completa de refrigerante llegará a un equilibrio, y por lo tanto, el indicador dará una indicación verdadera en cualquier punto.

Sin embargo, el punto preferido por fabricantes de equipo como por técnicos de servicio, es inmediatamente después del filtro deshidratador de la línea de líquido, con el objeto de estar verificándolo con relación a su capacidad de retención de agua (Figura 3.3).

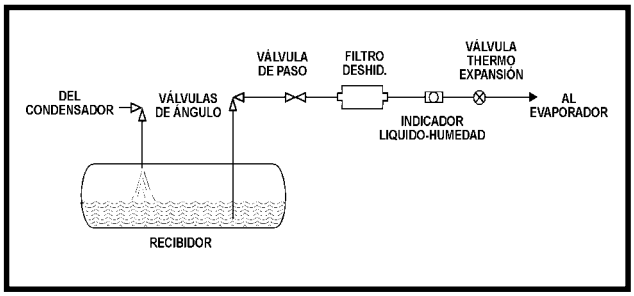


Figura 3.3 - Ubicación más usual de un indicador de líquido y humedad.

Inclusive, en ciertas medidas de conexiones, algunos indicadores de líquido y humedad, tienen conexión hembra para instalarse directamente en la conexión de salida del filtro deshidratador (Figura 3.1. E y G).

Al instalar un filtro deshidratador nuevo, al arranque del compresor algunas veces puede ocurrir un cambio rápido de color. Aquí se recomienda dejar operar el equipo entre 10 y 12 horas, permitiendo que el sistema alcance un equilibrio, antes de decidir si requiere cambiar el filtro deshidratador.

Indicación de Líquido

La otra función importante de un indicador de líquido y humedad, es la de mostrar el flujo de refrigerante en la línea de líquido.

Como es sabido, el refrigerante debe llegar al dispositivo de expansión en forma pura y totalmente líquida, para que este componente trabaje a su máxima eficiencia. Si por alguna razón llega menor cantidad de líquido, o

una mezcla de líquido y vapor, la eficiencia del dispositivo de expansión se ve disminuida, y generalmente afecta la eficiencia de todo el sistema.

Existen varias causas por las que puede suceder ésto:

1. Falta de refrigerante.
2. Filtro deshidratador obstruído parcialmente por suciedad.
3. Restricciones en la línea de líquido.
4. Línea de líquido excesivamente larga.
5. Falta de sub-enfriamiento en el refrigerante.

Si en un sistema de refrigeración existe una o varias de estas condiciones, se manifestarán en el indicador de líquido por la presencia de burbujas o vapor, esto es, suponiendo que el indicador está instalado en un punto de la línea de líquido, entre el filtro deshidratador y el dispositivo de expansión. Estas burbujas, en realidad, indican que el refrigerante líquido se está evaporando parcialmente en alguna parte de la línea. Cuando esto sucede, es necesario determinar cuál es la verdadera causa antes de tomar alguna acción correctiva. Cabe aclarar, que en algunos sistemas pueden aparecer burbujas en el indicador, al arrancar o al detenerse el compresor . Estas son acciones de igualación normales, y no deben confundirse con ninguna de las mencionadas arriba.

A continuación, analizaremos cada una de las causas por las que pueden aparecer burbujas en el indicador de líquido, considerando que su ubicación es la que ya mencionamos, entre el filtro deshidratador y el dispositivo de expansión. También, mencionaremos las acciones correctivas que pueden tomarse .

1. Falta de Refrigerante. Generalmente, ésta es la causa más común de la presencia de burbujas en el indicador de líquido. La falta de refrigerante puede ser porque no se cargó suficiente durante el montaje o servicio, o se debe a alguna fuga. La solución es cargar más refrigerante, hasta que poco a poco vayan desapareciendo las burbujas en el indicador, y se observe el paso de refrigerante completamente líquido. Algunos indicadores de líquido usan un ensamble especial que muestra la palabra “FULL” (lleno), indicando que en ese punto hay suficiente refrigerante en el sistema.

Antes de proceder a cargar más refrigerante, es vital que se cerciore que realmente la causa de las burbujas es la falta del mismo; ya que si el técnico procede a agregar una carga extra, cuando realmente no la necesita, el refrigerante se acumulará en el condensador, aumentando drástica- mente la presión.

La forma de verificar si falta refrigerante en el sistema, es eliminando posibilidades de una por una. Si no hay restricciones en la línea de líquido, las opciones son la 1, 2 y 5. Respecto a la No. 5, falta de sub-enfriamiento, es conveniente mencionar que esto se requiere sólo en sistemas de baja temperatura, o cuando el evaporador está a mayor altura que el recibidor. Para saber si no es el filtro, éste puede retirarse, o instalarse un indicador de líquido antes del filtro. Si persisten las burbujas, definitivamente es falta de refrigerante.

2. Filtro Deshidratador Parcialmente Obstruido. De acuerdo a lo analizado en el punto anterior, es fácil deducir que si se retira el filtro o se instala uno nuevo, y las burbujas desaparecen, entonces es acertado el diagnóstico. Si después de cambiar el filtro deshidratador continúan las burbujas, debe buscarse otra causa.

3. Restricciones en la Línea de Líquido. Si existe alguna restricción en la línea debido a tubos golpeados o doblados, el refrigerante estará sufriendo una ligera expansión al pasar por ese punto, lo que le provocará una caída de presión, y por lo tanto, de temperatura. Parte del líquido se evaporará formando burbujas, las cuales son visibles en la mirilla de vidrio. Obviamente, la solución aquí no es tratar de enderezar o desdoblar los tubos, sino de cambiarlos por otros nuevos.

4. Línea de Líquido Excesivamente Larga. En un caso como éste, si el indicador de líquido está instalado inmediatamente después del filtro deshidratador, existe la posibilidad de que no se vean burbujas, pero, debido a la longitud de la línea, puede haber una caída de presión en algún punto cercano al dispositivo de expansión, la cual no sería detectada por el indicador. Cuando la línea de líquido sea demasiado larga, se recomienda instalar el indicador de líquido lo más cercano posible a la válvula de expansión; ya que éste es el componente que sería afectado por la caída de presión.

Para efecto de indicación de humedad, ya vimos que no es necesario que el indicador esté cercano al filtro deshidratador, pero si se prefiere, se pueden instalar dos indicadores, uno después del filtro deshidratador y otro cercano a la válvula de expansión. La pérdida de presión en la línea se puede compensar con un sub-enfriamiento del líquido como se explica en el punto 5. Otra solución es rediseñar la línea de líquido calculando el diámetro óptimo para compensar la caída de presión. Se deberá hacer un balance económico para elegir una opción.

5. Falta de Sub-enfriamiento. Idealmente la presión y temperatura del refrigerante líquido que llega a la válvula de expansión deben ser las mismas que existen en el condensador o el recibidor; esto es, la presión y temperatura deben ser las de saturación. Normalmente existe una caída de presión a lo largo de la línea de líquido debido a los accesorios, conexiones y fricción en la tubería, la cual debe ser considerada al diseñar la tubería y no debe influir en el funcionamiento de la válvula de expansión. Si la presión del líquido al llegar a la válvula de expansión es considerablemente menor que la que se tiene en el recibidor o el condensador, el refrigerante se evaporará instantáneamente (Flash Gas). Si se sub-enfría el líquido que sale del recibidor unos cuantos grados abajo de su temperatura de saturación correspondiente a la presión, se asegura que no se evapore el líquido en la línea y se aprovecha la válvula de expansión al máximo. La cantidad mínima de sub-enfriamiento requerida es la diferencia de temperaturas

entre la de condensación y la de saturación correspondiente a la presión de saturación en la válvula de expansión. Sin embargo, un sub-enfriamiento excesivo reducirá la presión en la línea y reducirá el flujo a través de la válvula. Por ejemplo, si en un sistema con R-22, con una presión de condensación de 208 psig (lb/pulg²), la temperatura de saturación en el condensador será de 40°C. Si por alguna razón existe una caída de presión en la línea de líquido digamos de 15 psig, el refrigerante llega a la válvula de expansión con una presión de 193 psig, a la que corresponde una temperatura de saturación de 37°C. El sub-enfriamiento mínimo requerido es 40-37=3°C.

Si después del recibidor se sub-enfría el líquido digamos unos 6°C, éste llegará a la válvula de expansión a la misma presión de 193 psig pero con una temperatura de 40-6 = 34°C que es menor que la de saturación y corresponde a una presión de 177 psig. Esto significa que la caída de presión de 15 psig se puede compensar fácilmente ya que se tiene un diferencial de presión de 193 - 177 = 16 psig, lo que permite que el líquido pueda llegar a la válvula de expansión con una presión de hasta 177 psig y no se forme vapor (Flash Gas).

Si la caída de presión no es debida a las causas mencionadas en los puntos 1, 2 y 3, entonces las causas pueden ser:

- Líneas demasiado largas.
- Diámetro de la tubería de líquido muy chico.
- Que el evaporador esté arriba del recibidor, creándose una presión estática en la línea de líquido vertical (Figura 3.4).

Cuando sea alguna de estas causas lo que provoque la caída de presión, es necesario sub-enfriar el refrigerante líquido después de que sale del recibidor.

En la Figura 3.5 se muestra un método común para proporcionar líquido sub-enfriado en sistemas con

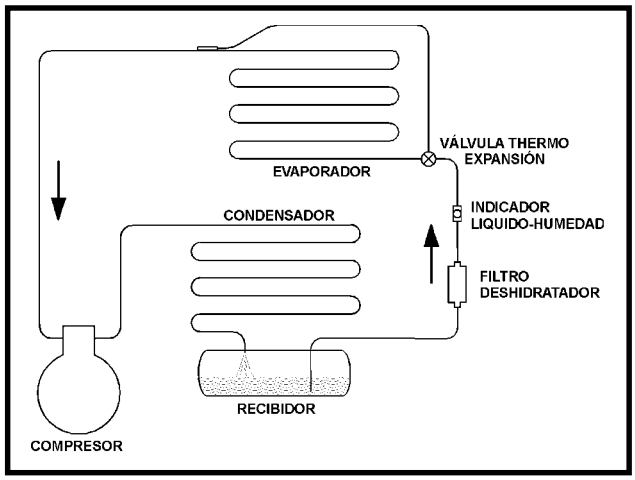


Figura 3.4 - Cuando el evaporador está por encima del recibidor se puede tener una caída de presión. La recomendación aquí es sub-enfriar el líquido después del recibidor e instalar un indicador de líquido y humedad antes de la válvula de thermo expansión.

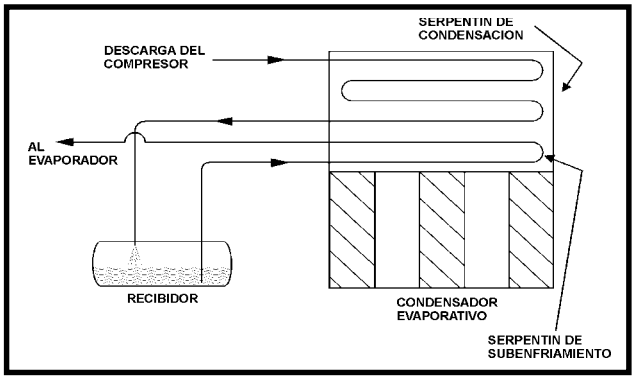


Figura 3.5 - Condensador evaporativo con serpentín para sub-enfriamiento del líquido.

refrigerante halogenado con un condensador evaporativo. Abajo del serpentín de condensación se coloca un serpentín para el sub-enfriamiento. Dependiendo de las condiciones de diseño, este arreglo proporciona un sub-enfriamiento al refrigerante líquido entre 6 y 8°C. Como se puede observar en la figura, el recibidor está instalado entre el serpentín del condensador y el del sub-enfriamiento para proporcionar un sello de líquido.

En condensadores enfriados por aire se puede hacer un arreglo similar al de la Figura 3.5.

En sistemas comerciales pequeños y en domésticos, el sub-enfriamiento se puede lograr instalando un intercambiador de calor entre las líneas de succión y líquido.

Tipos

Existe una variedad de versiones de indicadores de líquido y humedad tanto por su funcionamiento, construcción, visibilidad y manera de operar, así como por su tamaño, por el tipo de conexión y forma de sellar el cristal.

Los indicadores de líquido y humedad se fabrican en varios materiales como acero, latón y cobre.

Los de acero son maquinados generalmente de una barra hexagonal y en lados opuestos se sueldan los conectores que pueden ser tipo flare de acero o soldables de tubo de cobre (Figura 3.1 A y B). Estos indicadores

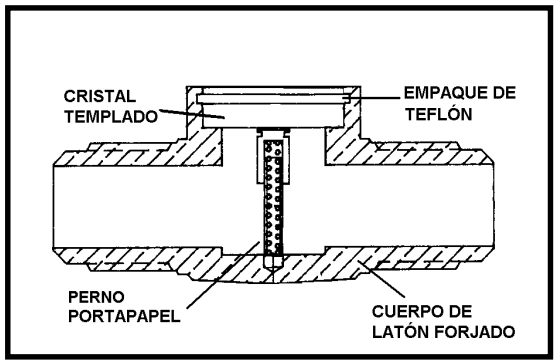


Figura 3.6 - Corte de un indicador de líquido y humedad mostrando el perno porta papel.

tienen poca visibilidad debido al color obscuro del acero, por lo que algunos fabricantes aplican un recubrimiento interno de cobre para darle brillantez al interior y con el reflejo de la luz mejorar la visibilidad. El cristal en este tipo de indicadores de líquido y humedad puede ser fundido directamente sobre el metal o fijado mediante un opresor y empaque para lograr un sello y evitar fugas de refrigerante. Otro tipo emplean una tuerca hexagonal con el cristal fundido y rosca y son desarmables; es decir, la mirilla es intercambiable. El papel indicador va montado sobre un perno o vástago ubicado en el centro del indicador, el cual es presionado contra el cristal mediante un resorte. (Figura 3.6). Sobre la parte externa del cuerpo llevan adherida una etiqueta con los colores del viraje del papel indicador para efecto de hacer una comparación y ver si el sistema está seco o húmedo. Esto es una desventaja ya que con el tiempo se desprende la etiqueta o se decolora y no se puede comparar el color.

Los de latón son maquinados de una forja compacta de una sola pieza. Las conexiones pueden ser flare como parte del mismo cuerpo o soldables con extensión de tubo de cobre (Figura 3.1 C y D). Debido al material de que están hechos, su visibilidad es excelente por la brillantez del metal. En este tipo de indicadores el cristal se fija al cuerpo de metal mediante un proceso de rechazado usando un empaque de teflón para sellarlo y evitar fugas. La etiqueta para comparación del color indicador se coloca internamente bajo el cristal; de esta manera, es más fácil hacer la comparación y no hay posibilidad de que se desprenda. Aquí también el papel indicador va montado en un poste, el cual se mantiene presionado contra el cristal mediante un resorte. Tienen además, una tapa de plástico para proteger el cristal contra polvo, grasa y golpes.

En los de cobre, el cuerpo es un tubo de cobre con conexiones expandidas y todos son soldables. Se utilizan en diámetros grandes de líneas de líquido hasta 2 1/8".
El cristal va sujeto con un opresor en una pieza de acero hexagonal, la cual va soldada sobre el tubo de cobre. Algunos indicadores llevan doble mirilla, opuesta una de otra. El papel indicador se instala entre el empaque y el cristal.

Otro tipo de indicador de líquido y humedad es el llamado de “BY PASS” (Figura 3.7), el cual consiste de un cuerpo de acero con conexiones soldables de tubo de cobre de 1/4" o 3/8". Estas conexiones son curvas y cortadas a un ángulo de 45°. Su aplicación es en tuberías de líquido grandes, mayores de 2 1/8". Se instalan como se muestra en la Figura 3.7 y proporcionan una indicación satisfactoria tanto de humedad como de líquido, en cualquier posición vertical u horizontal.

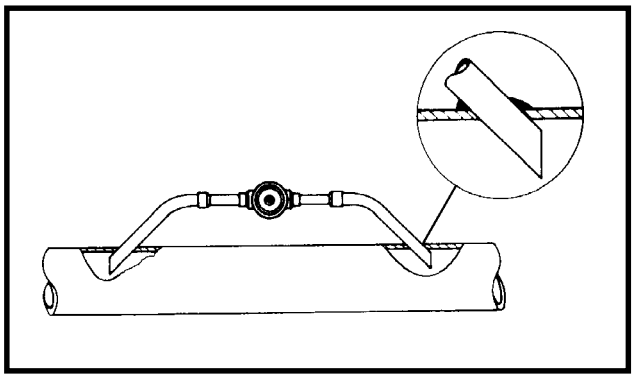


Figura 3.7 - Instalación de un indicador de líquido y humedad tipo By Pass.

Capítulo 4

SEPARADORES DE ACEITE

Introducción

Desde los inicios de la refrigeración, es bien conocido el hecho que se requiere aceite para lubricar las partes móviles del compresor; ya que sin lubricación, el compresor simplemente no funcionaría o se dañaría rápidamente. Sabemos además, que el refrigerante es necesario para producir enfriamiento, y que la función del aceite es lubricar el compresor. En un sistema de refrigeración, lo único que debe circular es el refrigerante; sin embargo, para nadie es desconocido el hecho de que el aceite también está presente en todo el sistema. Por lo anterior, se dice que el aceite es un mal necesario en los sistemas de refrigeración, ya que es vital para la operación de los compresores, pero en el resto del sistema, es una fuente de problemas a considerar.

Los compresores de refrigeración son lubricados con un aceite especial que va dentro del cárter del compresor, de allí éste circula a los cojinetes, bielas y las demás partes móviles mediante una bomba o por salpicadura en algunos tipos de compresores. Si el aceite permaneciera en el cárter, donde le corresponde, se eliminarían muchos problemas causados por éste en los sistemas de refrigeración.

Cuando un compresor es puesto en operación se inicia su proceso de lubricación, y es casi imposible, evitar que parte del aceite sea bombeado junto con el vapor de refrigerante comprimido y que circule a través del sistema. Pequeñas cantidades de aceite no son dañinas, y de hecho, pueden ser benéficas al lubricar algunos accesorios como las válvulas. Sin embargo, en otros componentes como el evaporador, el condensador, el recibidor, etc., no es necesario ni deseable, y en grandes cantidades crea problemas, la mayor parte de los cuales pueden evitarse *manteniendo al aceite donde le corresponde*, en el cárter, por medio de un separador de aceite.

Definición

El separador de aceite es un dispositivo diseñado para separar el aceite lubricante del refrigerante, antes que entre a otros componentes del sistema y regresarlo al cárter del compresor.

Problemas Causados por el Aceite

Antes de ver el funcionamiento de un separador de aceite, dónde va instalado y algunas recomendaciones, discutiremos los problemas que causa la presencia del aceite en cada uno de los componentes y en otros accesorios del sistema. La severidad de los problemas varía con el tipo de sistema y el refrigerante empleado; ya que el bombeo de aceite hacia el sistema, no es de consideración en equipos pequeños de media y alta temperatura, como son los refrigeradores domésticos y unidades de aire acondicionado de ventana, los cuales están diseñados para que el aceite sea regresado al compresor por el mismo refrigerante. En sistemas más grandes o de baja temperatura, la presencia de aceite es algo que no debe ser pasado por alto y se deben tomar las precauciones necesarias para evitarlo. Aquí deben considerarse si los componentes están muy distantes unos de otros o si las líneas son muy largas, si se trata de un solo compresor o es un arreglo de varios compresores en paralelo, la temperatura ambiente, etc.

Los problemas con el aceite en los sistemas de refrigeración, generalmente están incluidos en una o más de las tres áreas siguientes:

1. Dilución en el cárter.
2. Retorno de aceite.
3. Estabilidad.

Cabe mencionar que algunos de los problemas con aceites de origen mineral, que eran más frecuentes en años pasados, en la actualidad son menos serios gracias a que los aceites para refrigeración han mejorado como resulta-

do de la estrecha colaboración entre las industrias del aceite y la de refrigeración.

Los aceites lubricantes modernos de origen mineral, se preparan especialmente para ser utilizados en sistemas de refrigeración, con un alto grado de refinamiento y en algunos casos, tratados con aditivos para mejorar la estabilidad. Esta mejora en la relación aceite-refrigerante dentro de los sistemas, se debe a un mejor diseño de los equipos de refrigeración, al progreso en el proceso de la refinación del aceite, y sobre todo, al mayor conocimiento de cómo se comportan los aceites en los sistemas de refrigeración.

Como resultado del uso de aceites más estables, y con la ayuda de algunas protecciones como la ofrecida por los filtros deshidratadores, se han erradicado casi en su totalidad algunos de los problemas comunes causados por aceites de mala calidad; tal es el caso del "cobrizado", los depósitos de barniz en la válvula y la línea de descarga, depósitos de carbón en los platos de descarga y la cera en las válvulas de expansión. Sin embargo, los problemas no han desaparecido por completo, y continúa la búsqueda para mejorar en la relación aceite-refrigerante.

Para lograr una mejor comprensión de por qué es importante separar el aceite del refrigerante, antes que llegue a otros componentes, comenzaremos por ver las relaciones que existen entre estos dos compuestos.

Relaciones Aceites - Refrigerantes. La relación más importante entre estos compuestos es la miscibilidad, misma que se define como la capacidad que tienen para mezclarse. Los refrigerantes son miscibles con los aceites en diferentes proporciones, dependiendo del tipo de refrigerante, la temperatura y la presión. El refrigerante disuelto en aceite hace que éste ultimo sea más fluido, existiendo una relación directa entre el grado de fluidez y la

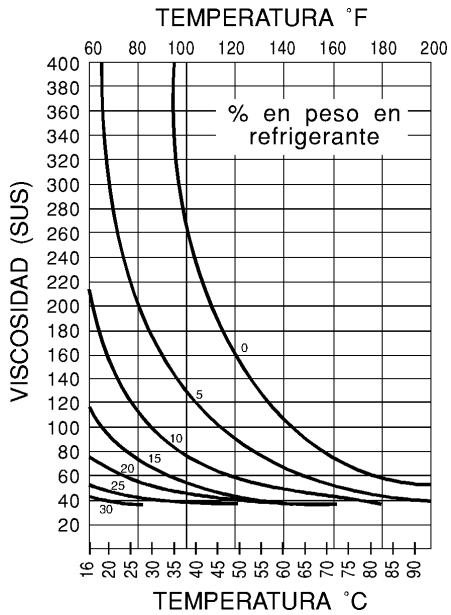


Figura 4.1 - Viscosidad de las soluciones de R-12 y aceite 150 (32 cSt).

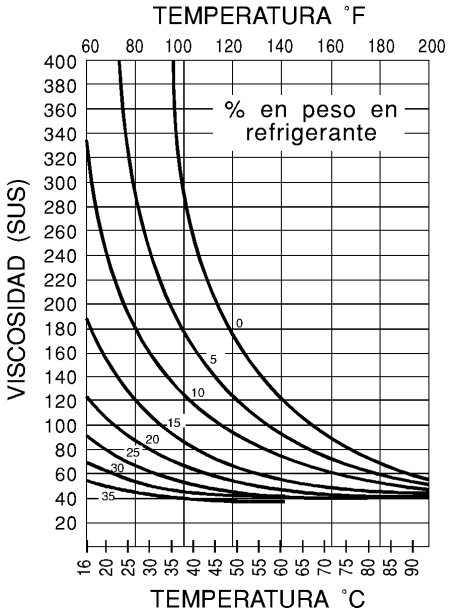


Figura 4.2 - Viscosidad de las soluciones de R-12 y aceite 300

cantidad de refrigerante disuelto. Los refrigerantes que son más solubles en aceite tienden a mantener el aceite más fluido, haciendo más fácil su acarreo a través del sistema. Con los refrigerantes menos solubles, el retorno de aceite es más complicado.

Además de su miscibilidad con los refrigerantes, los aceites tienen una gran afinidad con estos; es decir, los aceites atraen y absorben los refrigerantes.

Otro aspecto muy importante de esta relación, es la forma en que afecta la viscosidad. Dependiendo del porcentaje de refrigerante en el aceite y de la temperatura, la viscosidad de la mezcla se ve disminuida. En las figuras 4.1 y 4.2 se muestran las viscosidades de la mezcla de R-12 con aceite 150 y 300, respectivamente. El número sobre la curva indica el porcentaje de R-12 en la mezcla y el resto es aceite; por ejemplo, la curva con el número 20, representa una mezcla de 20% de R-12 y 80% de aceite. Desde luego, la curva con el número 0 corresponde al aceite solo.

Relaciones Temperatura - Presión - Concentración. Cuando se mezclan el aceite y el refrigerante a una cierta presión y a una cierta temperatura, como sucede en el cárter del compresor o en cualquier otro punto del sistema, interviene otra variable: la cantidad de refrigerante disuelto en el aceite; es decir, la concentración, usualmente expresada en porcentaje de peso. En las figuras 4.3, 4.4 y 4.5 se muestran estas relaciones para los refrigerantes 12, 22 y 502, respectivamente. Con estas gráficas se puede tener una estimación de la cantidad de refrigerante disuelto en el aceite. Por ejemplo, en un sistema con R-22, cuando la presión de succión es de 60 psig, (figura 4.4) entonces la temperatura correspondiente de evaporación del refrigerante es de 1°C (34°F) y la temperatura de la mezcla refrigerante-aceite es de 50°C (122°F), por lo que la mezcla contendrá 8% de R-22 aproximadamente.

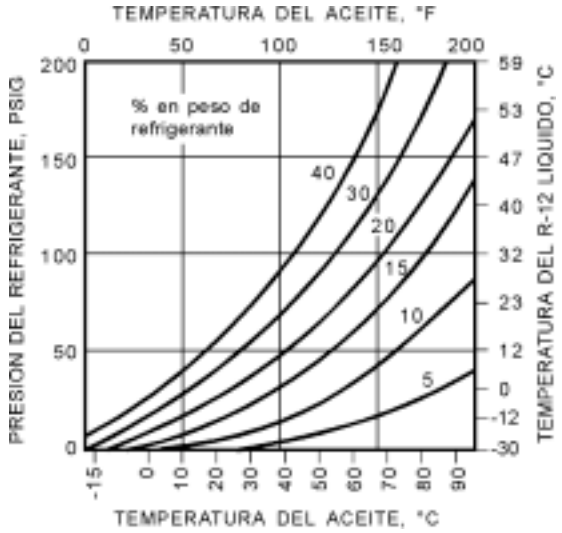


Figura 4.3 - Relación Presión - Temperatura para el R-12 y aceite 300 SUS (68 cSt).

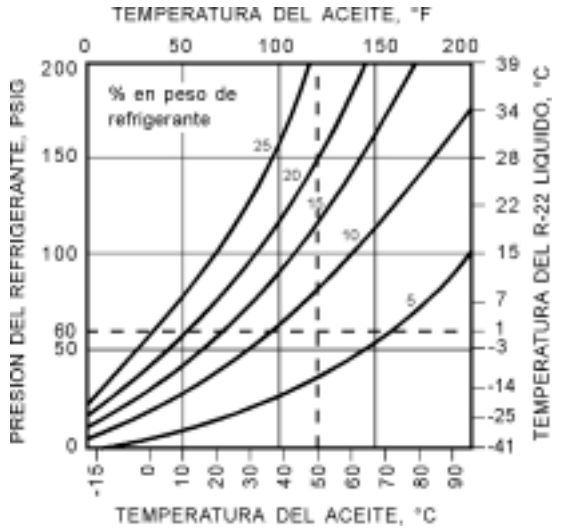


Figura 4.4 - Relación Presión - Temperatura para el R-22 y aceite 300 SUS (68 cSt).

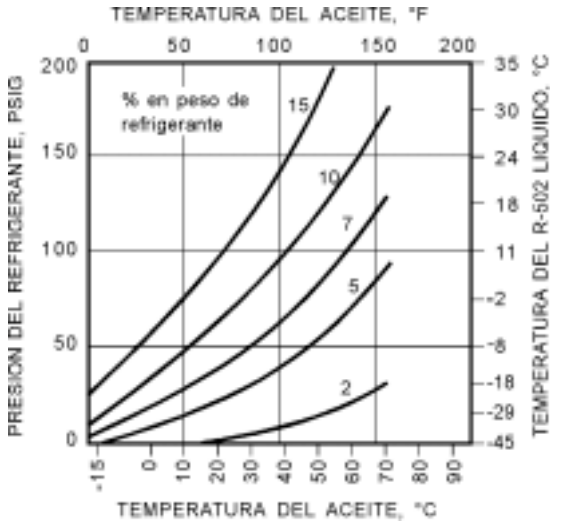


Figura 4.5 - Relación Presión - Temperatura para el R-502 y aceite 300 SUS (68 cSt).

En seguida veremos algunos aspectos importantes de la relación de los aceites con los refrigerantes principales.

Refrigerante 12. Es completamente miscible con los aceites a cualquier temperatura y presión y en cualquier proporción. La mezcla de R-12 con aceite, forma una sola fase líquida en temperaturas tan bajas como -75°C. Esto significa que el aceite, puede mantener en solución una cantidad suficiente de R-12, y seguir conservando su fluidez a las temperaturas normales a que operan los sistemas con este refrigerante.

Refrigerante 22. Este refrigerante es menos soluble en aceite que el R-12, y bajo ciertas condiciones, su solubilidad puede ser tan baja y la viscosidad del aceite tan alta, que haya poca fluidez haciendo que el regreso del aceite al compresor represente un problema. A temperaturas entre -7 y 10°C se pueden formar dos capas, dependiendo del tipo de aceite y la cantidad presente del mismo (figura 4.6).

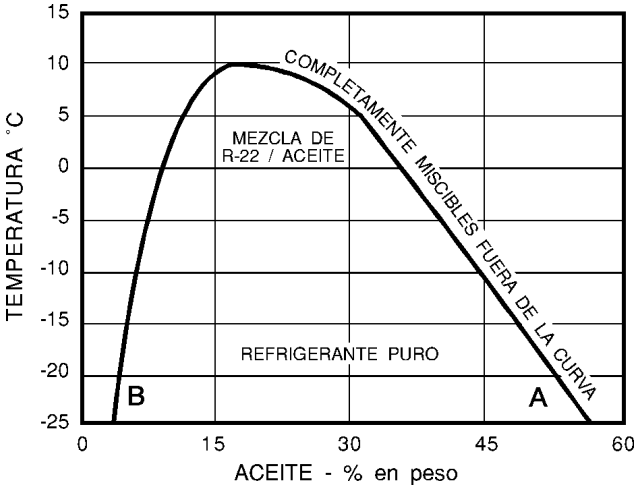


Figura 4.6 - Solubilidad de R-22 en aceite mineral de viscosidad 300 SUS (68 cSt).

Esta condición de dos capas se conoce como “separación de fases”, y puede existir en concentraciones de aceite desde 0 hasta 60%. La capa superior es una mezcla rica en aceite, pero con una cantidad considerable de refrigerante; la capa inferior se puede considerar como refrigerante puro, aunque en realidad contiene una pequeña cantidad de aceite. La capa rica en aceite está en la parte superior debido a que el aceite es menos denso que el R-22 y “flota”.

La figura 4.6 muestra las condiciones de temperatura y concentración para el R-22 y un aceite mineral de viscosidad 300 SUS. Fuera de la curva, son completamente miscibles y forman una sola fase líquida. Pero en cualquier punto dentro de la curva, existirá una separación de dos capas líquidas. Por ejemplo, a -20°C, la capa rica en aceite (superior) contiene aproximadamente 52% de aceite y 48% de R-22 punto "A", mientras que la capa inferior contiene aproximadamente 97% de R-22 y 3% de aceite, punto "B".

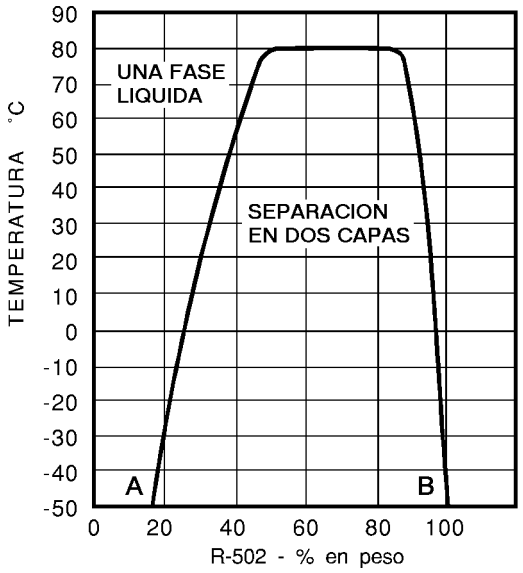


Figura 4.7 - Solubilidad de R-502 en aceite mineral de viscosidad 150 SUS (32 cSt).

Esta separación es ocasional y nunca ocurre cuando el sistema está en operación, sólo surgirá cuando el compresor esté parado por períodos largos, y puede presentarse en cualquier punto del sistema.

Refrigerante 502. El comportamiento del R-502 es muy similar al R-22 en cuanto a la formación de dos capas, pero es aún menos soluble en el aceite. En realidad, es tan poco soluble, que las dos capas están siempre presentes a las temperaturas normales de operación de un sistema. Esta separación no se forma sino hasta a temperaturas de más de 80°C y, al igual que con el R-22, la capa rica en aceite es la superior. Por ejemplo, en la figura 4.7, a una temperatura de -40°C la capa rica en aceite contiene aproximadamente 17% de refrigerante, punto "A". A esa misma temperatura, la capa inferior contiene aproximadamente 1% de aceite, punto "B". Dado que con el R-502 la solubilidad con aceite en fase líquida es tan baja, la separación de capas y el regreso del aceite al compresor es un poco más fácil que con R-22.

Refrigerante 134a. Actualmente, con este tipo de refrigerante se tiene muy poca experiencia sobre su comportamiento en el campo. Los fabricantes de este refrigerante han hecho pruebas y han publicado algunas de sus propiedades termodinámicas y de comportamiento con algunos materiales.

TIPO DE LUBRICANTE		% DE R-134a EN LA MEZCLA		
VISCOCIDAD	BASE	30	60	90
500 SUS	Nafténica	2 fases	2 fases	2 fases
500 SUS	Parafínica	2 fases	2 fases	2 fases
300 SUS	Alkil Benceno	2 fases	2 fases	2 fases
165 SUS	PAG	-50 a 93*	-50 a 93	-50 a 73
525 SUS	PAG	-50 a 93	-40 a 35	-23 a -7
150 SUS	POE	-50 a 93	-50 a 93	-50 a 93
300 SUS	POE	-50 a 93	-50 a 93	-50 a 93

** Una fase en este rango de temperaturas, °C.*

Tabla 4.8 - Solubilidad del R-134a en algunos lubricantes.

El R-134a no contiene cloro como los otros refrigerantes (12, 22 y 502), por lo que tiene poca solubilidad con los aceites minerales y sintéticos existentes de alkil benceno. En la tabla 4.8, se muestra la solubilidad de este refrigerante con algunos lubricantes minerales y sintéticos.

Las aplicaciones con nuevos refrigerantes como el R-134a, han demandado el desarrollo de nuevos lubricantes. Las propiedades deseables para estos lubricantes son:

- Miscibilidad aceptable con el refrigerante, con o sin aditivos (idealmente de una sola fase en un rango amplio de temperaturas);
- Buena estabilidad térmica para la mezcla;
- Compatibilidad con los materiales del sistema;
- Baja toxicidad, y
- Disponibilidad comercial a un costo razonable.

Con base en datos disponibles, parece que los lubricantes a base de glicoles de polialkileno (PAG), tienen las mejores propiedades para aplicación automotriz. Para las demás aplicaciones, se obtienen mejores resultados ya sea con lubricantes de poliol éster o PAG modificados.

Amoníaco. Este refrigerante no es miscible con el aceite; por lo que los sistemas con amoníaco, necesariamente deben utilizar separadores de aceite. De otra manera, se acumularían grandes cantidades de aceite en los componentes del sistema con los problemas consiguientes.

Como el aceite es más pesado que el amoníaco líquido, éste se asienta en el fondo. La separación es rápida, y en cierta forma es una ventaja, ya que instalando válvulas en la parte baja de los componentes del sistema, se puede drenar el aceite.

Problemas en el Cárter

Cuando un sistema es arrancado por primera vez, es de esperarse que parte del aceite en el compresor se mezcle con el refrigerante y abandone el cárter, de acuerdo a lo mencionado sobre la miscibilidad del aceite y el refrigerante. Después de algunas horas de operación, el aceite y el refrigerante llegarán a un equilibrio. Si baja mucho el nivel del aceite, lo que se puede observar en la mirilla se tendrá que agregar de aceite para tener el nivel de operación. Eso se hace una sola vez, y antes de agregar aceite una segunda vez, debe tomarse en cuenta que el aceite no sale del sistema a menos que haya una fuga de refrigerante. Si no existen fugas y el nivel de aceite baja con frecuencia, teniendo que agregarle aceite una y otra vez, esto puede significar que el aceite se está quedando atrapado en alguna parte del sistema. En el momento menos esperado, dicho aceite será atraído al compresor y posiblemente le causará daños, ya que como sabemos, los líquidos no se comprimen.

Otro problema frecuente es cuando el cárter se vuelve la parte más fría del sistema, lo que sucede en épocas de

frío. Cuando el sistema está en operación, el cárter está caliente, pero durante un ciclo de paro prolongado, el compresor se enfría hasta la temperatura ambiente. El vapor de refrigerante en el sistema sigue la ley de los gases y emigra al cárter, donde con la baja temperatura se condensa y se mezcla con el aceite. Como ya vimos el aceite se diluye, disminuyendo sus propiedades lubricantes. Al arrancar el compresor, el cárter sufre una baja repentina de presión, provocando la ebullición violenta del refrigerante líquido y llevándose al aceite con él. Esto aumenta la cantidad de aceite en circulación a través del sistema, haciendo que el compresor opere sin lubricación por un tiempo hasta que el aceite vuelve a retornar, lo que algunas veces no sucede a causa de alguna que existía previamente.

Por otra parte, hay que recordar el comportamiento de algunos refrigerantes poco miscibles con el aceite, como es el caso del R-22, respecto a la separación de dos fases. En un ciclo de paro prolongado, si existe un porcentaje alto de refrigerante mezclado con aceite, la capa inferior será refrigerante casi puro, y los compresores con lubricación forzada por medio de bomba, al arrancar nuevamente, ésta succionará el líquido de la capa inferior que en este caso sería refrigerante puro en lugar de aceite. Los refrigerantes son excelentes solventes y no tienen ninguna propiedad lubricante. A este problema se le conoce como “arranque inundado”, y se caracteriza en que al arrancar el compresor y con la repentina reducción de presión en el cárter, se provoca un abundante espumado de la mezcla, la cual se puede observar a través de la mirilla. Figura 4.9.

Figura 4.9 - Formación de espuma al arranque del compresor.

Existen varios métodos para evitar estos tipos de problemas. El menos complicado es el uso de calentadores de aceite, a fin de mantener el cárter lo suficientemente caliente para asegurarse que nunca sea la parte más fría del sistema, y que el aceite esté siempre caliente para vaporizar y expulsar cualquier cantidad de refrigerante. Conjuntamente con este método, lo más recomendable es el uso de un separador de aceite.

Efectos del Aceite en Circulación

El aceite sale del compresor en forma de pequeñas gotas de rocío, junto con el gas refrigerante comprimido. Al circular junto con el refrigerante a través del sistema, el aceite está sujeto a cambios de temperatura, caliente en el compresor y frío en el evaporador, ciclo que se repite una y otra vez mientras esté en circulación. En el campo, es difícil determinar cuánto aceite está circulando con el refrigerante. Sería de mucha utilidad si se conociera la historia completa del equipo. En equipos grandes, se puede observar el nivel de aceite directamente en el cárter, sin embargo, si se ha agregado aceite varias veces, el nivel en el cárter puede no indicar la carga correcta de aceite. Si existen contaminantes en el sistema, el aceite se degrada formando carbón y lodo, que a la larga es dañino para todas las partes del sistema. El efecto global del aceite en circulación disminuye la eficiencia del equipo, requiriendo que el sistema trabaje por más tiempo e implicando mayores costos. Debe recordarse que los compresores no operan al 100% de eficiencia, pero evitando que el aceite circule en el sistema, su eficiencia es altamente optimizada. La pérdida de capacidad puede significar presencia de exceso de aceite en el sistema. Por ejemplo, un sistema que opera con baja capacidad, puede regresar a su normalidad después de un breve paro o después del ciclo de deshielo con gas caliente. El aceite en el evaporador puede ser arrastrado cuando el serpentín está más caliente de lo normal.

Comparando la temperatura de evaporación y la presión de succión, puede descubrirse la presencia de grandes cantidades de aceite; sin embargo, es difícil medir con suficiente precisión estas condiciones. La presencia de una pequeña cantidad de aceite no afecta grandemente la presión de vapor del refrigerante.

Ninguna parte del sistema es inmune a los efectos dañinos del aceite en circulación. Esto puede considerarse mejor siguiendo el curso de grandes cantidades de aceite a través del sistema.

Efectos en el Condensador

La presencia de aceite en el condensador también ejerce un efecto adverso, al reducir la capacidad de éste. Cualquier cantidad de aceite que entre al condensador, ocupará un volumen que debería ser utilizado por el refrigerante para condensarse. La capacidad del condensador se reduce en un porcentaje similar al del aceite en la mezcla. Por ejemplo, si en la mezcla refrigerante-aceite que llega al condensador, el 20% es aceite, la capacidad del condensador se reducirá en un 20% y el equipo tendrá que trabajar 20% más de tiempo para que circule la cantidad requerida de refrigerante. Además, el aceite recubre las paredes de los tubos por donde pasa, disminuyendo la transferencia de calor. Si a esto le agregamos que la mezcla aceite-refrigerante observa un comportamiento distinto al del refrigerante puro, lo cual incrementa la presión de condensación.

Si se obtuviera una mezcla de refrigerante líquido del condensador en un cilindro pequeño, el refrigerante se

evaporaría dejando al aceite. Comparando el peso de la muestra con el peso del aceite, se puede determinar la concentración de aceite en el refrigerante. Sin embargo, se necesitan instrumentos para medir los pesos con precisión. Para una mayor exactitud, se puede usar un separador de aceite y remover una cantidad de aceite del refrigerante en un momento determinado.

Efectos en los Filtros Deshidratadores

El aceite por sí solo no ejerce gran efecto sobre los filtros deshidratadores en cuanto a reducir su capacidad deshidratante; antes bien, un buen filtro deshidratador debe tener la capacidad de limpiar el aceite sucio y eliminar algunos contaminantes, tales como ácidos y humedad. Sin embargo, cuando el aceite se ha descompuesto químicamente, las ceras y el lodo formados pueden reducir el área de filtración del bloque desecante o del cedazo, o taparlo totalmente. Si el sistema cuenta con un separador de aceite, no solamente reduce la circulación de aceite a través del filtro deshidratador, sino que los contaminantes sólidos producidos por el aceite se asentarán en el fondo del separador, evitando que lleguen al filtro deshidratador.

Efectos en los Dispositivos de Expansión

El aceite también ejerce efectos adversos en los dispositivos de expansión, como son el tubo capilar y las válvulas de termo expansión. En los tubos capilares el efecto es muy similar al que se observa en el condensador, ya que les reduce su capacidad volumétrica. Al circular aceite a través del reducido orificio del tubo capilar, disminuye el flujo de refrigerante y causa variaciones en la presión. También, el punto de ebullición del refrigerante se ve afectado por el aceite, y varía, dependiendo del porcentaje de aceite en la mezcla. Todo lo anterior afecta la habilidad del tubo capilar para controlar el flujo de refrigerante hacia el evaporador, provocando fluctuaciones en la temperatura de evaporación.

El aceite puede afectar de varias maneras las válvulas de termo expansión. La más conocida es la acumulación de ceras alrededor de la aguja, la cual se precipita de aceites minerales de base parafínica, principalmente, por la baja temperatura. Estas ceras obstruyen el orificio de la válvula y en ocasiones la tapan totalmente. Otro efecto del aceite al pasar a través de la válvula de termo expansión, es que le disminuye la capacidad volumétrica de una manera similar que en el condensador; es decir, el aceite ocupa un volumen en la mezcla, reduciendo la cantidad de refrigerante que entra al evaporador. También el bulbo de la válvula de termo expansión se ve afectado por el aceite en circulación, ya que éste recubre las paredes internas del tubo de la línea de succión, causando variaciones en la transferencia de calor, y consecuentemente, afecta el control que el bulbo pueda reflejar al sobrecalentamiento del gas de succión. Esta situación causa que la válvula de termo expansión fluctúe, y no es raro que se cambien válvulas buenas, pensando que son la causa del problema.

Efectos en los Evaporadores

Cuando hay exceso de aceite circulando en un sistema de refrigeración, el componente que más se ve afectado en cuanto a eficiencia se refiere, es el evaporador. En este componente la presencia de aceite afecta de varias maneras, siendo la peor de ellas la reducción en la transferencia de calor, debido a que las paredes internas de los tubos se recubren de una película de aceite que actúa como aislante, lo que trae como consecuencia un aumento en las temperaturas de evaporación y de los productos que se están enfriando, haciendo que el equipo trabaje por más tiempo. De igual manera, el evaporador se ve afectado en su capacidad volumétrica debido a la presencia del aceite. En la tabla 4.10 se muestra cómo se reduzce la transmisión de calor en un evaporador con R-22.

FLUJO DE CALOR	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISION DE CALOR CON R-22 A UNA TEMPERATURA DE EVAPORACION DE -36°C kcal / (h)(m²)(°C)		
kcal / (h)(m²)	R-22 puro	R-22 + 10% Aceite Sintético	R-22 + 10% Aceite Mineral
1,085	36.47	33.46	31.50
1,628	41.44	38.13	35.42

Figura 4.10 - Efecto del aceite en la transmisión de calor en el evaporador.

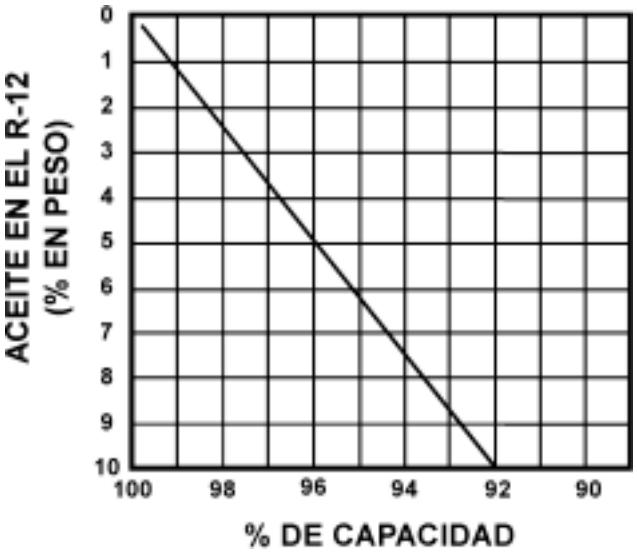


Figura 4.11 - Pérdida de capacidad cuando hay aceite presente en R-12.

Cuando hay aceite presente en el evaporador, el que se quede o no en ese lugar, depende de tres factores:

a. La viscosidad o fluidez del aceite.
b. La velocidad del gas refrigerante.
c. El diseño de la tubería.

El aceite por sí solo es bastante fluido y tiene relativamente baja viscosidad a temperaturas ordinarias. A temperaturas más bajas, el aceite adquiere mayor viscosidad ha-

ciéndose más difícil de escurrir o fluir. A temperaturas extremadamente bajas, se torna sólido. La habilidad de vapor del refrigerante para expulsar el aceite fuera del evaporador, depende de qué tan líquido o viscoso esté. Puesto que el refrigerante tiene muy baja viscosidad, las mezclas de aceite y refrigerante, tendrán una viscosidad intermedia entre la del refrigerante y la del aceite. La mezcla se vuelve menos viscosa mientras haya más refrigerante disuelto en el aceite.

El exceso de aceite en el evaporador también reduce la capacidad del sistema. En la figura 4.11 se muestra un resultado típico de esta reducción de capacidad en el evaporador con R-12.

A diferencia de los sistemas de amoníaco, los sistemas con refrigerantes halogenados, no están provistos de válvulas para drenar el aceite. Los evaporadores de expansión directa arrastran mucho aceite de regreso al compresor, pero los evaporadores de tipo inundado no son tan efectivos para regresar el aceite.

Evaporadores de Expansión Directa. En los evaporadores de expansión directa o “secos”, todo el refrigerante que entra se evapora completamente antes de llegar a la salida. El aceite presente en el refrigerante líquido alimentado al serpentín, permanece como aceite líquido. En la figura 4.12 se muestran los cambios que se llevan a cabo en el evaporador. A la entrada, se llena con refrigerante líquido que contiene una pequeña cantidad de aceite. Al avanzar a lo largo del evaporador, el refrigerante se evapora separándose del aceite. Al evaporarse todo el refrigerante, sube la temperatura. En la entrada, es muy baja la viscosidad de la mezcla de refrigerante y aceite. Cuando empieza el sobrecalentamiento del refrigerante evaporado, empieza a aumentar la viscosidad rápidamente, hasta que en algún punto a lo largo del evaporador se llega a un valor máximo. Entonces, al aumentar la temperatura, disminuye lentamente la viscosidad. Es importante la ubicación de esta área de máxima viscosidad, puesto que es aquí donde la velocidad del vapor de refrigerante debe ser suficientemente fuerte para poder empujar el aceite a través de los tubos, hacia una zona donde la temperatura sea más alta y lo haga más fluido.

Las velocidades recomendadas para que el gas refrigerante arrastre el aceite a través de la línea de succión, son de 213 metros/minuto (700 pies/minuto) en las líneas horizontales y de 457 m/min (1500 pies/min) en líneas verticales ascendentes. En las figuras de la 4.13 a la 4.16, se presentan gráficas para estimar las velocidades del gas refrigerante en la línea de succión para R-12, R-22 y R-502. El cálculo y diseño adecuados de la línea de succión, debe ser una función del fabricante del equipo, pero si el sistema es ensamblado en el campo, esto puede ser problemático. No se recomiendan velocidades mayores de 915 metros/minuto (3000 pies/minuto), porque el ruido producido es extremadamente alto, al igual que la caída de presión en la línea.

La viscosidad del aceite es importante porque un aceite muy viscoso o grueso, no es tan fácilmente arrastrado como uno delgado o con menos viscosidad. La viscosidad del aceite depende de la temperatura y la cantidad de refrigerante disuelto (Figuras 4.1 y 4.2). A bajas temperaturas de evaporación, el aceite se vuelve más viscoso y es menos miscible con el refrigerante. A ciertas temperaturas, la combinación de estos dos efectos es tan grande, que el aceite no es empujado a través de la línea de succión tan rápido como ingresa al evaporador, por lo que se va acumulando principalmente en el evaporador.

Si la válvula de expansión no está operando correctamente y no abre lo suficiente, esto permitirá también que se acumule aceite en el evaporador, ya que éste no va a regresar adecuadamente. Eventualmente, se va a acumular tanto aceite, que habrá muy poco espacio para el refrigerante líquido. Bajo estas condiciones, el evaporador perderá capacidad y no bajará la temperatura.

Evaporadores Inundados. Cualquier evaporador que utilice un control para mantener un nivel de refrigerante líquido, es un evaporador inundado.

En un evaporador inundado, el refrigerante líquido está presente todo el tiempo. El refrigerante se evapora de la superficie del líquido y mientras haya turbulencia y agitación considerable, hay poca probabilidad de que el vapor arrastre el aceite fuera del evaporador. El aceite que ingresa al evaporador se quedará, a menos que se haga un arreglo especial para removerlo. En esta situación, es importante hacer ese arreglo ya sea que a bajas temperaturas el aceite sea completamente miscible con el refrigerante líquido, o que se formen dos capas.

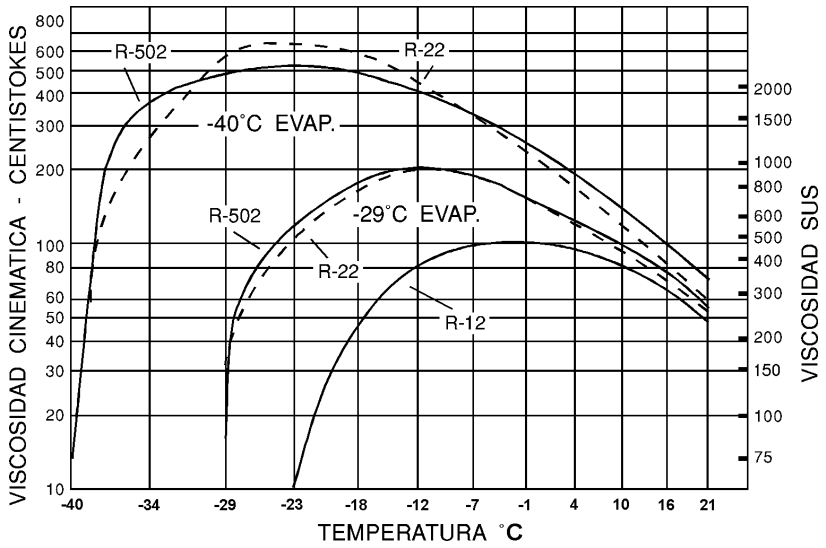


Figura 4.12 - Cambios de viscosidad a lo largo del evaporador.

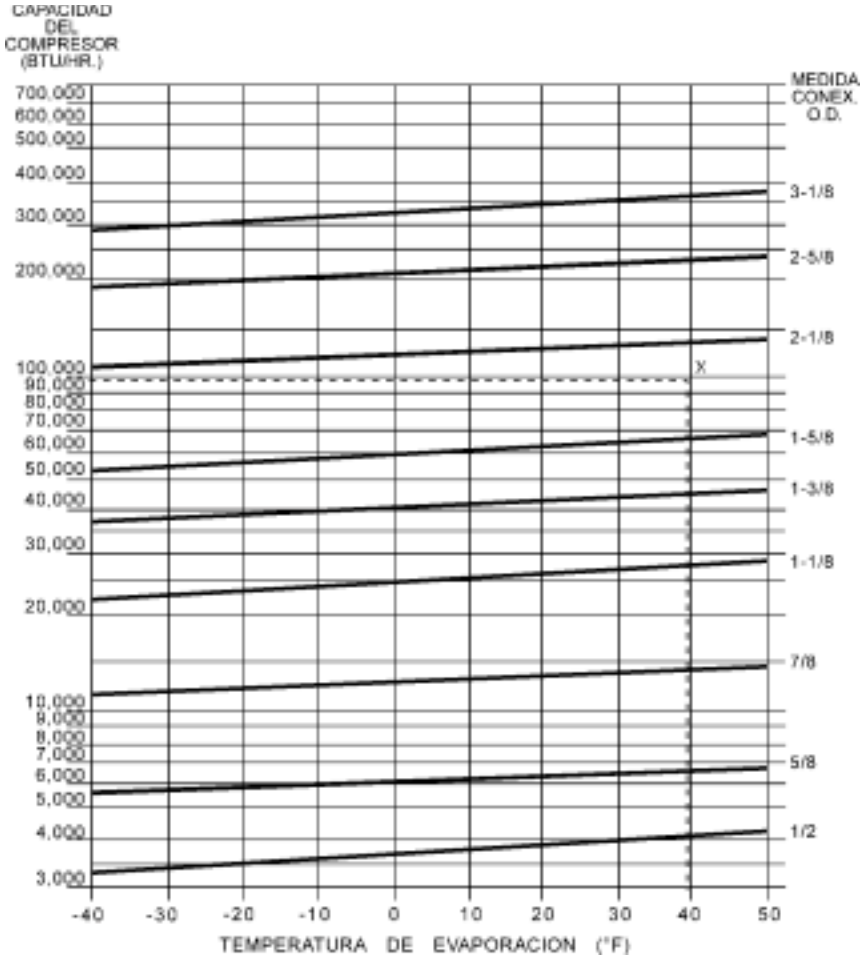


Figura 4.13 - Máximo tamaño de línea de descarga vertical recomendado para un adecuado retorno de aceite. R-12.

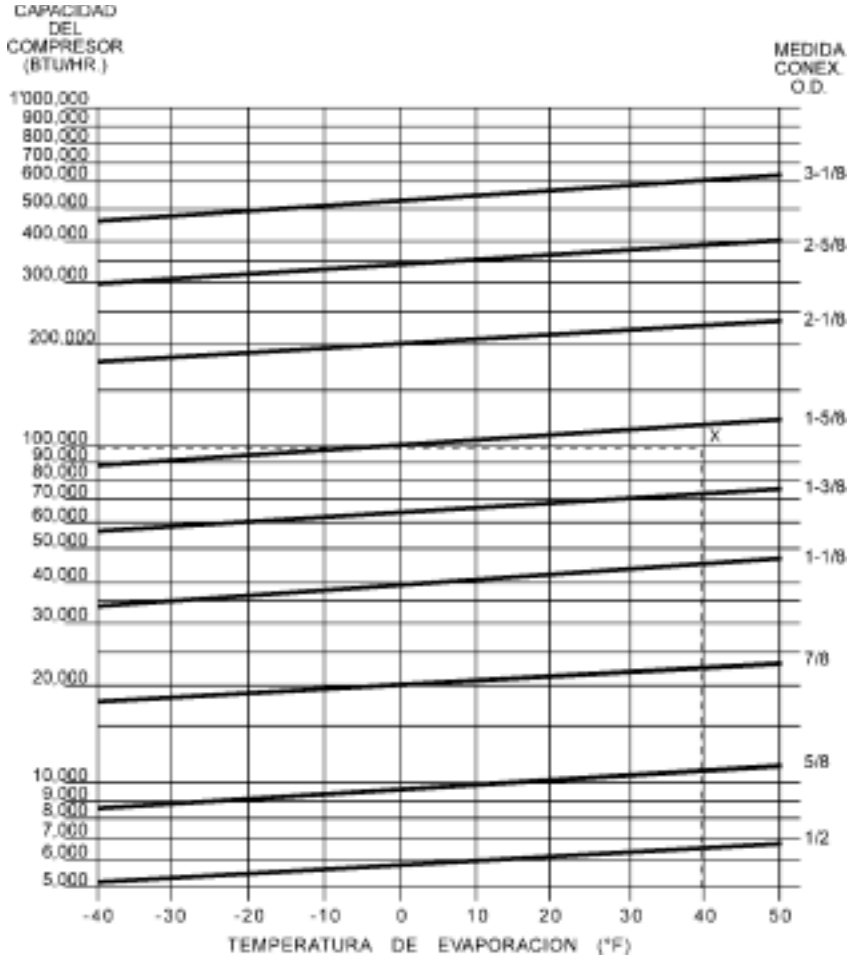


Figura 4.14 - Máximo tamaño de línea de descarga vertical recomendado para un adecuado retorno de aceite. R-22 y R-502.

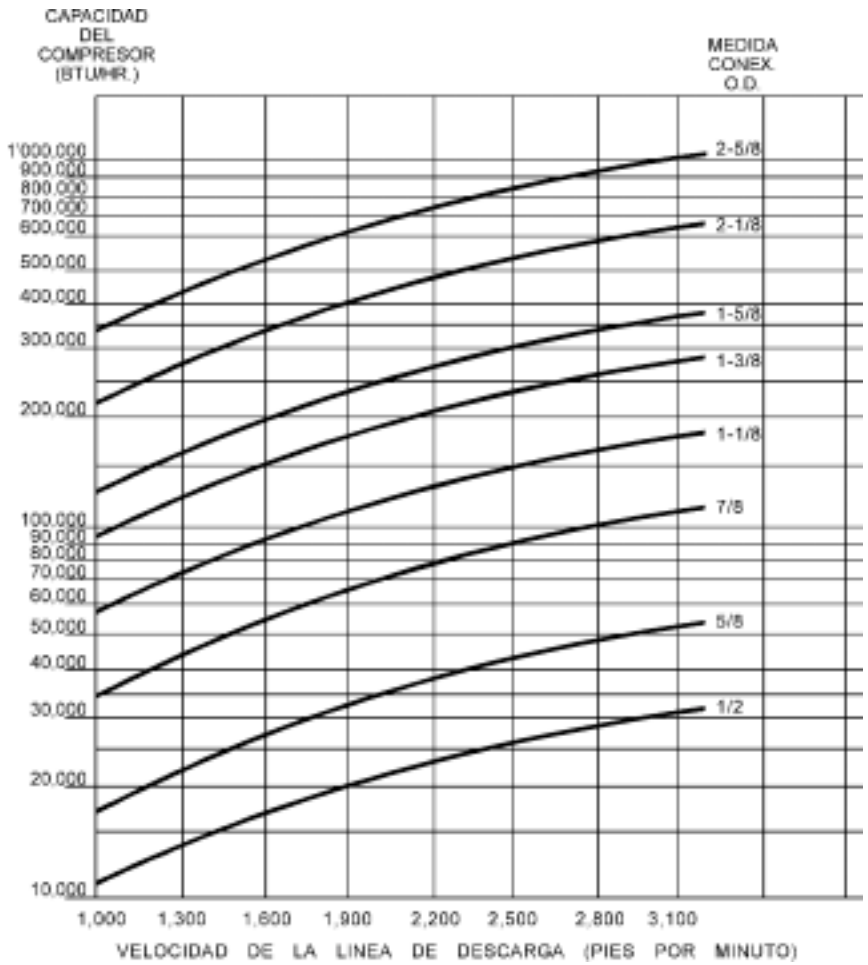


Figura 4.15 - Velocidades en la línea de descarga para varias capacidades en BTU/hr. R-12.

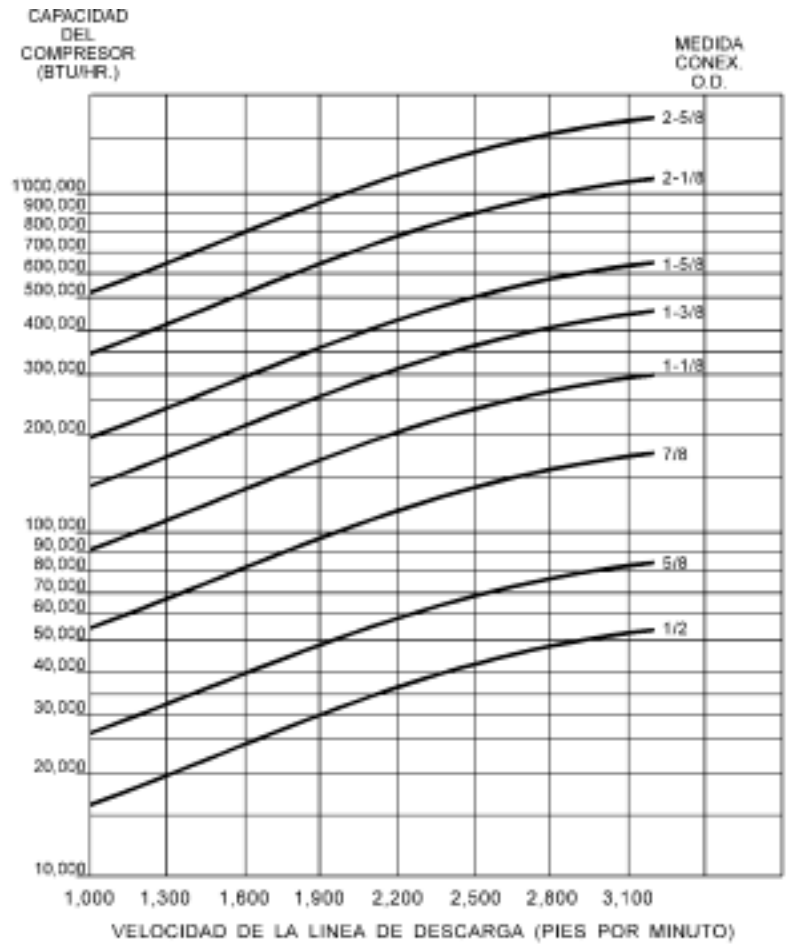


Figura 4.16 - Velocidades en la línea de descarga para varias capacidades en BTU/hr. R-22 y R-502.

El R-12 es completamente miscible con el aceite aún a bajas temperaturas, y para evitar que se vaya acumulando en el evaporador, es necesario hacer un arreglo para que cierto porcentaje de refrigerante se derrame fuera del evaporador, hacia una cámara donde el refrigerante es evaporado fuera del aceite por medio de un intercambiador de calor, y el aceite sea regresado al compresor. La cantidad de líquido acarreado, se ajusta de tal forma, que la concentración de aceite que permanece disuelto en el refrigerante dentro del evaporador sea constante.

Con refrigerantes menos solubles como el R-22 y R-502, se forman dos capas a bajas temperaturas, dependiendo del tipo de aceite y la cantidad presente. Con estos refrigerantes, se debe hacer un arreglo para “sifonear” la capa de aceite de manera continua o intermitente. Aquí también, la capa de aceite se lleva primero a una cámara por medio de un intercambiador de calor, para que se evapore el refrigerante disuelto y el aceite sea retornado al cárter del compresor.

En cualquier caso, deberá llevarse un registro de todo el aceite agregado a un compresor. Esto se hace generalmente en una bitácora. Si se agrega aceite diario o cada dos días, particularmente en los sistemas de refrigerantes halogenados, es probable que se esté quedando atrapado en el evaporador. En un sistema de amoníaco, el aceite agregado deberá ser aproximadamente la misma cantidad del aceite drenado.

Efecto en Intercambiadores de Calor

Una buena forma de aumentar la temperatura del aceite que sale del evaporador, es instalando en la línea de succión un intercambiador de calor, utilizando el refrigerante de la línea de líquido. De esta manera, el refrigerante líquido que va a la válvula de termo expansión, calienta el vapor y el aceite de la línea de succión. Con esto se consigue aumentar el sobrecalentamiento del vapor y evitar que llegue refrigerante líquido al compresor. También, al aumentar la temperatura del aceite, éste se vuelve menos denso y fluye más fácilmente. A su vez, el refrigerante líquido se sub-enfría antes de llegar a la válvula de termo expansión, aumentando el efecto de refrigeración en el evaporador. Sin embargo, el objetivo principal de este intercambiador de calor no es calentar el aceite, sino intercambiar el calor entre el refrigerante líquido y el gas de succión, por lo que la presencia del aceite reduce la eficiencia del intercambiador.

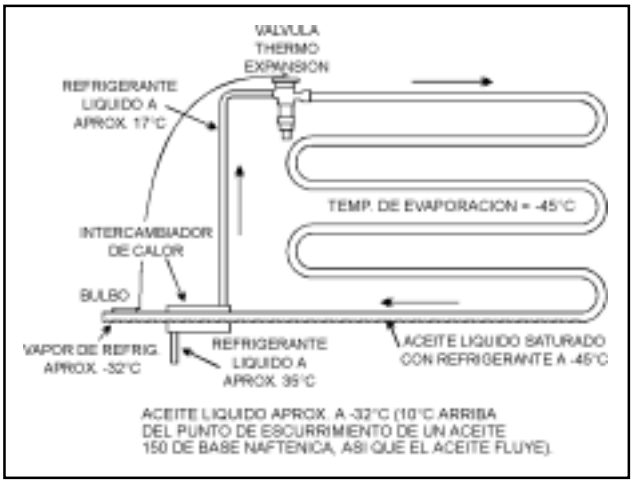


Figura 4.17 - Intercambiador de calor entre la línea de succión y la línea de líquido.

En la figura 4.17, se muestra la ubicación de un intercambiador de calor a la salida del evaporador. Las temperaturas que se indican, son representativas de diferentes partes del circuito.

Efectos en el Compresor

Si un sistema de refrigeración no ha sido diseñado adecuadamente para que el aceite retorne al compresor, y de esta manera mantener un nivel correcto de aceite, o si no cuenta con un separador de aceite instalado, el aceite que sale del compresor se irá quedando atrapado en diferentes partes del sistema, principalmente en el evaporador. Este aceite tarde o temprano regresará repentinamente al compresor, sobre todo en el arranque, después de un periodo de paro prolongado, con muchas posibilidades de que entre por la succión a los cilindros. Cuando esto suceda, en su carrera ascendente tratando de comprimir el gas, el pistón golpeará el aceite, que como ya sabemos el líquido es incomprimible, producirá un efecto de "gato hidráulico", dañando algunas partes del compresor. Dependiendo de la cantidad de aceite, el golpe del líquido causará daños desde la ruptura a doblez de las válvulas del compresor, hasta la ruptura del cigüeñal. Además, habrá que considerar la sobrecarga del motor.

Efecto del Control de Capacidad

En los sistemas de refrigeración provistos con control automático de capacidad, en los que la línea de descarga de gas caliente está diseñada para cumplir los requerimientos de condiciones de carga total, la reducción de velocidad del gas de descarga, cuando se ha reducido la capacidad del compresor, da como resultado que se separe el aceite en la línea de descarga. Por lo tanto, es importante que en dichos sistemas de refrigeración se seleccione una línea de descarga de diámetro mínimo, para asegurar una velocidad del gas suficiente para transportar el aceite. La línea de descarga también deberá ser lo suficientemente grande, como para evitar una caída excesiva de presión en condiciones de operación a su capacidad total.

Puesto que el control de capacidad abarca un amplio rango, desde 100% hasta 25%, la selección adecuada del diámetro de la línea de descarga debe ser obligatoria.

Un separador de aceite instalado en la línea de descarga de un sistema de refrigeración con control de capacidad, reducirá la mezcla de refrigerante-aceite en la línea de descarga, y por lo tanto, disminuirá los problemas de manejo de aceite a velocidades reducidas del gas.

Cuando la carga se reduzca, la línea de descarga quedará considerablemente sobredimensionada.

Uso de los Separadores de Aceite

La forma más común para reducir el aceite en circulación y los problemas que éste conlleva dentro del sistema, es mediante el uso de un dispositivo auxiliar llamado separador de aceite. Su función principal es separar el aceite lubricante del gas refrigerante, y regresarlo al cárter del compresor antes que llegue a otros componentes del sistema.

El uso del separador de aceite en los sistemas de refrigeración se ha vuelto muy común. De hecho, es considerado por la mayoría de los ingenieros y técnicos, como artículo esencial en instalación de unidades de baja temperatura y unidades de aire acondicionado de hasta 150 tons. La eficiencia global de un sistema mejora mucho donde se utiliza un separador de aceite, particularmente para las temperaturas comúnmente encontradas en los refrigeradores de autoservicios y supermercados, en las cuales se manejan temperaturas de evaporación de -35°C a -40°C. Igualmente esto es cierto en equipos industriales, de laboratorio y ambientales, que operan a -75°C y más bajos. Cabe notar que la mayoría de los fabricantes de compresores, requieren separadores de aceite en sus compresores de doble etapa.

Originalmente, el propósito del separador de aceite era mantener el nivel de aceite correcto en el cárter del compresor, pero este solo propósito ha quedado atrás, ya que se han encontrado otros beneficios al prevenir la circulación libre aun de pequeñas cantidades de aceite en el sistema.

Claro, si se mantiene el nivel de aceite correcto, se incrementa la vida del compresor y se eliminan el desgaste y los daños que la falta de lubricación puede causar.

Otra ventaja adicional al instalar un separador de aceite en el sistema, es el efecto silenciador en las pulsaciones del gas de descarga del compresor. Dichas pulsaciones pueden ser transmitidas a todo el sistema. El diseño básico de un separador de aceite reduce estas pulsaciones, cambiando la velocidad y dirección del gas de descarga, reduciendo así el nivel de ruido.

Como Funciona un Separador de Aceite

El separador de aceite se instala en la línea de descarga, entre el compresor y el condensador, tal como se muestra en la figura 4.18.

El aceite y el refrigerante en un sistema de refrigeración, forman lo que se conoce como *mezcla*, cosa que es diferente a un compuesto. En un compuesto los componentes sólo pueden ser separados por medio de cambios químicos. Una mezcla, por ser una unión física de componentes, puede separarse por medios físicos, tal y como sucede mediante un separador de aceite.

Un separador de aceite depende de tres factores básicos para su operación:

1. Reducción de la velocidad del gas refrigerante.
2. Cambio de dirección del flujo del gas.
3. Superficie de choque a la cual se va a adherir el aceite.

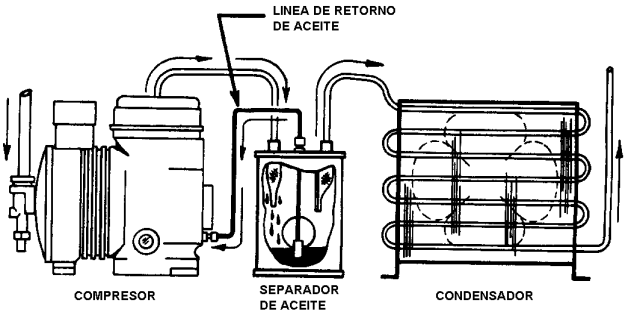


Figura 4.18 - Ubicación de un separador de aceite en un sistema de refrigeración.

Estos tres requerimientos básicos, son incorporados en el diseño de los separadores de aceite. Ver figura 4.19.

El gas de descarga sobrecalentado y cargado de aceite, sale del compresor a alta velocidad, y a través de la línea de descarga llega a la entrada del separador de aceite. Aquí, el refrigerante queda en estado gaseoso con un altísimo sobrecalentamiento y moviéndose a gran velocidad. El aceite tiene la misma velocidad pero en forma líquida, y como tiene mayor densidad que el refrigerante, su inercia también es mayor. Como el área de sección transversal de la cápsula del separador es mucho mayor que la del tubo de descarga, esto provoca una reducción en la velocidad del gas. Simultáneamente a esta reducción de velocidad, la mezcla de gas y aceite pasa a través de la malla de choque a la entrada, donde una parte del aceite es separado del gas refrigerante. Otro gran porcentaje del aceite se encuentra en forma de partículas más finas, las cuales sólo pueden ser removidas provocando que choquen unas con otras para formar partículas más pesadas. Esto sólo puede lograrse gracias al cambio de velocidad que sufre la mezcla de aceite y gas refrigerante, y a que las partículas de aceite tienen mayor densidad que el gas refrigerante.

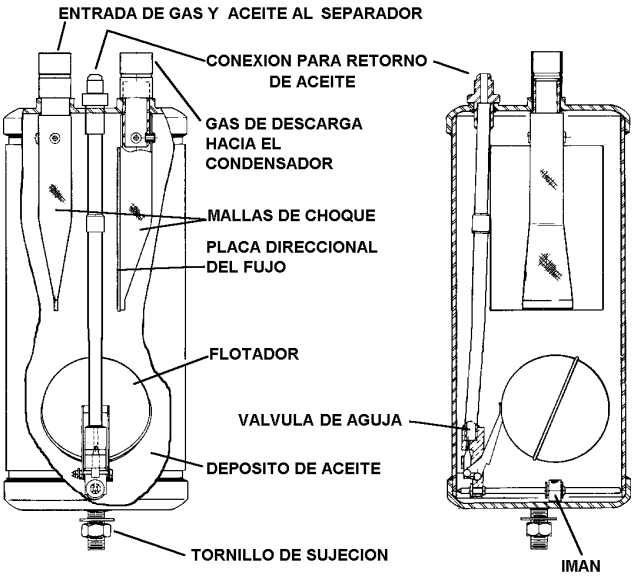


Figura 4.19 - Partes internas de un separador de aceite.

El gas refrigerante una vez liberado de su alto contenido de aceite, fluye hacia abajo y hace un giro de 180° en U alrededor de la placa de choque, donde se separa aún más aceite debido a la fuerza centrífuga; ya que el gas refrigerante sobrecalentado puede cambiar de dirección más fácilmente, dejando abajo el aceite que es más pesado. Finalmente, el gas pasa a través de la malla de salida donde sufre una última depuración, antes de entrar a la línea de descarga, para luego recuperar su velocidad original debido a la reducción del diámetro. Una vez libre de aceite, el gas refrigerante sigue su paso hacia el condensador.

El aceite separado escurre al fondo, donde se encuentra un depósito adecuado para acumularse, hasta que alcance un nivel suficiente para balancear el flotador y accionar la válvula de aguja, la cual permite el regreso del aceite al cárter del compresor. El flujo de aceite hacia el cárter, es provocado por la diferencia de presiones entre la alta presión del gas en el separador y la baja presión en el cárter. Siempre va a permanecer en el separador una pequeña cantidad de aceite, lo suficiente para que con otro poco que se acumule, se accione el mecanismo del flotador.

De manera similar a como el aceite es separado del gas refrigerante, también se puede observar cómo cualquier partícula extraña, como rebabas de metal o carbón, son separadas y precipitadas en forma de lodo que se va acumulando en el fondo del separador de aceite. Los separadores de aceite que fabrica Valycontrol, S.A. de C.V., llevan además un imán en el fondo, para capturar las partículas metálico-ferrosas.

La válvula de aguja operada por el flotador, está ubicada a cierta altura del fondo, para que sólo aceite limpio sea regresado al compresor.

Además de su función principal que es la separar el aceite del gas refrigerante, el separador de aceite cumple con otros objetivos:

1. Asegura una adecuada lubricación para el compresor.
2. Reduce el nivel de ruido generado por las pulsaciones.
3. Disminuye el tiempo de trabajo del equipo y reduce el consumo de energía.
4. Permite que la válvula de expansión opere a su máxima eficiencia reguladora.
5. Asegura una transferencia de calor máxima y continua en el evaporador.

Selección de un Separador de Aceite

Los fabricantes de separadores de aceite, generalmente publican en sus catálogos, tablas de selección basadas en la potencia del motor del compresor (hp) o en toneladas de refrigeración y la temperatura de evaporación. Sabemos que la capacidad real de un sistema en toneladas de refrigeración, la mayoría de las veces no corresponde al tamaño en hp del compresor, debido a que compresores del mismo tamaño pueden trabajar a diferentes velocidades (rpm) y tener diferentes desplazamientos volumétricos. Actualmente, la manera más precisa de seleccionar un separador de aceite, es basándose al desplazamiento volumétrico del compresor, el cual está en metros cúbicos por minuto (mcm) o bien en pies cúbicos por minuto (cfm por sus siglas en inglés). Deben considerarse, además, las temperaturas de evaporación y de condensación, así como el refrigerante.

Es un hecho que la capacidad real de un compresor depende de la presión de succión. En un compresor de cualquier tamaño, mientras más alta sea la presión de succión, mayor será la capacidad real; y mientras más baja sea la presión de succión, menor será la capacidad real del compresor.

La selección del diámetro de la línea de succión y la de descarga, está grandemente enfocada a obtener la velocidad deseada de los gases en el sistema. La reducción de la velocidad de la mezcla refrigerante y aceite, al pasar a través del separador de aceite, es el factor principal en la separación de aceite. Por lo tanto, es importante la relación del volumen de las conexiones del separador con el volumen de la cápsula. Mientras más grande sea la capacidad del compresor, mayor será el volumen requerido de la cápsula, aunque las conexiones sean las mismas. Puesto que debe haber una mínima caída de presión, las conexiones deben ser capaces de transportar los gases a la misma presión de la línea de descarga. Por lo tanto, las conexiones deben ser del mismo tamaño, o mayores, que las de la línea de descarga.

Dónde y Cómo Instalar un Separador de Aceite en un Sistema de Refrigeración

El separador de aceite deberá montarse de manera segura y firme en posición vertical. Generalmente se instala en la línea de descarga, entre el compresor y el condensador, lo más cerca posible del compresor. Hay que recordar que un separador de aceite funciona con mayor eficiencia, cuando el gas de descarga está altamente sobrecalentado. La línea del compresor se ensambla a la conexión de entrada del separador, y luego se conecta una línea de la conexión de salida del separador a la entrada del condensador. La conexión más pequeña en el separador es la del retorno de aceite, y de ésta, debe conectarse una línea al cárter. Generalmente, se quita el tapón que viene en el cárter y se reemplaza por una conexión “flare”, en la cual se conecta la línea de retorno de aceite.

Bajo condiciones de operación normales, no es deseable instalar una válvula de paso en la línea de retorno del aceite. La razón para esto, es que esta válvula pudiera inadvertidamente quedar cerrada, deteniendo el aceite que va al compresor con el consecuente daño. Si desde el punto de vista de servicio se considera ventajoso instalar una válvula de paso, se deberá tener especial precaución en asegurarse que dicha válvula esté en la posición totalmente abierta, durante la operación normal.

Se puede instalar una mirilla en la línea de retorno, procurando que quede en una posición tal, que permita fluir el aceite, y no en una posición en donde éste pueda quedar atrapado.

Condensación del Refrigerante en el Separador de Aceite

Ocasionalmente, el refrigerante se condensará en el separador de aceite, y, por supuesto, esto ocurre solamente cuando el interior del separador se enfría por debajo de la temperatura de condensación del refrigerante.

Al colocar un separador de aceite, en el caso de unidades enfriadas por aire, es aconsejable seleccionar una posición donde no se vea influenciado por la corriente de aire del volante del compresor, o del ventilador del condensador. La razón para ello, es evitar el enfriamiento de la cápsula del separador, lo cual puede dar como resultado la condensación del gas refrigerante dentro del separador. Si esto sucede, el refrigerante ahora líquido, regresará al compresor donde se mezclará nuevamente con el aceite, causando los problemas que ya vimos, dentro del cárter. Un separador de aceite funcionará mejor cuando opera a la misma temperatura de descarga del compresor; es decir, cuando el gas está con un alto sobrecalentamiento.

Los separadores de aceite de Valycontrol, S.A de C.V., vienen provistos de una chaqueta de aislamiento, para evitar que el gas de descarga pierda sobrecalentamiento. En la mayoría de los casos durante los ciclos de paro, se ha encontrado que este aislamiento en la cápsula es suficiente para mantener el interior del separador por arriba de la temperatura de condensación y ambiente, si la temperatura ambiente no baja demasiado. Si la línea de retorno está fría o escarchada, es indicación de que hay refrigerante líquido en el separador.

Si la unidad de condensación está ubicada fuera del edificio, expuesta a bajas temperaturas con la consiguiente condensación del gas de descarga en el separador de aceite, será necesario aplicar una resistencia eléctrica al separador. Se deberá seleccionar un calentador tipo banda, como los que se utilizan para proteger las tuberías de agua para que no se congelen, con un wattaje de entre 25 y 100 watts. El separador deberá envolverse con la banda, reemplazando la chaqueta. La cantidad de calor requerido, dependerá de la temperatura ambiente, pudiendo controlar el calentador termostáticamente. El calentador puede operar continuamente, o encender cuando el compresor pare.

Antes de instalar un separador de aceite, es necesario agregar una carga inicial de aceite para suplir la cantidad que es retenida en el fondo del separador. Se deberá usar el mismo tipo de aceite que hay en el compresor. En el instructivo que acompaña al separador de aceite, se indica la cantidad que debe agregarse. Este aceite deberá agregarse a través de la conexión de entrada, con un embudo, para evitar derramar aceite en la conexión y que no haya dificultad al soldarlo a la línea. Es recomendable también limpiar los conectores con algún solvente antes de soldar. Durante el proceso de soldadura, es importante colocar un trapo húmedo alrededor del conector, para no afectar las soldaduras hechas en fábrica, y para evitar dañar los empaques de los separadores abiertos.

Aplicación de los Separadores de Aceite

Hasta ahora, la costumbre en nuestro país de instalar separadores de aceite, se ha limitado a sistemas de baja temperatura con refrigerantes halogenados. Poco caso se ha hecho a los problemas causados por el aceite en sistemas de media y alta temperatura. Sin embargo, por todo lo expuesto hasta ahora en este capítulo, nos damos cuenta de la importancia de instalar siempre un separador de aceite en sistemas de refrigeración comercial, industrial o aire acondicionado, ya sea con compresores herméticos, abiertos o semiherméticos. A continuación, se dan algunas recomendaciones sobre aplicaciones de separadores de aceite en diferentes sistemas.

Sistemas con Compresor Hermético

Los sistemas con compresor hermético son en los que menos se acostumbra el uso del separador de aceite, pero sobran las buenas razones para instalarlos. Primero, su contenido de aceite es generalmente menor que el de otros tipos de compresores, por lo que al emigrar el aceite al sistema, si no hay un pronto y adecuado regreso al cárter, en poco tiempo el compresor se quedará sin lubricación. Hay que recordar que los compresores herméticos trabajan a alta velocidad, generalmente a 3,500 rpm.

Los compresores de tipo hermético, no cuentan con una conexión para conectar el separador de aceite, por lo que el retorno de éste puede conectarse a una "T" previamente instalada en la línea de succión, cerca de la válvula de servicio. En la figura 4.20 se muestra la forma de instalar un separador de aceite, en un sistema con compresor hermético. La línea de succión deberá llegar de arriba hacia abajo para evitar formar una trampa de aceite.

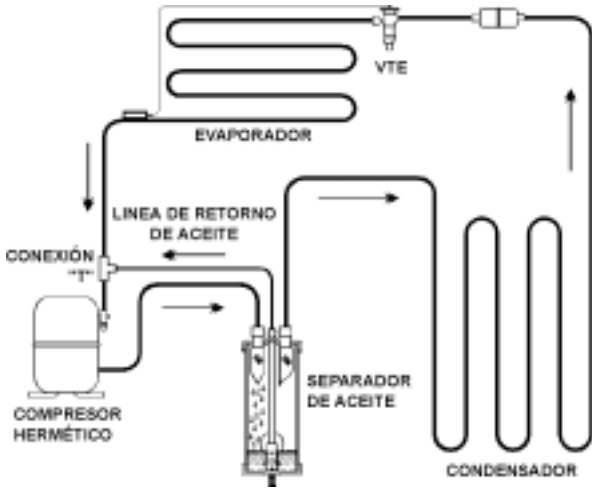


Figura 4.20 - Sistema con compresor hermético.

Sistemas con Condensador Remoto.

Cuando el sistema utiliza un condensador enfriado por aire de tipo remoto, el uso de un separador de aceite es indispensable por las siguientes razones: estos condensa-

dores normalmente se instalan en las azoteas de los edificios, mientras que el compresor permanece en la planta baja, haciendo que la línea de descarga sea muy larga y tenga que ascender en forma vertical. Si la tubería no ha sido diseñada y calculada adecuadamente, se tendrán algunos problemas, tales como la pérdida de presión, reducción en la velocidad del gas, condensación del refrigerante cuando la temperatura ambiente sea baja, y regreso del aceite al compresor en los ciclos de paro.

La pérdida de presión junto con la reducción de la velocidad del gas de descarga, causan que el aceite se separe del refrigerante y escurra por la línea de descarga hacia abajo, durante los ciclos de paro del compresor, acumulándose en la válvula de descarga. De igual manera, el refrigerante condensado caerá por gravedad, acumulándose también en la válvula de servicio del compresor. Al arrancar de nuevo, el compresor actuará contra una presión hidráulica, pudiendo causar daños severos. Haciendo un buen diseño y cálculo del diámetro adecuado de la línea de descarga, se corregirán la reducción de velocidad y la pérdida de presión. La condensación del gas puede controlarse aislando la tubería, y el regreso del aceite al compresor, puede evitarse instalando trampas en la línea vertical. Pero aún con todo lo anterior, es altamente recomendable la instalación de un separador de aceite, para evitar un exceso de aceite en la línea de descarga, como se ilustra en la figura 4.21.

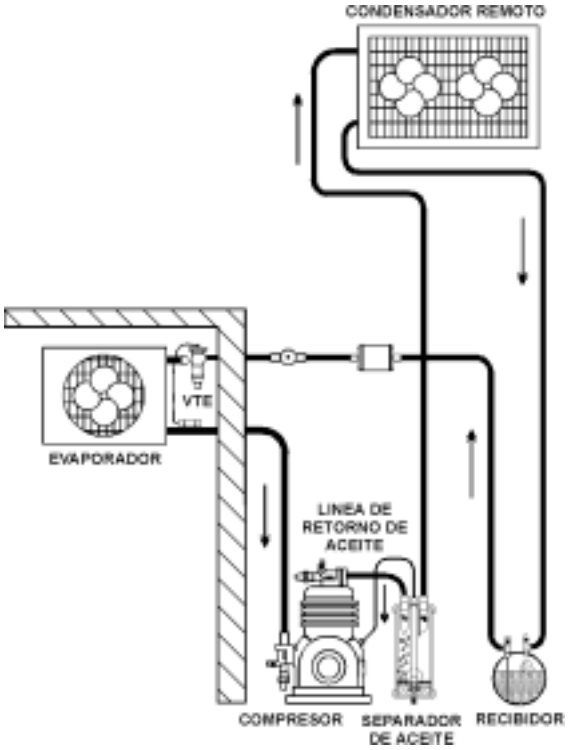


Fig. 4.21 - Sistema con condensador remoto.

Sistemas de Recirculación de Líquido a Baja Presión

En este tipo de sistemas, la válvula de expansión alimenta el refrigerante líquido a baja presión a un tanque o acumulador, en lugar de alimentarlo directamente al evaporador, como se muestra en la figura 4.22. Algunas veces, se utiliza una válvula de expansión de tipo flotador en el lado de baja. El líquido a baja presión es luego recirculado al evaporador mediante una bomba. La mezcla de líquido y vapor de refrigerante que sale del evaporador regresa al tanque, en el cual se mantiene un nivel a través de un control de nivel de líquido. El vapor es succionado por la parte superior del tanque, y si el sistema no cuenta con separador de aceite, el tanque irá acumulando el aceite y, dependiendo de su miscibilidad con el refrigerante, se formarán una sola fase o dos capas. En esta última, la capa superior es la capa rica en aceite.

Para evitar que el aceite se acumule en el tanque, es indispensable instalar en el sistema un separador de aceite. Aunque esto evitaría un exceso de aceite en el tanque, algo de aceite logrará emigrar mezclado con el refrigerante hacia el tanque, en donde se separarán debido a que su miscibilidad disminuye con la temperatura, y esta pequeña cantidad de aceite flotará sobre el refrigerante líquido. Aunque esta cantidad de aceite es pequeña, después de un tiempo se acumulará una cantidad considerable, la cual deberá ser retornada al compresor. Para esto, es necesario hacer una conexión desde el

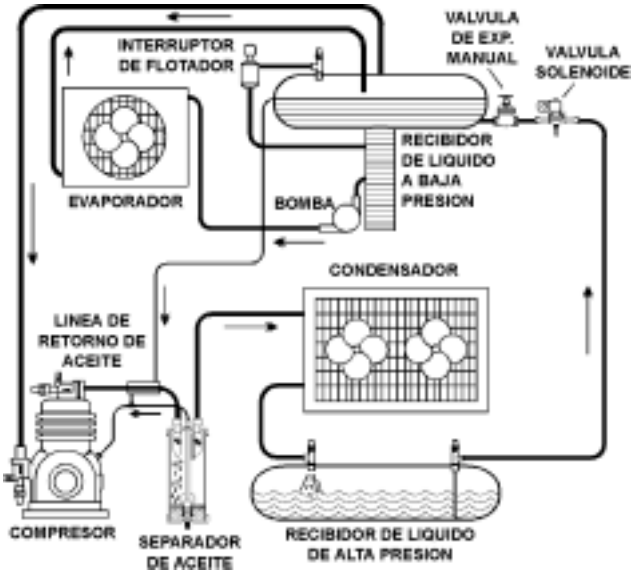


Figura 4.22 - Sistema de recirculación con flotador del lado de baja.

tanque, en un punto justo en el nivel del líquido, hasta la línea de retorno de aceite, la cual debe pasar por un intercambiador de calor con la línea de descarga. De esta manera, si algo de refrigerante líquido se va con el aceite, éste se evaporará en el intercambiador. Se recomienda instalar una válvula de paso en esta línea.

Sistemas en Paralelo

El uso de compresores múltiples conectados en paralelo, es una opción atractiva que proporciona una gran flexibilidad de operación en sistemas grandes, donde se centralizan los compresores en una sola sala de máquinas. La

capacidad del sistema puede modularse, arrancando o parando algunos compresores individualmente. Debido a la necesidad de esta clase de flexibilidad, además de bajar los costos de operación y conservar energía, ha crecido esta aplicación de compresores en paralelo, principalmente en supermercados.

Este tipo de sistemas utiliza compresores múltiples con una línea de descarga y una línea de succión comunes. Sin embargo, los sistemas en paralelo tienen algunos problemas de operación potenciales. Uno de ellos, es el mantener el nivel de aceite correcto en el cárter bajo cualquier condición de operación. Durante períodos de carga baja, uno o más compresores del sistema en paralelo pueden estar parados, mientras los otros pueden seguir operando. Cuando se presenta esta condición, debido a las diferencias de presión y a la circulación de vapor de refrigerante a través de los compresores apagados, el nivel de aceite en el cárter de los compresores apagados puede disminuir, lo que provocaría que se disparase el interruptor de presión de aceite. Cuando esto ocurre, los compresores parados no arrancarán de nuevo cuando la carga requiera más enfriamiento. Para evitar que esto suceda, deberá instalarse un sistema igualador de aceite eficaz, como el que se muestra en la figura 4.23.

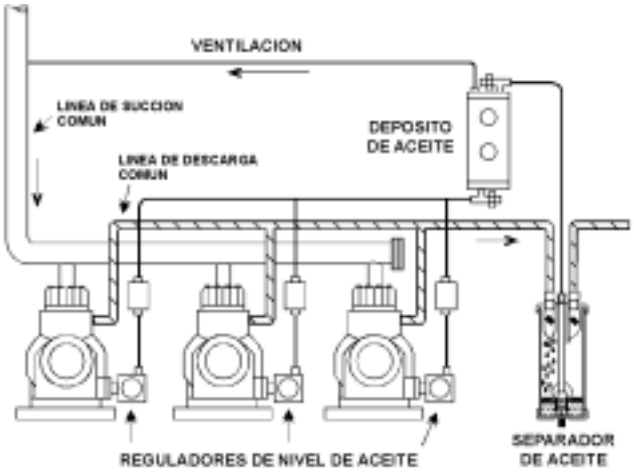


Figura 4.23 - Sistema de compresores en paralelo.

Este sistema utiliza tres componentes básicos:

1. Un separador de aceite para todos los compresores.
2. Un depósito de aceite.
3. Un regulador de nivel de aceite para cada compresor.

Generalmente, en un sistema normal, el aceite capturado por el separador es retornado al cárter del compresor. Pero en un sistema en paralelo, solamente se utiliza un separador para dos o más compresores; así que el aceite es enviado al depósito, el cual a su vez distribuye el aceite a los reguladores de nivel.

El depósito de aceite es un recipiente que contiene aceite de reserva, el cual le llega del separador. Es de esperarse que la presión alta de descarga llegue al depósito, junto con el aceite proveniente del separador. Después de un tiempo, puede acumularse suficiente presión que afectaría adversamente el ensamble del flotador y aguja en el regulador de nivel. Por protección, se instala una línea de ventilación desde la parte superior del depósito a la línea de succión. Esta línea permite que la presión en el depósito, sea aproximadamente la misma que la de la línea de succión y de los depósitos de aceite de los compresores. El depósito abastece aceite a los reguladores de nivel. Para esto, cuando sea posible, el depósito deberá estar ubicado arriba de los reguladores de nivel, para que el aceite sea alimentado por gravedad.

El regulador de nivel controla el nivel individualmente en cada compresor, mediante una válvula de aguja operada por flotador. Este retiene el exceso de aceite hasta que baja el nivel en el cárter del compresor, bajando el flotador y abriendo la válvula. El aceite proveniente del depósito será entonces admitido dentro del cárter, levantando el flotador. Cuando se alcanza el nivel correcto, la válvula cerrará, deteniendo el flujo de aceite en ese cárter en particular.

Sistemas de Etapas Múltiples

Cualquier sistema de refrigeración que contenga más de una etapa de compresión, es considerado como sistema de etapas múltiples. Estos sistemas se utilizan para alcanzar temperaturas muy bajas, cuando éstas no pueden alcanzarse con una sola etapa por razones económicas, o cuando la relación de compresión es mayor de 10:1, lo que dificultaría alcanzar las temperaturas de evaporación y condensación requeridas. Hay dos tipos de sistemas de etapas múltiples: el de doble etapa (compound) y el sistema en cascada.

Sistemas de Doble Etapa

En la figura 4.24 aparece un sistema de doble etapa (compound) típico, resaltando la instalación recomendada para control del aceite. Con estos sistemas se alcanzan bajas temperaturas en el rango de -30 hasta -60°C, utilizando dos o mas compresores conectados en serie. El de la primera etapa, es más grande que el de la segunda etapa, y el siguiente es más pequeño que el de la segunda,

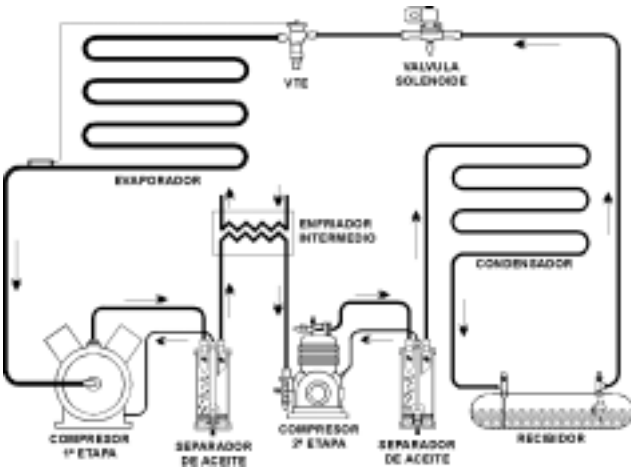


Figura 4.24 - Sistema de doble etapa.

y así sucesivamente, debido a que los compresores de las etapas altas manejan un vapor de refrigerante más denso.

El refrigerante descargado por el compresor de la primera etapa (comúnmente llamado «*booster*»), es succionado por el compresor de la segunda etapa; es decir, no hay condensación entre un compresor y otro. En lugar de eso, al vapor solamente se le baja la temperatura (sobrecalentamiento) utilizando un enfriador intermedio.

En este tipo de instalaciones, generalmente se recomienda el uso de un separador de aceite para cada compresor, a fin de reducir al mínimo la cantidad de aceite en circulación. Tal como vimos al principio de este capítulo, la miscibilidad del aceite con los refrigerantes, depende de la temperatura y del tipo de refrigerante; a más baja temperatura disminuye la miscibilidad, y con algunos refrigerantes, el aceite se separa formando dos capas. También, si consideramos que la temperatura de congelación de los aceites minerales está entre -35 y -40°C, y la de los aceites sintéticos está en un rango de -35 a -50°C, el aceite se congelaría en el evaporador.

Algunas veces se utiliza un solo separador de aceite para todo el sistema, instalándolo en serie con el último compresor. En estos casos, se corre el riesgo de que el aceite que sale del compresor de la primera etapa, aumente el nivel en el cárter del compresor de la segunda etapa, y el primero tendrá problemas de falta de aceite. Para solucionar esto, el compresor de la segunda etapa deberá colocarse a un nivel más alto que el de la primera etapa, y a este último, deberá instalársele en el cárter un regulador de nivel accionado por flotador. La entrada de este regulador se conecta al cárter del compresor de la segunda etapa, al mismo nivel de la mirilla. De esta manera, cuando aumente el nivel de aceite en el compresor de la segunda etapa, fluirá por gravedad hacia el regulador de nivel y de allí al cárter del compresor de la primer etapa.

Sistemas en Cascada

Los sistemas del tipo de etapas múltiples, por lo regular, se utilizan para alcanzar temperaturas ultra bajas, generalmente menores de -45°C, las cuales no se podrían obtener con un sistema de una sola etapa, por las mismas razones que en los sistemas anteriores.

En una instalación de refrigeración en cascada, se utilizan dos o más sistemas de refrigeración, tal como se muestra en la figura 4.25. Los sistemas operan al mismo tiempo, y están interconectados de tal forma, que la función del evaporador del ciclo que trabaja a más altas presiones y temperaturas (primera etapa), es remover el calor del condensador del ciclo que opera a presiones y temperaturas más bajas (segunda etapa).

Normalmente, el intercambiador de calor que se utiliza para interconectar un sistema con otro (evaporador-condensador), es un evaporador de casco y tubos del tipo inundado, en el cual el refrigerante de la primera etapa circula por los tubos. Por lo general, se utilizan diferentes refrigerantes para cada etapa.

Debido a las bajas temperaturas a que operan estos sistemas, los problemas causados por el aceite son más críticos que en los sistemas de doble etapa, ya que el aceite puede congelarse en el evaporador de la segunda etapa. Es obligado el uso de separadores de aceite para reducir al mínimo la cantidad de aceite en circulación, y lo más recomendable es instalar un separador de aceite después de cada compresor.

Como son sistemas de refrigeración independientes, aquí no se presenta el problema de mantener el nivel de aceite en el cárter de cada compresor, como sucede en los sistemas en paralelo y en los de doble etapa. Si el evaporador de la segunda etapa es del tipo inundado, lo más probable es que el aceite se congelará y flotará sobre el refrigerante. Se recomienda hacer un arreglo para el retorno del aceite desde el evaporador al cárter del compresor, como se muestra en la figura 4.22. Con relación a esto, para la segunda etapa debe seleccionarse un aceite especial, con bajo punto de floculación.

Los separadores de aceite fabricados por Valycontrol, S.A. de C.V., tienen un mecanismo de válvula de aguja accionada por flotador que hace posible retornar 4,750 cm³ (c.c.) por minuto de aceite capturado al compresor, a una presión de 440 libras por pulg² (psig). Esto es indistintamente del tamaño del separador. Para las oleadas de presión se requiere un flotador más fuerte. Nuestro flotador es de acero inoxidable y soportará hasta 900 psig. El mecanismo de la válvula operará hasta 440 psig. El separador de aceite, tiene una presión de ruptura de 2,500 psig.

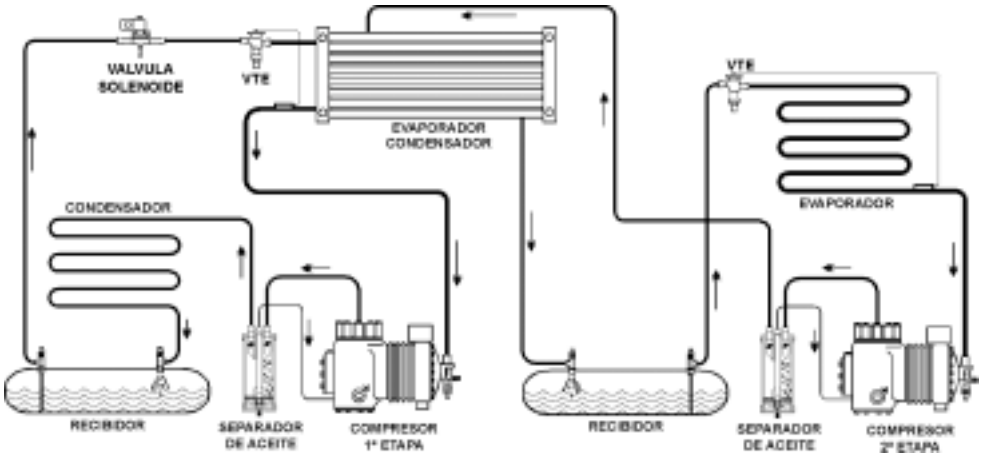


Figura 4.25 - Sistema en cascada

Las mallas de entrada y salida de nuestros separadores son de latón, con un área abierta de la malla igual a un mínimo de 13 veces el área del conector. Una placa entre las mallas de entrada y salida, evita que el aceite se proyecte directamente a la salida, lo que les aumenta la eficiencia.

Los separadores de aceite de Valycontrol, S.A. de C.V. son adecuados para cualquier refrigerante, excepto el amoníaco. Estos separadores son capaces de retornar un volumen de aceite relativamente grande al cárter del compresor, a través de la válvula de aguja. En las figuras 4.26 y 4.27 se muestran la proporción de retorno de aceite y la cantidad de aceite requerida para abrir la válvula, respectivamente, a diferentes presiones de descarga.

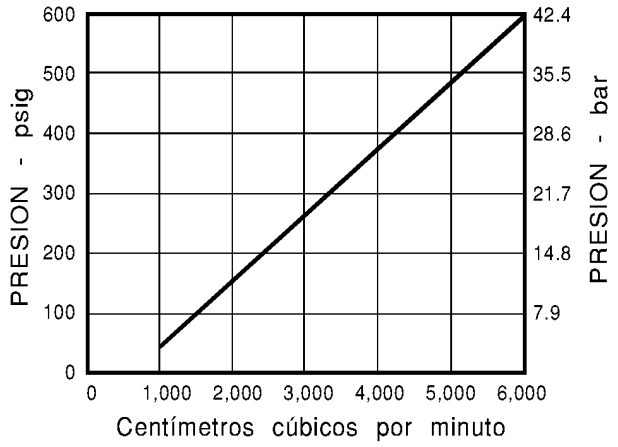


Figura 4.26 - Proporción de retorno de aceite.

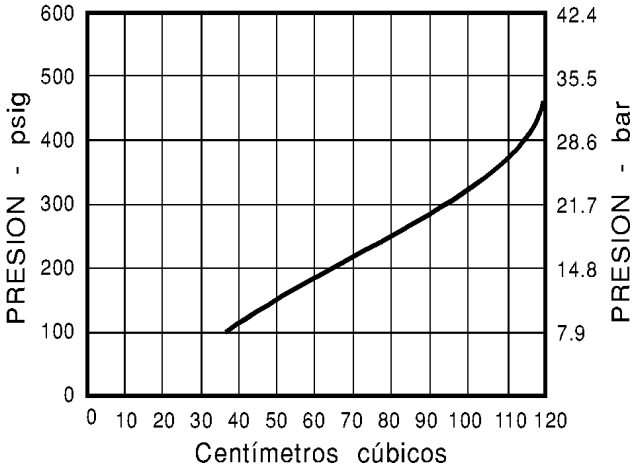


Figura 4.27 - Aceite requerido para abrir la válvula de retorno después de la carga básica de 450 c.c.

Cómo dar Servicio a los Separadores de Aceite

Los separadores de aceite son unidades robustamente construidas, y generalmente presentan poco problema de servicio, si se han seguido las instrucciones del fabricante para la selección del tamaño y la instalación. También se debe considerar la temperatura ambiente a la que se puede encontrar el separador de aceite.

En operación normal, la línea de retorno del aceite al cárter del compresor, estará alternadamente caliente y fría. Esto es porque se abre la válvula de flotador y retorna el aceite al cárter, para luego volver a cerrar al disminuir el nivel de aceite en el separador. Si la línea de retorno de aceite está a la temperatura ambiente todo el tiempo, significa que la válvula de retorno del aceite en el separador, puede estar bloqueada por algún material extraño. Si está continuamente caliente, la válvula de flotador puede tener alguna fuga, o está siendo abierta por el lodo o por suciedad; también la presión será afectada, reduciendo la capacidad del sistema. En cualquier caso, deberá limpiarse el separador de aceite. Si el mecanismo de flotador está dañado, será necesario reemplazarlo. Si el separador es de tipo sellado, se tendrá que reemplazar toda la unidad. Un compresor que está bombeando demasiado aceite, también puede causar que la línea de retorno esté continuamente caliente. También, si un separador de aceite es muy chico para un compresor, causará que la línea de retorno de aceite esté caliente. Esto puede comprobarse visualmente si se instala una mirilla en la línea de retorno del aceite.

Si la línea de retorno está continuamente fría, puede haber condensación de refrigerante en el separador. También, en líneas verticales largas, deberá instalarse una trampa por cada tres metros de altura, para evitar que un exceso de aceite en la línea de descarga regrese al separador en los ciclos de paro (lo que puede sobrellenar el cárter).

Cuando se dé servicio a un separador en un sistema que ha estado en operación por algún tiempo, en el cual se ha acumulado lodo por la circulación del aceite, puede ser necesario limpiar las mallas y la válvula de retorno de aceite. Para hacer esto, en los separadores de tipo abierto, puede quitarse la tapa y lavar todas las partes con un limpiador no acuoso.

Cuando se instale un separador de aceite en un sistema existente (viejo), en el cual puede haber aceite en el lado de baja, es esencial que sea revisado el nivel de aceite en el cárter después de que éste haya tenido la oportunidad de regresar al compresor. El exceso de aceite que haya retornado deberá ser retirado.

Cuando haya ocurrido una quemadura de motocompresor, el separador de aceite deberá ser desmontado para inspeccionarlo. Si es de tipo abierto y la unidad ha sido dañada, como ocurre con frecuencia, deberá ser reemplazado. Cuando es de tipo sellado, deberá reemplazarse después de una quemadura del motocompresor. Si no se estaba utilizando un separador de aceite al ocurrir la quemadura, y se instala uno después, deberá limpiarse el sistema antes de instalar el separador.

Capítulo 5

ACUMULADORES DE SUCCION

Introducción

Una de las fallas más comunes en los compresores de refrigeración, es la inundación; es decir, el regreso de refrigerante y/o aceite líquidos en grandes cantidades. Esto puede causar daños a los compresores, que van desde la dilución del aceite con refrigerante líquido, hasta el «Golpe de Líquido». Como es sabido, los líquidos no se comprimen y los compresores están diseñados para comprimir vapor únicamente, y tienen muy poca tolerancia para el refrigerante o el aceite líquidos.

La mayoría de los sistemas, están expuestos a que les llegue por la línea de succión cierta cantidad de refrigerante o aceite líquidos, especialmente los de baja temperatura. Si este flujo de líquido es pequeño o no muy frecuente, el compresor puede tolerarlo; pero si el flujo es grande y continuo, puede acabar con un compresor en muy corto tiempo. Dependiendo del punto donde se encuentre entre estas dos situaciones, el compresor puede estar operando durante meses o años, para repentinamente regresar suficiente líquido y fallar sin motivo aparente.

En estos casos, la mejor protección es instalar un acumulador de succión.

Definición

Un acumulador de succión es, básicamente, un recipiente a presión, diseñado para evitar daños al compresor a causa de una inundación repentina de efrigerante o aceite líquidos, la cual puede llegar por la línea de succión hacia el compresor. Un acumulador de succión es un depósito temporal para retener el exceso de esta mezcla de aceite y refrigerante líquidos, y posteriormente enviarla en forma de gas, a una proporción que el compresor pueda manejar de manera segura.

Los acumuladores de succión están diseñados para retener un porcentaje de la carga total de refrigerante del sistema, evitando además el golpe de líquido y la dilución excesiva del aceite del compresor.

Debe existir una cierta cantidad de turbulencia controlada, para evitar que el acumulador de succión sirva como separador de aceite, y para que el aceite no se quede atrapado dentro de éste.

El retorno de refrigerante y aceite debe hacerse a una proporción suficiente, para asegurar que se mantengan tanto la eficiencia de operación del sistema, como el nivel adecuado de aceite en el cárter.

Regreso de Refrigerante Líquido

Causas

Son varias las causas por las que puede estar regresando refrigerante líquido al compresor. Algunas de las más comunes son:

a) La válvula de expansión puede ser de mayor tamaño (fluctuación).

b) El bulbo de la válvula de expansión no está haciendo buen contacto en la línea de succión.

c) La válvula de expansión está mal ajustada o se quedó atorada en posición abierta.

d) Sobrecarga de refrigerante en sistemas que usan tubo capilar.

e) Falta de carga en el evaporador que puede ser por:

1. Que no estén operando los ventiladores del evaporador.
2. El evaporador esté cubierto de escarcha.
3. Evaporador obstruido por suciedad entre las aletas.
4. No hay carga o es muy pequeña.
5. Filtros de aire tapados.

f) Regreso de líquido al terminar el ciclo de deshielo con gas caliente.

Hay que notar que los primeros cinco puntos son previsibles, ya que se deben a una mala selección, mala instalación o mal ajuste de las válvulas, y a falta de mantenimiento o de inspección del sistema. El último punto no es previsible o controlable. Algunos tipos de sistemas permitirán periódicamente que regrese demasiado líquido al compresor.

Efectos

Los daños que puede sufrir un compresor por el regreso de refrigerante o aceite líquidos son varios, y dependen de la cantidad de líquido que le esté llegando.

Quizás el más grave es el «Golpe de Líquido». Como ya se mencionó, los líquidos no se comprimen; los compre-

sores para refrigeración están diseñados para comprimir vapor. Si es excesiva la cantidad de líquido que entra al cilindro a través de la línea de succión, el pistón en su carrera ascendente, golpeará este líquido contra la válvula o plato de descarga, produciendo un efecto como el de un gato hidráulico. Este tremendo golpe puede dañar las válvulas de descarga, los pistones, las bielas y hasta el cigüeñal; causando desde dobleces hasta la ruptura.

Por otra parte, el exceso de refrigerante líquido que retorna al compresor diluye el aceite, disminuyendo sus propiedades lubricantes, y causando daños por mala lubricación en cojinetes y otras partes móviles. En algunos casos, se pierde completamente el aceite del cárter.

La presencia de refrigerante líquido en el aceite, también puede ocasionar que el interruptor de presión de aceite se dispare por baja presión, aun cuando el nivel de aceite en el cárter del compresor esté alto. Esto se debe a que al arrancar el compresor, se presenta una repentina baja de presión en el cárter, y el refrigerante líquido se evapora súbitamente, por lo que la bomba no puede mantener la presión adecuada. Si esta situación continúa, cuando se haya desprendido suficiente refrigerante del aceite, se restablecen las presiones en la bomba. Cuando se presenta una situación de éstas, se piensa que es la bomba de aceite la que está fallando y se reemplaza. Al instalar una bomba nueva, se creerá que se solucionó el problema, pues se restablecerá la presión del aceite; sin embargo, la siguiente vez que se diluya el aceite con refrigerante líquido, volverá a bajar la presión del aceite.

Cómo Detectarlo

Cuando haya sospecha de que se está regresando refrigerante líquido por la succión del compresor, la única manera segura de detectarlo es midiendo el sobrecalentamiento del refrigerante en la línea de succión, justo antes de la conexión de entrada al compresor. Este deberá ser medido precisamente en los períodos cuando haya más probabilidad de regreso de líquido, como en los ciclos de deshielo, en los cambios de ciclo en las bombas de calor o bajo condiciones de baja carga.

El procedimiento más recomendable para medir este sobrecalentamiento es el siguiente:

- Fije un termopar en la línea de succión horizontal, en una posición entre el 4 y el 5 del reloj (o bien entre el 7 y el 8), como se muestra en la figura 5.1, a una distancia de por lo menos 15 cm del compresor.
- Aisle el termopar.
- Lea la temperatura real. Esto deberá hacerse a partir del instante en que termina el deshielo o en el cambio de ciclo. Mida la presión de succión del compresor. De las tablas obtenga la temperatura de saturación correspondiente a esa presión. A la temperatura real más baja leída en el termopar, se le resta la temperatura de saturación y el resultado es el sobrecalentamiento.

Si el sobrecalentamiento obtenido está entre 0 y 2 °C, es que hay líquido presente. (Cuando se leen temperaturas

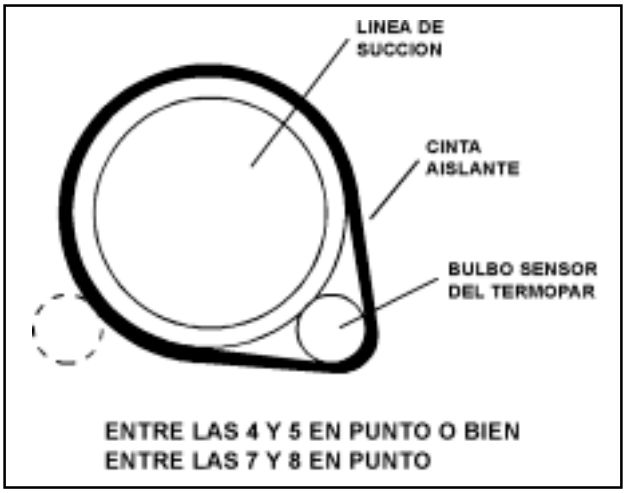


Figura 5.1 - Cómo ubicar el termopar en la línea de succión para medir el sobrecalentamiento.

con un termopar por fuera de la línea, pueden tenerse errores de 1 ó 2 °C). Bajo condiciones ideales de operación, el sobrecalentamiento recomendable está entre 9 y 15 °C, en este punto del sistema.

Siempre existe la posibilidad de que regrese líquido al compresor, aunque puede no ser muy frecuente. Pero si las condiciones permiten el regreso de líquido, y si se tiene el sobrecalentamiento recomendado, hay un margen de seguridad para evitar que baje a 0 °C.

Tipos de Acumuladores

Básicamente, existen dos tipos de acumuladores (trampas) de succión: de tubo en «U» y de tubo vertical, de los cuales se derivan algunas variantes en cuanto a la posición de instalación, la forma de medir el líquido de regreso al compresor, y si llevan intercambiador de calor o calentador eléctrico.

El tipo más sencillo de acumulador, es un recipiente que colecta refrigerante líquido, lo retiene hasta que se evapora y lo regresa al compresor de forma natural.

En la figura 5.2, se muestra un acumulador vertical de tubo en "U". Es el acumulador más simple de todos, y es el más frecuentemente aplicado en equipos residencial y comercial; tanto de fábrica como armados en el campo. Con este tipo de acumuladores bajo operación normal, el vapor de refrigerante entra al acumulador, pasa a través del tubo en "U" y sale del acumulador hacia la succión del compresor. Si existe refrigerante líquido en la línea de succión, al entrar al acumulador, las gotas más pesadas caen al fondo aumentando el nivel del líquido. El gas por ser más ligero, gira 360° y entra al tubo en "U". En este tipo de diseño, la velocidad debe ser controlada, para que el refrigerante no choque contra la superficie del nivel del líquido y lo arrastre a la entrada del tubo en "U".

Entre la conexión de entrada y el tubo en «U», lleva una placa metálica (baffle) para evitar que el líquido se vaya directamente a la salida. Este líquido llega al acumulador a alta velocidad, pero en el momento que entra se reduce

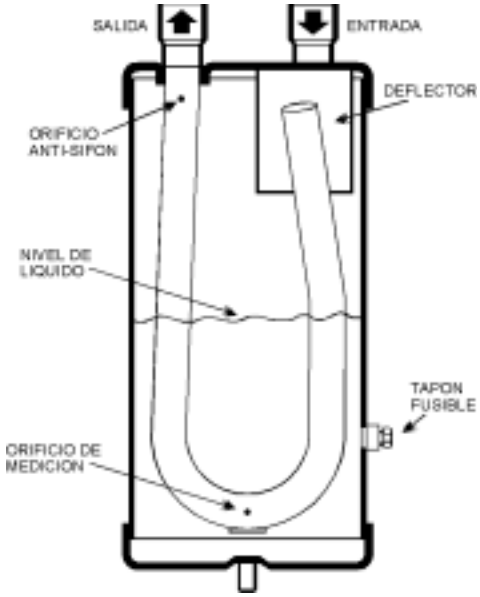


Figura 5.2 - Acumulador del tipo de tubo en "U".

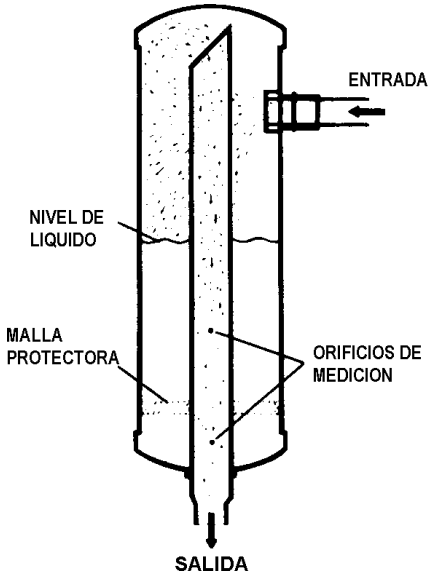


Figura 5.3 - Acumulador de tubo vertical.

drásticamente y choca con la pared interior del acumulador, formando una capa delgada, la cual escurre al fondo.

El diámetro del tubo en «U», así como la curvatura, son lo suficientemente grandes para evitar una caída de presión drástica en el acumulador, y al mismo tiempo proporciona un flujo uniforme.

Cuando se ha acumulado refrigerante líquido o aceite, estos son regresados al compresor de la siguiente manera: en la parte baja del tubo en «U» está el orificio por donde el refrigerante líquido y el aceite entran al tubo. La diferencia de presiones entre la entrada del tubo en «U» y el orificio de medición, además de la presión estática del líquido, permiten que pase el líquido en una cantidad controlada a través del orificio. Dentro del tubo, el gas circula a gran velocidad y arrastra consigo el líquido, en una proporción que no causa daño al compresor.

Cerca de la salida tiene otro orificio, el cual sirve para evitar el efecto sifón del líquido que se va acumulando, sobre todo en los ciclos en que está parado el compresor. El tapón fusible es un requerimiento de UL, y sirve para evitar cualquier posibilidad de explosión a causa de un aumento de temperatura o de un incendio.

En la figura 5.3 se muestra un acumulador de tipo con tubo vertical. Este tipo de acumulador es utilizado por algunos fabricantes de equipo original. Su característica principal es que tiene la caída de presión interna más baja.

La conexión de entrada del refrigerante es lateral y está en un punto por abajo del borde del tubo, para que el líquido que entre al acumulador no caiga directamente a la entrada del tubo. El vapor por ser más ligero, tiende a concentrarse en la parte superior, donde es succionado por el compresor, reduciendo la presión dentro del tubo. La diferencia de presión provoca que el refrigerante líquido y el aceite pasen hacia el interior del tubo, en una proporción controlada, y sean arrastrados por el vapor de refrigerante hacia el compresor.

Cerca del fondo del acumulador se coloca una malla, para evitar que las partículas extrañas lleguen al compresor o que tapen el orificio de medición.

En un acumulador de tubo vertical, si se aumenta su longitud, se reduce su diámetro, aumentando su capacidad de retención.

En una variante del acumulador con tubo vertical, la conexión de entrada queda en el centro de la tapa superior. Para evitar que el líquido se vaya directo al tubo, se coloca un deflector circular. El vapor es succionado por la conexión en la tapa inferior, como se muestra en la figura 5.4. El proceso de medición de líquido hacia el compresor, es igual que en los modelos anteriores.

Este acumulador es, quizás, el más sencillo de fabricarse, pero no siempre se presta a los requerimientos de instalación y espacio en una unidad de condensación. La longitud del acumulador se puede cambiar fácilmente.

Otro tipo de acumulador es el horizontal, como se muestra en la figura 5.5. Este acumulador tiene dos placas deflectoras, para evitar que el refrigerante líquido se vaya directamente a la salida. El refrigerante y el aceite líquidos chocan contra los deflectores y escurren al fondo, el gas por ser más ligero, pasa por los orificios superiores de los deflectores y sigue su paso hacia la salida. Este acumulador tiene un dispositivo de medición en la salida, el cual remueve el aceite y el refrigerante acumulados; estos salen en forma de niebla sólo cuando el compresor está en operación, para evitar que se vaya el líquido al compresor cuando no esté funcionando.

Deberá señalarse de manera general, que ambos tipos de acumuladores, verticales y horizontales, los hay dispo-

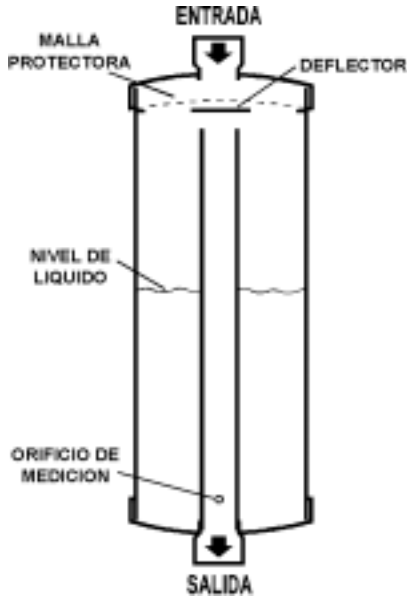


Figura 5.4 - Acumulador de tubo vertical.

nibles con y sin intercambiador de calor. En la figura 5.6 se muestran dos tipos de acumuladores, horizontal y vertical, ambos conteniendo un calentador de serpentín en la línea de líquido.

Cuando se aplique un acumulador con algún tipo de calentamiento, ya sea eléctrico o con intercambiador en la línea de líquido, debe tenerse la siguiente consideración, sobre todo cuando se emplean en sistemas con compresores herméticos o semiherméticos, ya que como sabemos, el motor de estos compresores usa el gas de la succión para su enfriamiento. Al calentar el refrigerante líquido acumulado, el vapor que se desprende está saturado; es decir, no tiene sobrecalentamiento y el compresor recibe su enfriamiento normal. Pero cuando no haya líquido en el acumulador, la aplicación de calor sobrecalentará el gas de la succión y el motor se sobrecalentará. Esto es particularmente delicado en sistemas con R-22.

Por lo anterior, cuando sea posible, deben de evitarse los acumuladores con calentamiento, a menos que hayan sido diseñados exclusivamente para ese sistema. Cuando un sistema no ha sido bien diseñado y todo el tiempo

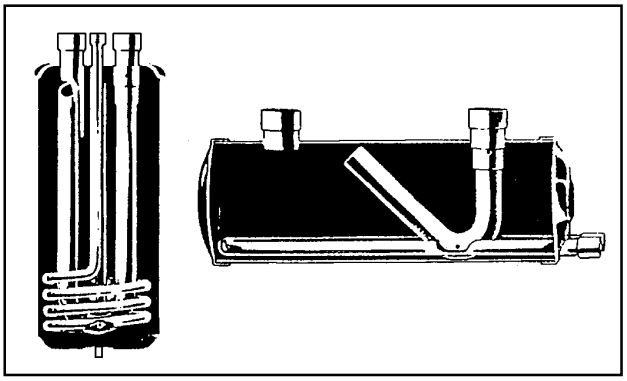


Figura 5.6. - Acumuladores con tubo en "U", vertical y horizontal, con calentador de serpentín en la línea de líquido.

está regresando líquido al compresor, allí sí se justifica la instalación de un acumulador con calentamiento.

Todos los anteriores son los tipos básicos de acumuladores empleados por la mayoría de los fabricantes de equipo. Existen por supuesto, muchas combinaciones de longitud y diámetros, además de algunas variantes internas, que pueden incrementar la capacidad de retención y alterar la proporción de medición de líquido hacia el compresor.

Aplicación

Los acumuladores para la línea de succión se instalan en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, donde existe la posibilidad de un repentino regreso de líquido por la línea de succión.

Estos sistemas pueden ser: bombas de calor, exhibidores de baja temperatura, camiones refrigerados, enfriadores de líquidos (chillers) y cualquier sistema que esté diseñado para operar con un bajo sobrecalentamiento. En estos sistemas, los compresores son extremadamente susceptibles a sufrir daños por el refrigerante líquido.

Un acumulador de succión en cualquiera de los sistemas antes mencionados, asegura una protección máxima a un precio nominal, cuando se compara con el costo de la reparación o reemplazo de un compresor dañado por regreso de líquido.

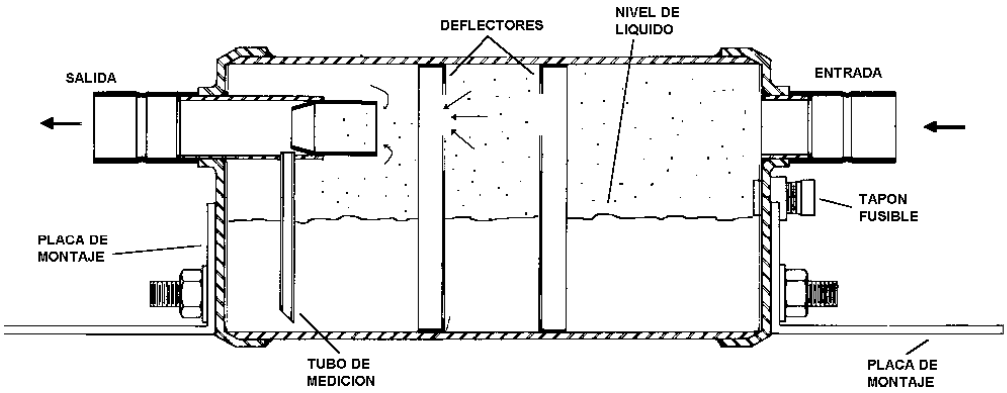


Figura 5.5. - Acumulador tipo horizontal.

Los acumuladores han sido utilizados por décadas, primero en equipo original, y más recientemente, como equipo instalado en el campo. Aunque se han tenido disponibles los datos de aplicación, su significado con respecto al acumulador y al funcionamiento del sistema, nunca se ha aclarado. Los fabricantes se han visto obligados a evaluar cada modelo en términos del sistema en el cual se va a aplicar.

La aplicación en el campo se ha basado primordialmente en seleccionar un modelo, cuyas conexiones sean de la misma medida de la línea de succión, y que el tamaño sea lo suficientemente grande, para retener aproximadamente la mitad de la carga de refrigerante.

Actualmente, no hay una clasificación estándar para los acumuladores. La exactitud de los datos de clasificación, van en función a la clase del equipo que se está empleando, para determinar dicha clasificación.

Selección

La selección de un acumulador para la línea de succión, deberá hacerse sobre la base de los tres puntos siguientes:

1. Para que sea eficaz, el acumulador deberá tener una capacidad de retención adecuada. La retención puede variar entre un sistema y otro; sin embargo, la regla general en la industria es, que no sea menor al 50% de la carga total del sistema. Esto significa que en un sistema de temperatura media de 5 T.R. de capacidad, con R-22, el acumulador deberá tener una capacidad para retener 3 kg de líquido. Este acumulador tendría unas dimensiones de aproximadamente 13 cm (5") de diámetro por 30 cm (12") de alto.

En un sistema de baja temperatura de 7 T.R. de capacidad, con R-502, necesitará un acumulador que sea capaz de retener 6 kg de líquido, sus dimensiones serían de 23 cm (9") de diámetro por 35 cm (13.8") de alto.

El único tamaño de acumulador que puede garantizarse al 100%, es uno que sea lo suficientemente grande para retener la carga completa del sistema.

2. Otra consideración que se requiere tomar en cuenta, es la capacidad del acumulador para funcionar sin provocar una excesiva caída de presión en el sistema. En la tabla de selección del catálogo, las capacidades máximas recomendadas en toneladas, están basadas en una caída de presión equivalente a una caída de temperatura de 0.28°C (0.5°F).

3. Finalmente, un acumulador debe ser capaz de regresar líquido a una proporción adecuada bajo diferentes condiciones de carga. En el catálogo se muestra una tabla con la capacidad mínima recomendada en toneladas, con base en el retorno de aceite a través del acumulador.

Nunca debe seleccionarse un acumulador basándose en el diámetro de la línea de succión. El acumulador no necesariamente debe tener las conexiones del mismo diámetro que la línea de succión del compresor. La mayoría de las tablas de clasificación que los fabricantes publican, contienen la máxima capacidad de retención para R-134a, R-12, R-22 y R-502. Los acumuladores están clasificados en toneladas de refrigeración para cada refrigerante, a varias temperaturas de evaporación que van desde 5°C hasta -40°C, y muestran un valor máximo y mínimo en toneladas.

Seleccionar acumuladores de mayor tamaño no causa ningún daño, mientras que la capacidad mínima en toneladas del sistema, no sea menor a la capacidad mínima a que está clasificado el acumulador.

Instalación

El acumulador de succión deberá instalarse en la línea de succión, tan cerca como se pueda del compresor (mínimo 15 cms), para permitir una acción venturi completa. En sistemas de ciclo reversible, como el de las bombas de calor, el acumulador debe instalarse entre la válvula reversible y el compresor.

En algunos casos, cuando se va a agregar un acumulador a un sistema ya existente, se presenta el problema de la falta de espacio en el gabinete. Esto puede requerir algo de tubería adicional, pero puede instalarse fuera del gabinete.

En otros casos, los compresores instalados en el interior de un edificio presentan otro problema: El acumulador "suda" y el condensado escurre al suelo. La solución es, por supuesto, aislar el acumulador y la tubería relacionada. Pero, aislar el acumulador, puede representar otro problema, a menos que el aislamiento sea fiel y completamente sellado al vapor, para evitar que haya condensación debajo del aislamiento. Esto nos conduce a otra interrogante: ¿Cómo sale del acumulador el líquido atrapado? Si no hay aislamiento, el calor conducido a través de la cápsula evapora algo de líquido. Pero, si el acumulador está aislado, esto puede resultar contraproducente.

Sin embargo, el calor conducido a través de la cápsula es sólo una pequeña cantidad del calor que se requiere para remover el líquido. Si se permite el tiempo suficiente, el agujero pequeño en el fondo del tubo regresará el líquido al compresor, en una proporción que no cause daños, regresando también el aceite junto con el refrigerante.

La mayor parte del líquido se evapora y regresa al compresor, gracias a que la inundación no ocurre todo el tiempo. Tarde o temprano, la válvula de expansión o los sistemas de tubo capilar, retoman el control del flujo de líquido, y el gas sobrecalentado entra al acumulador calentando el líquido. El vapor resultante regresa al compresor. Probablemente, la mayor parte del líquido se evapore por el gas sobrecalentado, regresando de esa manera.

La condensación en el acumulador puede causar una corrosión severa, lo cual ocurre particularmente en las uniones de soldadura hechas en el campo. Esta corrosión puede provocar fugas.

En acumuladores nuevos los fabricantes proporcionan un acabado adecuado, totalmente resistente a la corrosión. Sin embargo, cuando se quema durante el proceso de soldadura, las superficies deberán ser limpiadas mecánicamente hasta llegar al metal, aplicar una base y pintura anticorrosiva.

En algunas ocasiones los acumuladores de succión fugan por las soldaduras de los conectores. Esto es porque algunos fabricantes utilizan conectores de acero. Soldar cobre con acero, requiere conexiones que no estén torcidas. La unión deberá hacerse con soldadura de plata N° 45 ó N° 35, y con mucho cuidado, para evitar que entre fundente al acumulador.

Nota: En estos casos, nunca deberá usarse "soldadura suave" 95-5 ó 50-50.

Después de probar de fugas, las uniones y áreas adyacentes deberán ser limpiadas y pintadas, tal como se mencionó anteriormente.

Los acumuladores de succión se usan virtualmente en todos los sistemas de bombas de calor. El proceso de soldadura es crítico; aún los fabricantes de equipo original, algunas veces tienen problemas de fugas en la soldadura. Algunas veces estas fugas no aparecen en las pruebas de fábrica, sino hasta que ocurre algo de corrosión en el campo.

Puesto que a la mayoría de los técnicos de servicio no portan los sopletes adecuados, ni soldadura de plata, esto presenta un dilema cuando se va a hacer una reparación en el campo con soldadura de fosco, y créalo o no, hay quienes mejor eliminan el acumulador y conectan la línea directa al compresor.

Lo anterior no sucede con los acumuladores de Valycontrol, S.A. de C.V., porque se fabrican con conectores de cobre para facilitar la soldadura a la línea.

Capítulo 6

VALVULAS DE TERMO EXPANSION

Introducción

Debido a su capacidad para controlar el refrigerante y a su adaptabilidad a las muchas y variadas aplicaciones del ciclo de refrigeración, la válvula de expansión termostática ha jugado un papel importante en el continuo progreso de la industria de refrigeración y aire acondicionado y su tecnología.

Como muchos otros componentes del sistema, el desarrollo de la válvula de expansión termostática, ha sido un resultado de la evolución técnica. En los primeros días de la refrigeración mecánica, el control del refrigerante se hacía con una válvula de aguja operada manualmente, la cual se sigue utilizando en la actualidad, sobre todo en sistemas de refrigeración con amoníaco. Mientras que este dispositivo proporcionaba alguna medida de control en aplicaciones donde la carga era constante, no respondía a otras condiciones que afectaban la cantidad de refrigerante que pasa a través de ella, tales como cambios de presión en el líquido causados por variaciones en la presión de descarga del compresor. De conformidad con esto, el uso de la válvula de expansión manual, figura 6.1, requiere supervisión constante donde una carga variable podría producir condiciones de falta de refrigerante en el evaporador, o una excesiva alimentación de líquido.

El subsecuente desarrollo de un medio para superar esta dificultad, produjo lo que se conoció como la válvula de expansión automática. La descripción más precisa de este dispositivo sería: una válvula de control de la presión constante del evaporador, ya que mantenía una presión constante en la salida, a pesar de los cambios en la presión del líquido a la entrada, la carga u otras condiciones, según se muestra en la figura 6.2.

La válvula de expansión automática fue un decidido progreso sobre la válvula de expansión manual. Mantenía la temperatura más constante y controlaba mejor la escarcha en la línea del evaporador. También, cerraba la línea de líquido cuando paraba el compresor, y evitaba el flujo excesivo al arrancar el mismo. Sin embargo, este disposi-

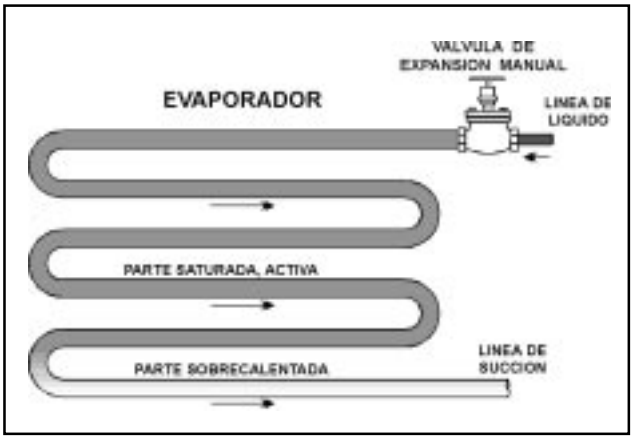


Figura 6.1 - Evaporador con válvula de expansión manual.

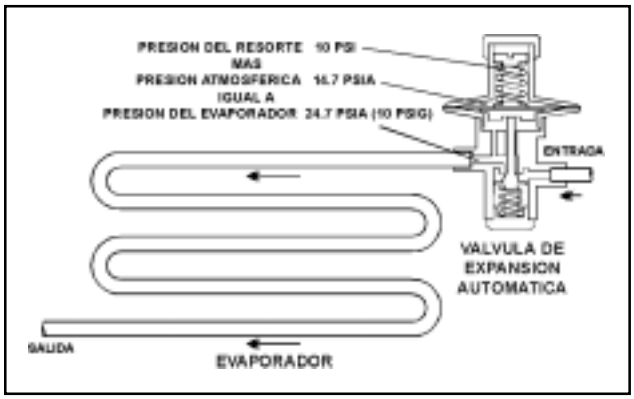


Figura 6.2 - Evaporador con válvula de expansión automática.

tivo también tenía sus desventajas y limitaciones. Tendía a sobrealimentar refrigerante al evaporador cuando la carga térmica era baja, o a no alimentar suficiente cuando la carga térmica era alta. Por lo tanto, la disminución de la temperatura era lenta; ya que no se aprovechaba el área completa del evaporador ni su capacidad, al arrancar el ciclo de refrigeración.

A fines de la década de los 20's, se desarrolló un dispositivo que superaba las limitaciones que tenían los otros dos tipos de válvulas de expansión, la manual y la automática. A este dispositivo se le llamó válvula de expansión termostática. Originalmente, el propósito era que controlara el flujo de refrigerante líquido hacia el evaporador, de tal manera que lo mantuviera todo el tiempo activo; es decir, que el evaporador estuviera todo el tiempo lleno de refrigerante líquido para aprovechar al máximo la extracción de calor latente, aún con las variaciones de la carga térmica, y también, que cuando el compresor parara, se cerrara la válvula.

Obviamente, si el evaporador está todo el tiempo lleno de líquido, no se tendría vapor sobrecalentado y ese líquido estaría regresando al compresor. En la actualidad sabemos que esto no es conveniente, y que a la salida del evaporador, el refrigerante debe de estar en forma de vapor y a una temperatura mayor que la de saturación. Esta es una de las funciones de la válvula de expansión termostática, mantener un sobrecalentamiento constante a la salida del evaporador.

Definición

La válvula de expansión termostática o válvula de termo-expansión, es un dispositivo de medición diseñado para regular el flujo de refrigerante líquido hacia el evaporador, en la misma proporción en que el refrigerante líquido dentro del evaporador se va evaporando. Esto lo logra manteniendo un sobrecalentamiento predeterminado a la salida del evaporador (línea de succión), lo que asegura que todo el refrigerante líquido se evapore dentro del evaporador, y que solamente regrese al compresor refrigerante en estado gaseoso. La cantidad de gas refrigerante que sale del evaporador puede regularse, puesto que la termo válvula responde a:

1. La temperatura del gas que sale del evaporador y,
2. La presión del evaporador.

En conclusión, las principales funciones de una válvula de termo expansión son: reducir la presión y la temperatura del líquido refrigerante, alimentar líquido a baja presión hacia el evaporador, según la demanda de la carga, y mantener un sobrecalentamiento constante a la salida del evaporador.

Debido a que en el nombre dado a este dispositivo se incluye la palabra «termo», se tiene la falsa idea de que se utiliza para controlar directamente la temperatura, y muchos técnicos intentan erróneamente controlar la temperatura del refrigerador, moviendo el ajuste de la válvula.

El propósito de este capítulo es informar al lector sobre lo más importante relacionado con estos dispositivos: el principio del sobrecalentamiento - que es una de las funciones de la válvula de termo expansión, así como la teoría de operación, selección y aplicación adecuadas de estos dispositivos. Antes de estudiar en detalle las válvulas de termo expansión, es conveniente recordar algunos conceptos de refrigeración que están asociados con su funcionamiento:

Línea de Succión. Es el tramo de tubería que une al evaporador con el compresor y por donde circula el vapor sobrecalentado o «Gas de Succión».

Línea de Liquido. Es el tramo de tubería que une al Condensador con la VTE, y en el cual circula refrigerante líquido a alta presión.

Temperatura de Saturación. Es la temperatura a la que se evapora el refrigerante dentro del evaporador. También se le conoce como temperatura de evaporación; en ese punto, el vapor y el líquido tienen la misma temperatura.

Calor Latente de Evaporación. Es el calor recogido por el refrigerante al pasar de líquido a vapor. No hay aumento en la temperatura.

Calor Sensible. Es el calor utilizado por el refrigerante para aumentar su temperatura, ya sea que esté en fase líquida o de vapor; es decir, por abajo o arriba de su temperatura de saturación. Cuando está en forma de vapor, este calor le ocasiona el sobrecalentamiento al refrigerante.

Evaporación Completa. Es el punto dentro del evaporador en el que el refrigerante líquido se convierte a vapor. Este punto lo determina la cantidad de líquido que entra al evaporador. Después de este punto, el calor que recoge el vapor es calor sensible y es sobrecalentado.

Relaciones entre Temperatura y Presión

Para entender mejor el funcionamiento de una válvula de termo expansión, es fundamental entender lo que es el sobrecalentamiento, y para entender este último, se deben conocer las relaciones entre la presión y la temperatura para cualquier fluido.

Cuando aplicamos calor a una sustancia y la presión permanece constante, la sustancia sufrirá algunos cambios, tales como variaciones en su temperatura o cambios de estado. En la figura 6.3, se muestran los cambios que ocurren cuando se le aplica calor a un kilogramo de agua que se encuentra originalmente a 0 °C y a la presión atmosférica:

1. La línea A-B representa el calor sensible, necesario para elevar la temperatura del líquido desde 0 °C (punto de congelación), hasta 100°C (punto de ebullición). Se requiere un total de 100 kilocalorías.
2. A partir de este punto ("B"), si se sigue agregando continuamente calor, la temperatura del agua no cambia, permanece en 100°C, lo que cambia es su estado pasando de líquido a vapor. Esta condición continúa

hasta que se evapora la última gota de agua (punto "C"). El vapor producido durante la ebullición, tiene la misma temperatura que el líquido y se le conoce como vapor saturado. El calor total requerido para evaporar un kilogramo de agua es de 536 kilocalorías, y se conoce como calor latente de evaporación.

3. Si todo el vapor producido por el kilogramo de agua se sigue calentando, se elevará su temperatura arriba de 100°C. Este calor se llama sensible. La temperatura arriba de 100°C es el sobrecalentamiento y también se mide en grados. En el punto "D" de la figura, se muestra claramente que el vapor a 110°C y presión atmosférica es vapor que ha sido sobrecalentado 10°C.

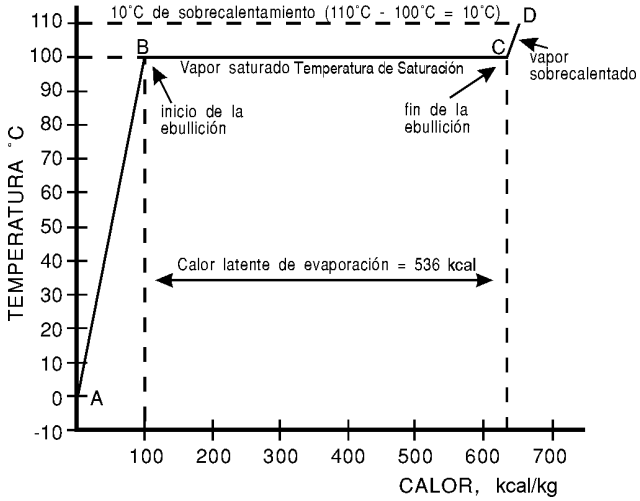


Figura 6.3 - Efecto del calor sobre el agua a la presión atmosférica.

Principios del Sobrecalentamiento

Para cualquier otro fluido diferente al agua, el comportamiento es similar, sólo que los cambios se llevan a cabo en un rango de temperaturas distinto. En la figura 6.4, se muestran los cambios que se llevan a cabo cuando se aplica calor al refrigerante 12. Como ya sabemos, la temperatura de ebullición del R-12, a la presión atmosférica, es de -30 °C. De manera similar que al agua, cuando todo el líquido se ha evaporado, cualquier cantidad de calor adicional, aumentará la temperatura del vapor por arriba de la de saturación, sobrecalentándolo.

Como podemos ver en la figura 6.4, para aumentar la temperatura de un kilogramo de R-12 líquido desde -40 °C hasta -30 °C, su temperatura de ebullición, se requieren aproximadamente 3.9 kilocalorías. Para evaporar todo el kilogramo de R-12 se requerirán 39.4 kilocalorías más, lo que sería el calor latente de evaporación. Si el vapor formado se sigue calentando, el calor agregado sería calor sensible y sólo serviría para sobrecalentar el vapor. Así, si se eleva la temperatura del vapor hasta -25 °C, tendrá un sobrecalentamiento de (-30)-(-25), es decir, 5 °C.

En conclusión, el sobrecalentamiento no es solamente una temperatura, es una diferencia de temperaturas. Su

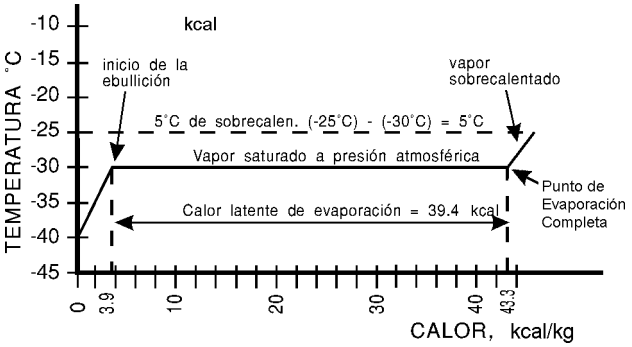


Figura 6.4 - Refrigerante 12 a la presión atmosférica.

valor es igual a los grados de temperatura que el vapor tiene por arriba de la temperatura de saturación.

En la práctica real, los refrigerantes no se trabajan a la presión atmosférica, por lo que el ejemplo anterior, es solamente para ilustrar el principio del sobrecalentamiento. También hay que recordar que las relaciones entre la presión y la temperatura para un líquido, son directamente proporcionales; es decir, al aumentar la presión aumenta la temperatura y viceversa. Cuando a un líquido se le reduce su presión, disminuye su punto de ebullición, y para evaporarlo, se requiere más calor. Por el contrario, cuando se aumenta la presión sobre el líquido, aumenta su temperatura de ebullición. En cada uno de estos puntos, tanto el líquido como el vapor, están en una condición de saturación.

Si estas relaciones de presión-temperatura se grafican, al unir los puntos se obtienen las curvas de saturación. En la gráfica de la figura 6.5, se muestran las temperaturas de ebullición del R-22 a diferentes presiones. El eje horizontal representa la temperatura en °C, y el eje vertical representa la presión tanto en psig y pulgadas de mercurio, como en kiloPascales (kPa). Nótese cómo cambia la temperatura de saturación cuando cambia la presión; al aumentar la presión, se requiere mayor temperatura para hervir el

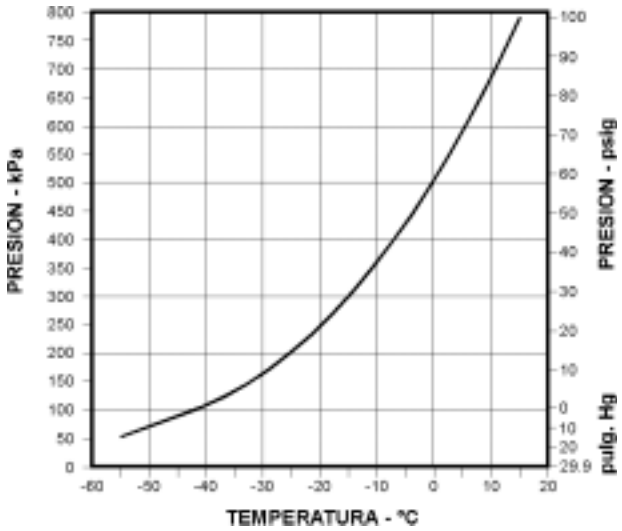


Figura 6.5 - Puntos de ebullición del R-22 a varias presiones.

refrigerante. Por ejemplo, a una presión de 600 kPa (72.3 psig) el R-22 hierve a 6 °C, y a una presión de 200 kPa (14.3 psig) hierve a -25 °C.

Puesto que cada refrigerante tiene sus propias características de presión-temperatura, al graficarlas se obtendrán curvas diferentes.

Efectos del Sobrecalentamiento en un Sistema de Refrigeración Simple

Una vez definido el principio básico del sobrecalentamiento, lo que sigue a continuación es aplicarlo a un sistema de refrigeración simple, consistente de un compresor, un condensador, un tanque recibidor, un evaporador de expansión directa y el más simple de los dispositivos de control: una válvula de expansión manual.

Para explicar el funcionamiento de la válvula de expansión, utilizaremos un sistema de refrigeración con R-134a. Si al inicio de la operación se abre ligeramente la válvula de expansión manual, alimentará al evaporador una pequeña cantidad de refrigerante líquido a baja presión y a baja temperatura, como se muestra en la figura 6.6. Como la temperatura del aire que pasa a través del serpentín, es más alta que la del refrigerante, este calor causará que primero se caliente y luego se evapore. Como es poco el líquido que está entrando al evaporador, rápidamente se evaporará todo muy cerca de la entrada (punto A). Si la presión dentro del evaporador es de 18 psig (225 kPa), la temperatura de ebullición (saturación) correspondiente a esta presión será de -7 °C.

Una vez en forma de vapor, el refrigerante seguirá su recorrido por el evaporador recogiendo calor sensible, el cual le aumentará su temperatura y lo sobrecalentará. En el punto B, se supone que su temperatura es de -1 °C por lo tanto, su sobrecalentamiento es de 6 °C. A la salida del evaporador (punto C), la temperatura del gas de succión es de 10 °C, por lo que el sobrecalentamiento será la diferencia entre esta temperatura y la de saturación, correspondiente a 18 psig; es decir, 10-(-7)=17 °C.

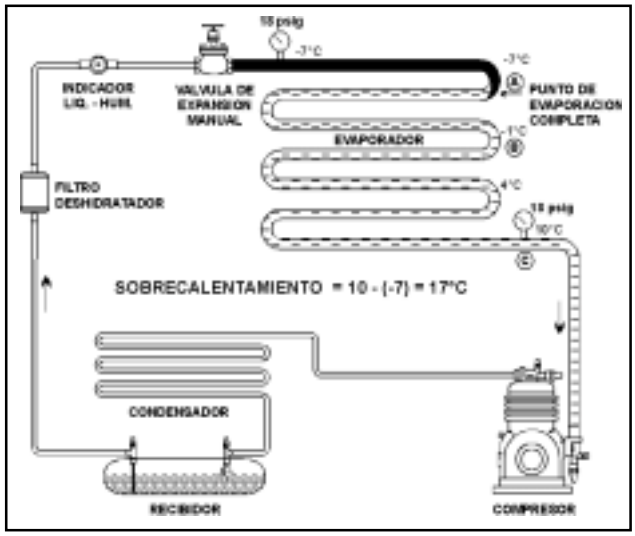


Figura 6.6 - Sistema de refrigeración con alto sobrecalentamiento.

Hasta aquí, se pueden observar dos cosas: el sobrecalentamiento es muy alto, ya que para un sistema de este tipo lo normal sería de 5 ó 6 °C. Por otro lado, no se está aprovechando al máximo la superficie del evaporador para recoger calor latente, debido a que el refrigerante se evapora casi en la entrada y recorre la mayor parte en forma de vapor, recogiendo calor sensible. Por lo tanto, es necesario alimentar una mayor cantidad de líquido.

Para esto, es necesario abrir un poco más la válvula de expansión manual. Al entrar más líquido al evaporador, aumentará la presión de succión de 18 a 21 psig, ya que aumenta la carga en el compresor, y por lo tanto, aumenta la temperatura de saturación como se muestra en la figura 6.7. Si el aumento del flujo de líquido es tal, que se evapora todo en el punto B, el vapor formado recorre menos distancia dentro del evaporador y su sobrecalentamiento será menor. Si la temperatura del gas de succión en el punto C es de 5 °C, el sobrecalentamiento será de (5)-(-5)=10 °C, el cual todavía es alto.

Si nuevamente abrimos la válvula de expansión manual, pero esta vez lo suficiente para que el evaporador se llene

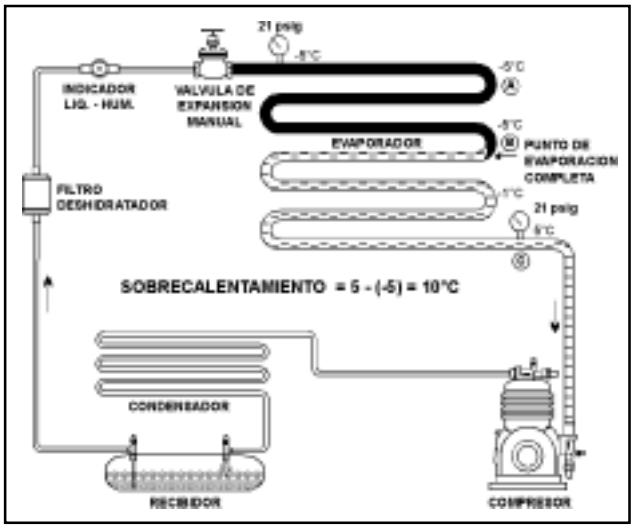


Figura 6.7 - Aumentar el flujo reduce el sobrecalentamiento.

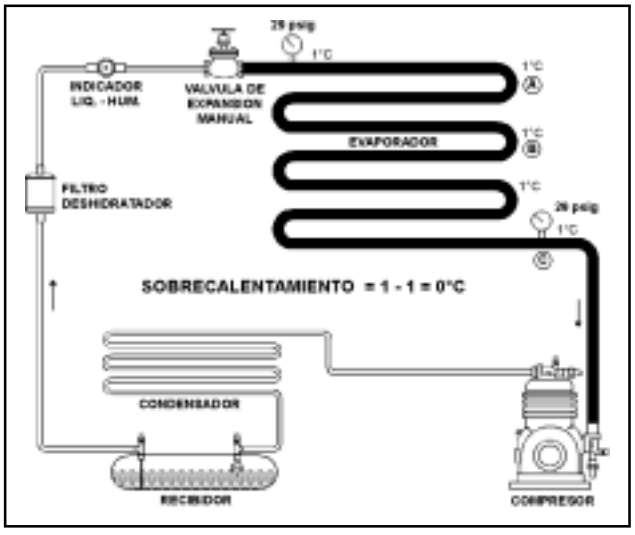


Figura 6.8 - Demasiado flujo provoca regreso de líquido al compresor.

de líquido, como se muestra en la figura 6.8, se presentarán las siguientes condiciones: aumentan la presión y la temperatura, se reduce la capacidad del compresor, se desperdicia refrigerante y no hay sobrecalentamiento, ya que el refrigerante sale a la misma temperatura que entra. Pero lo más preocupante es la probabilidad de un daño al compresor, a causa del regreso de refrigerante líquido.

Por todo lo anterior, se concluye que la condición más adecuada a que debe funcionar un evaporador, es que se evapore totalmente el refrigerante un poco antes de salir de éste. De esta manera, se aprovechará al máximo la superficie de transmisión de calor latente, y se asegurará que al compresor le llegue únicamente vapor sobrecalentado. En la figura 6.9 se muestra esta condición, donde se puede apreciar que el sobrecalentamiento es de 5 °C, lo cual es un valor aceptable.

Antiguamente, cuando la válvula de expansión manual era el único dispositivo de control disponible, era muy complicado y tedioso mantener esta condición en el evaporador, debido a las variaciones en la carga térmica. Un operador debía estar casi permanentemente abriendo o cerrando la válvula para mantener el sobrecalentamiento adecuado. En la actualidad, con la válvula de termo expansión se puede lograr una condición muy aproximada a la ideal, ya que regula de manera automática la alimentación de refrigerante al evaporador, manteniendo un sobrecalentamiento casi constante en la salida.

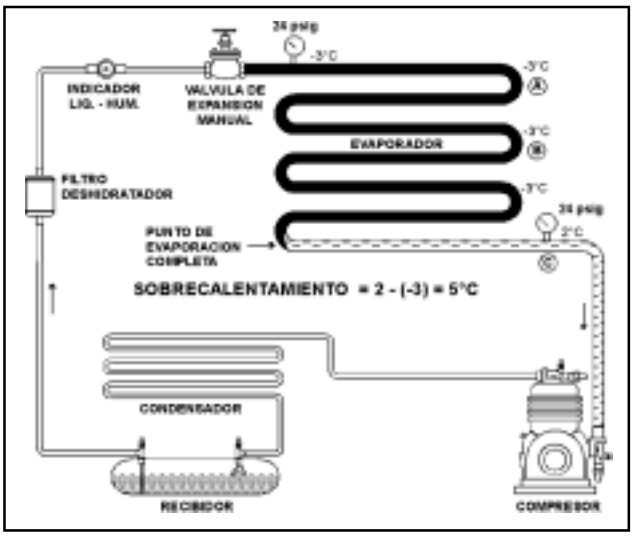


Figura 6.9 - Un flujo adecuado dá un sobrecalentamiento correcto.

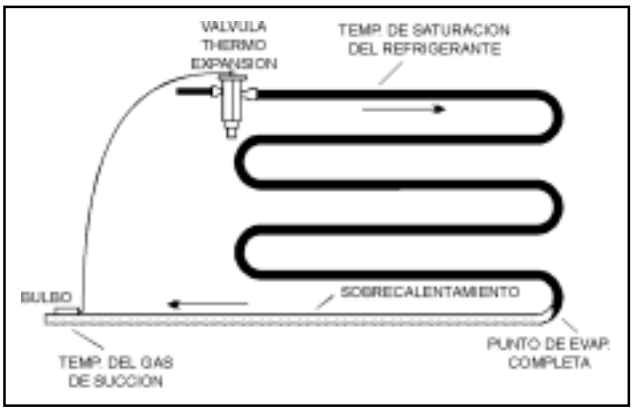


Figura 6.10 - Válvula de termo expansión instalada a la entrada del evaporador.

Como se muestra en la figura 6.10, para que la VTE funcione adecuadamente, el bulbo sensor deberá instalarse en una posición correcta en la línea de succión, a la salida del evaporador.

Partes Principales

Las partes principales de una válvula de termo expansión son: el bulbo remoto, el diafragma, las varillas de empuje, el asiento, la aguja, el resorte, la guía del resorte y el vástago de ajuste. La figura 6.11, es un dibujo de corte transversal de una VTE típica, mostrando la ubicación de estas partes principales. El vástago de ajuste sirve para variar la presión del resorte. Si se gira en el sentido del reloj, aumenta la tensión del resorte, y por lo tanto, su presión; si se gira en el sentido contrario, disminuye la presión del resorte.

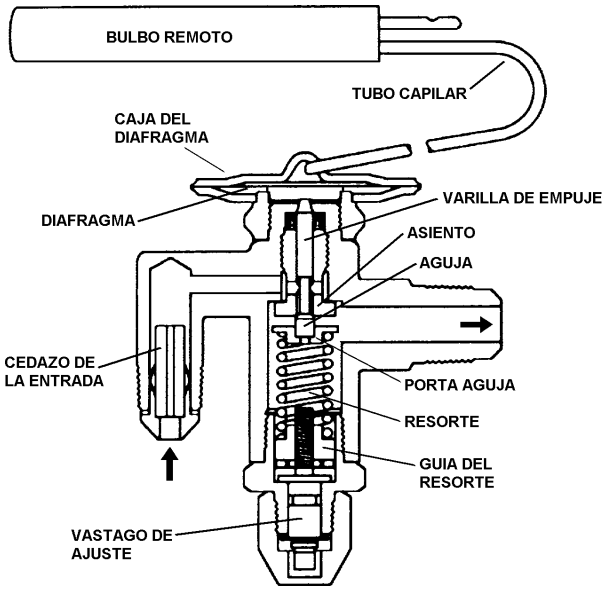


Figura 6.11 - Corte de una válvula de termo expansión típica y sus partes principales.

Principios de Operación

Observando detenidamente la figura 6.10, se puede ver que el bulbo remoto está conectado a la parte superior de la VTE mediante un tubo capilar. El bulbo se ubica en la línea de succión, justo a la salida del evaporador. El bulbo y el capilar contienen un fluido (carga) que puede ser líquido o gaseoso, el cual «siente» la temperatura del gas de succión que pasa por este punto. En esta posición, el bulbo y el fluido dentro de éste, tienen aproximadamente la misma temperatura del gas de succión. Los cambios de temperatura causan que aumente o disminuya la presión del fluido dentro del bulbo.

Observando ahora la figura 6.11, la presión del bulbo es ejercida sobre la parte superior del diafragma; éste a su vez, transmite ese movimiento a la parte superior del porta aguja mediante las varillas de empuje. Por otro lado, un resorte ejerce una fuerza en la parte inferior del porta aguja, la cual se opone a la del bulbo.

Una vez en operación, el funcionamiento de la VTE es de la siguiente manera: cuando aumenta la presión del bulbo, el diafragma es empujado hacia abajo, las varillas de empuje «empujan» el porta aguja, vencen la fuerza del resorte y alejan la aguja del asiento, abriendo de esta manera la válvula y permitiendo el paso de líquido hacia el evaporador. Cuando disminuye la presión del bulbo, la fuerza del resorte es mayor que la del bulbo y empuja el porta aguja acercando la aguja al asiento, con lo cual se cierra la válvula y disminuye el flujo de líquido hacia el evaporador.

Por lo anterior, pudiera deducirse que en la operación de una válvula de termo expansión actúan dos presiones: la del bulbo oponiéndose a la del resorte. En realidad, en la operación de una válvula de termo expansión intervienen tres presiones fundamentales: la presión del bulbo, la presión del resorte y la presión del EVAPORADOR. En la figura 6.12, se ilustra cómo actúan estas tres presiones fundamentales. La presión del bulbo actúa en la parte superior del diafragma y tiende a abrir la válvula, la presión del resorte y la del evaporador actúan en la parte inferior del diafragma y tienden a cerrar la válvula. Para que haya un equilibrio entre estas tres presiones, la presión del bulbo debe ser igual a la suma de las presiones del evaporador y del resorte.

Como se mencionó arriba, la carga del bulbo está a la misma temperatura que el gas de succión, y si el gas de succión está sobrecalentado, entonces la temperatura de la carga es mayor que la de saturación; es decir, la temperatura de la carga del bulbo es la suma de la temperatura de saturación más la del sobrecalentamiento. De esta manera, la presión del bulbo (P1) es mayor que la del evaporador (P2). Si el sobrecalentamiento es lo suficientemente alto, la presión del bulbo superará a la del resorte (P3) y abrirá la válvula.

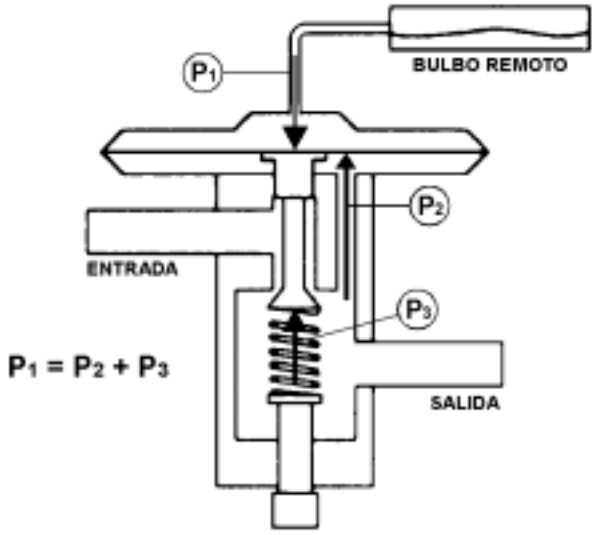


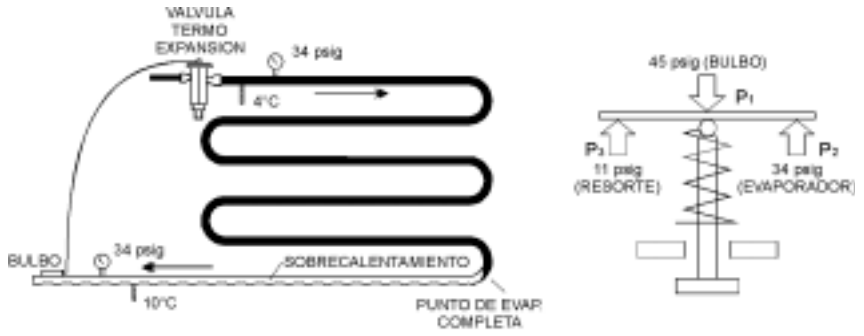
Figura 6.12 - Las tres presiones fundamentales en una válvula de termo expansión.

Aquí podemos ver que la presión de saturación aparece tanto sobre el diafragma (en la presión del bulbo), como debajo de éste (presión del evaporador). Y, puesto que estas presiones se oponen una contra otra y son equivalentes, se cancelan. Por lo tanto, es evidente que los dos factores que actúan para regular la válvula de termo expansión, son la presión del resorte y el sobrecalentamiento. Estos dos factores que se oponen, mantienen un delicado balance de presiones en ambos lados del diafragma, permitiendo que la válvula opere con cargas ligeras, al igual que con cargas pesadas en el evaporador. En la práctica, la válvula de termo expansión es, en efecto, un regulador del sobrecalentamiento.

Es muy frecuente oír decir a los técnicos «abrí» o «cerré» la válvula de expansión, refiriéndose a que movieron el vástago de ajuste. Como ya se mencionó, al girar el vástago en el sentido del reloj aumenta la presión del resorte, venciendo a la del bulbo y la válvula tiende a cerrar; por lo que se requiere más sobrecalentamiento para aumentar la presión del bulbo y contrarrestar la del resorte, para que de ésta manera abra la válvula. Inversamente, cuando se gira el vástago en el sentido contrario del reloj, disminuye la presión del resorte, siendo superada por la del bulbo y la válvula tiende a abrir, y para que cierre, se requiere que disminuya el sobrecalentamiento.

Cuando aumenta la carga térmica en el evaporador, el refrigerante alimentado por la válvula no es suficiente y se sobrecalienta, esto aumenta la presión del bulbo y hace que la válvula abra más, permitiendo que pase más líquido. Por el contrario, si la carga térmica en el evaporador disminuye, el refrigerante que está alimentando la válvula no se alcanza a evaporar y disminuye su sobrecalentamiento; esto hace que reduzca la presión del bulbo, se cierre la válvula y se reduzca el flujo de líquido. Es importante mencionar que al variar la carga térmica del evaporador, también varía la presión dentro del mismo. Si aumenta la carga, disminuye la presión, y si disminuye la carga, se reduce la presión.

En la figura 6.13, se muestra un ejemplo muy representativo de las condiciones de un sistema con R-134a. El resorte de la válvula de termo expansión ha sido ajustado de fábrica a una presión de 11 psig (libras por pulgada cuadrada manométricas) y la presión del evaporador es de 34 psig. La suma de estas dos presiones ejercen una fuerza de 45 psig, la cual tiende a cerrar la válvula. Si el bulbo está cargado con el mismo refrigerante del sistema, para que las presiones en ambos lados del diafragma se equilibren, se requerirá una presión de 45 psig en el bulbo. Para que el bulbo tenga una presión de 45 psig, debe de estar a una temperatura de 10 °C, si la temperatura de saturación del refrigerante en el evaporador es de 4 °C, es necesario tener un sobrecalentamiento de 6 °C. Las temperaturas y presiones de saturación correspondientes se pueden consultar en la tabla 12.9 del capítulo de refrigerantes.



Presión necesaria para cerrar (34 + 11) ..... = 45 psig
Presión necesaria para abrir ..... = 45 psig
Temp. del bulbo equivalente a 45 psig ..... = 10°C
Temp. de saturación equivalente a la presión a la salida del evap. ..... = 4°C
Sobrecalentamiento (temp. del bulbo - temp. de saturación) ..... = 6°C

Figura 6.13 - Presiones y temperaturas típicas en un sistema con R-134a.

Al arrancar el compresor después de un período prolongado de estar parado, disminuye rápidamente la presión del evaporador y la presión del bulbo es mayor que la del resorte, la válvula abre y permite el paso de refrigerante líquido al evaporador. Si todo este líquido se evapora y se sobrecalienta antes de salir del evaporador, esto aumenta la presión del bulbo y hace que la válvula se mantenga abierta. El equipo seguirá enfriando hasta que la temperatura del espacio refrigerado baje lo suficiente, disminuyendo la carga térmica y haciendo que el refrigerante líquido dentro del evaporador no alcance a evaporarse y llegue líquido hasta el punto donde se encuentra ubicado el bulbo. Al no haber sobrecalentamiento, la presión del bulbo disminuye y el resorte cierra la válvula parcial o totalmente. Así permanecerá hasta que aumente el sobrecalentamiento de nuevo y la presión del bulbo abra la válvula, aumentando el flujo de refrigerante líquido hacia el evaporador.

Caída de Presión a Través del Evaporador

Para simplificar la explicación de los principios de operación de las válvulas de termo expansión, hasta ahora hemos supuesto que no hay caída de presión a través del evaporador; es decir, que la presión de evaporación es constante y que es igual a la entrada y a la salida del evaporador. Sin embargo, con evaporadores grandes en la operación real, existe una caída de presión a través de éstos, siendo un factor que debe considerarse, ya que es una de las presiones que actúan por debajo del diafragma.

Cuando el evaporador del sistema es pequeño, la caída de presión es nula o mínima, por lo que es ignorada. En esta situación, la presión que se utiliza para que actúe por debajo del diafragma es la de la entrada, puesto que es la misma que la de la salida. En evaporadores grandes sí existe caída de presión. Esta caída de presión es medible y puede ser causada por varios factores, tales como el diámetro y longitud de los tubos, el número de vueltas, restricciones en los retornos, el número de circuitos, algunos tipos de distribuidores de refrigerante, la cantidad de flujo de refrigerante, la fricción, etc. Cuando la caída de presión alcanza proporciones problemáticas, la presión que se debe de aplicar por debajo del diafragma, es la más baja; es decir, la de la salida del evaporador.

Igualador Interno

Como ya se mencionó, en sistemas pequeños donde no se considera caída de presión a través del evaporador, la presión del evaporador que se usa para que actúe debajo del diafragma es la de la entrada. Para esto, las válvulas empleadas, tienen maquinado un conducto interno que comunica el lado de baja presión de la válvula con la parte inferior del diafragma. A este conducto se le conoce como «igualador interno». En la figura 6.14 se muestra un dibujo de una válvula con igualador interno. En algunos tipos de válvulas, la presión del evaporador también se aplica bajo el diafragma, a través de los conductos de las varillas de empuje, además del igualador interno.

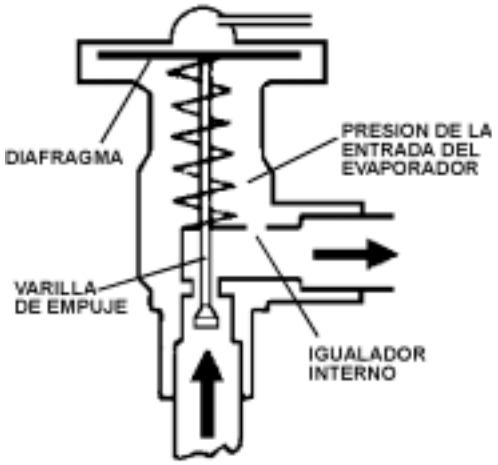


Figura 6.14 - Válvula con igualador interno.

Igualado Externo

Tal como se mencionó antes, cuando existe caída de presión a través del evaporador, la presión que debe actuar bajo el diafragma es la de la salida del evaporador; por lo que una válvula con igualador interno no operaría satisfactoriamente, como se explicará más adelante. Las válvulas que se utilizan en estos casos, son válvulas con «igualador externo». Como se puede apreciar en la figura 6.15, en este tipo de válvulas el igualador no comunica al diafragma con la entrada del evaporador, sino que este conducto se saca del cuerpo de la válvula mediante una conexión, la cual generalmente es de ¼" flare. Además, es necesario colocar empaques alrededor de las varillas de

empuje, para aislar completamente la parte inferior del diafragma de la presión a la entrada del evaporador. Una vez instalada la válvula, esta conexión se comunica a la línea de succión mediante un tubo capilar, para que la presión que actúe debajo del diafragma, sea la de la salida del evaporador.

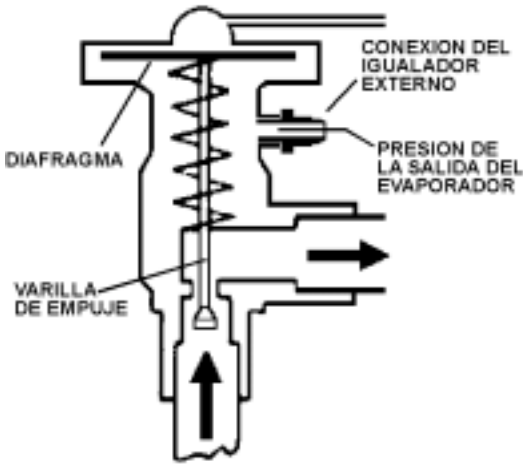


Figura 6.15 - Válvula de termo expansión con igualador externo.

Una caída de presión se traduce en una caída de temperatura. Si la caída de presión provoca en el evaporador una caída de temperatura mayor de 2 °C en el rango de aire acondicionado, de 1 °C en temperatura media y de 0.5 °C en baja temperatura, cuando se está utilizando una válvula con igualador interno, esto mantendrá a la válvula en una posición restringida, reduciendo la capacidad del sistema. En estos casos se debe de utilizar una válvula con igualador externo.

El evaporador deberá estar diseñado o seleccionado conforme a las condiciones de operación; la válvula de termo expansión debe ser seleccionada y aplicada de acuerdo a lo que se ha visto.

Para explicar lo anterior, veamos qué sucede realmente en un evaporador alimentado por una válvula de termo expansión con igualador interno, donde existe una caída de presión medible de 10 psig, como se muestra en la figura 6.16. La presión en el punto "C" es 33 psig o sea, 10 psi menos que en la salida de la válvula, punto "A"; sin embargo, la presión de 43 psig en el punto "A" es la presión que está actuando en la parte inferior del diafragma en la dirección de cierre. Con el resorte de la válvula ajustado a una compresión equivalente a un sobrecalentamiento de 6°C o a una presión de 10 psig, la presión requerida arriba del diafragma para igualar las fuerzas es de (43 + 10) ó 53 psig. Esta presión corresponde a una temperatura de saturación de -2°C. Es evidente que la temperatura del refrigerante en el punto "C" debe ser -2°C, si es que la válvula ha de estar en equilibrio. Puesto que la presión en este punto es de sólo 33 psig y la temperatura de saturación correspondiente es de -12°C, se requiere un sobrecalentamiento de (-2) - (-12) o sea, de 10°C para abrir la

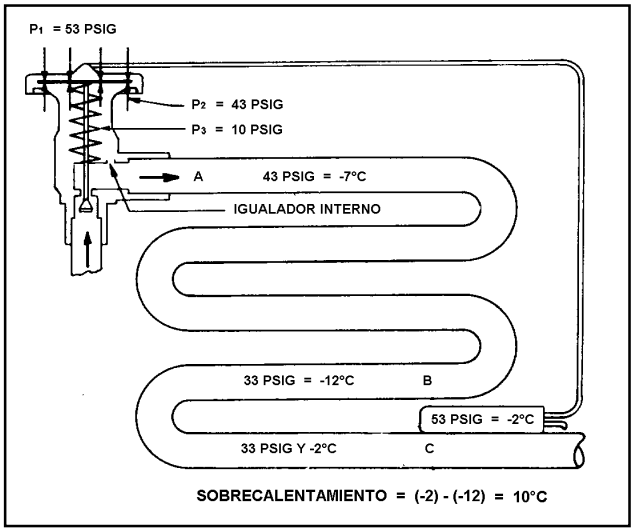


Figura 6.16 - Válvula de termo expansión con ingualador interno en un evaporador con una caída de presión de 10 psi. R-22.

válvula. Este alto sobrecalentamiento de 10°C requerido para abrir la válvula, hace necesario utilizar más superficie del evaporador para producir este gas refrigerante sobrecalentado. Por lo tanto, se reduce la cantidad de superficie del evaporador, disponible para la absorción de calor latente de evaporación del refrigerante; produciéndose una insuficiencia de refrigerante, antes de alcanzar el sobrecalentamiento requerido.

Puesto que la caída de presión a través del evaporador, la cual causó esta condición de sobrecalentamiento elevado, aumenta con la carga debido a la fricción, este efecto de "restricción" o "insuficiencia" aumenta cuando la demanda sobre la capacidad de la termo válvula es mayor.

Usos del Igualador Externo

A fin de compensar una caída de presión excesiva a través del evaporador, la válvula de termo expansión tiene que ser del tipo con igualador externo, con la línea del igualador conectada ya sea en el evaporador en un punto más allá de la mayor caída de presión, o en la línea de succión, junto al bulbo remoto del lado del compresor. En general, y como un método práctico, la línea del igualador deberá conectarse a la línea de succión a la salida del evaporador. Si se usa una válvula de termo expansión del tipo con igualador externo, con la línea del igualador conectada a la línea de succión, se ejercerá la verdadera presión de la salida del evaporador debajo del diafragma de la termo válvula. Las presiones de operación sobre el diafragma de la válvula, ahora están libres de cualquier efecto de caída de presión a través del evaporador, y la termo válvula responderá al sobrecalentamiento del gas refrigerante que sale del evaporador.

Cuando existen las mismas condiciones de caída de presión en un sistema con una válvula de termo expansión, la cual tiene la característica de igualador externo (ver figura 6.17), existe la misma caída de presión a través del

evaporador; sin embargo, la presión abajo del diafragma es ahora la misma que a la salida del evaporador, punto "C", es decir, 33 psig. La presión requerida arriba del diafragma para el equilibrio es de 33 + 10, o sea 43 psig. Esta presión de 43 psig, corresponde a una temperatura de saturación de -7°C y el sobrecalentamiento requerido ahora es de (-7) - (-12) = 5°. El uso de un igualador externo ha reducido el sobrecalentamiento de 10° a 5°. Por lo tanto, la capacidad de un sistema con un evaporador que presenta una caída de presión considerable, se incrementará mediante el uso de una válvula de termo expansión con igualador externo, en comparación con el uso de una válvula igualada internamente.

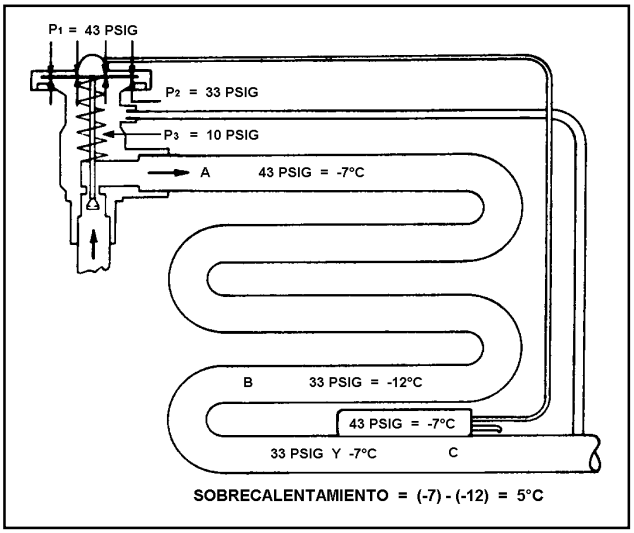


Figura 6.17 - Válvula de termo expansión con igualador externo en un evaporador con una caída de presión de 10 psi con R-22.

Cuando la caída de presión a través de un evaporador excede los límites previamente definidos, o cuando se utiliza un distribuidor de refrigerante a la entrada del evaporador, la válvula de termo expansión deberá tener la característica con igualador externo, para un mejor desempeño.

Hasta este momento, los diagramas utilizados en esta sección han mostrado la válvula de termo expansión del tipo de una sola salida. Aunque un evaporador de circuitos múltiples en sí, puede no tener una caída de presión excesiva, el dispositivo usado para obtener la distribución del líquido, introducirá una caída de presión que limitará la acción de la termo válvula sin igualador externo, porque el distribuidor está instalado entre la salida de la válvula y la entrada del evaporador, figura 6.18.

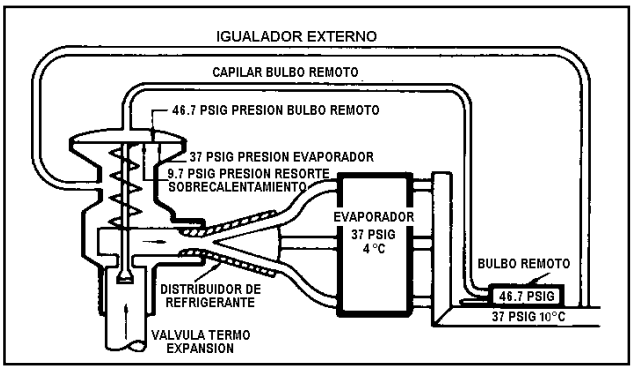


Figura 6.18 - Válvula de termo expansión con distribuidor de refrigerante usado con R-12.

Aplicación del Igualador Externo

La temperatura del evaporador y el refrigerante utilizado determinan el nivel de caída de presión, con el que una válvula con igualador interno puede funcionar sin problemas. Debido a que existe un desacuerdo general sobre este punto, las siguientes recomendaciones pueden usarse como una guía:

1. Se requiere una válvula de termo expansión con igualador externo, cuando un evaporador está sujeto a una caída de presión mayor de 3 psi en aplicaciones de alta temperatura, 2 psi en aplicaciones de temperatura media y 1 psi en aplicaciones de baja temperatura.

2. Cuando se use un distribuidor de refrigerante, siempre utilice una válvula con igualador externo . Dependiendo de la marca, tamaño y número de salidas, la caída de presión a través del distribuidor sólo puede estar en el rango de 5 a 30 psi.

3. En general, se debe instalar una válvula con igualador externo, cuando la caída de presión entre la entrada del evaporador y la línea de succión, donde está ubicado el bulbo, exceda los valores máximos mostrados en la tabla 6.19. En esta tabla, se puede observar que al disminuir la temperatura de evaporación, también disminuye la máxima caída de presión que se tolera entre la salida de la válvula y la ubicación del bulbo, sin una pérdida de capacidad seria para la válvula con igualador interno. Por supuesto que existen aplicaciones que empleen satisfactoriamente el igualador interno cuando haya presente una caída de presión alta, pero esto tendría que ser verificado por pruebas de laboratorio. Los requerimientos generales para la mayoría de los sistemas instalados en el campo se, cubren adecuadamente con las recomendaciones de la tabla 6.19.

Refrigerante	Temp. de Evaporación - °C				
	4	-7	-18	-30	-40
	Caída de Presión - PSI				
12, 500, 134a	2.0	1.5	1.0	0.75	0.5
502	3.0	2.5	1.75	1.25	1.0
22, 717	3.0	2.0	1.5	1.0	0.75

Tabla 6.19 - Máximas caídas de presión para válvula de termo expansión con igualador interno.

Ubicación del Igualador Externo

Como se mencionó anteriormente, la línea del igualador externo deberá instalarse en la línea de succión, más allá del punto de mayor caída de presión. Puesto que puede ser difícil determinar este punto, como regla general, es más seguro conectar la línea del igualador externo en

la línea de succión a la salida del evaporador, junto al bulbo remoto, del lado del compresor (ver figuras 6.17 y 6.18). De esta forma, la temperatura del bulbo no se verá afectada por la pequeña cantidad de refrigerante que pueda estar presente en la línea del igualador, en caso de una pequeña fuga por el empaque de las varillas de empuje. Cuando se instala en este punto, se evitará cualquier efecto de caída de presión entre la salida de la válvula y la línea de succión. Cuando se conecte el igualador externo a una línea de succión horizontal, siempre se debe hacer en la parte superior, para evitar acumulación de aceite en la línea del igualador.

Cuando se sabe que la caída de presión a través del evaporador, está dentro de los límites definidos en la tabla 6.19, se permite instalar la conexión del igualador externo en uno de los dobleces de retorno, a la mitad del evaporador. Tal ubicación del igualador, proporcionará un control más suave de la válvula, particularmente cuando la válvula de termo expansión se usa en conjunto con un regulador de presión del evaporador. Sin embargo, en todos los casos donde se instale cualquier tipo de válvula de control en la línea de succión, la conexión del igualador externo NUNCA deberá ubicarse después de tal dispositivo, sino que deberá conectarse del lado del evaporador de esa válvula o control. Una conexión ubicada incorrectamente, interferirá seriamente con la operación eficiente de la válvula de termo expansión.

Una válvula de tipo con igualador externo, no operará correctamente, si no va conectada a la línea del igualador. Cuando se instale una válvula con igualador externo conecte la línea, NUNCA coloque un tapón en la conexión del igualador.

En sistemas de evaporadores múltiples, donde cada evaporador es alimentado individualmente por una válvula de termo expansión, los igualadores externos de esas válvulas, NUNCA se deben unir en una línea común y conectarse a la línea de succión principal. La línea del igualador externo de cada válvula, deberá instalarse en un punto donde los cambios de presión no afecten el funcionamiento de esa válvula, como se muestra en la figura 6.20. Si las líneas de succión desde la salida de cada evaporador hasta la succión principal, son muy cortas, entonces se recomienda conectar las líneas del igualador al cabezal de succión de su respectivo evaporador.

Si en la situación anterior, el compresor cuenta con control de capacidad, entonces puede hacerse una excepción y las líneas de los igualadores de cada válvula pueden unirse en una línea común, y conectarse a la succión principal, como se muestra en la figura 6.21. Las válvulas de solenoide instaladas antes de las válvulas de expansión, están conectadas eléctricamente al sistema de control de capacidad del compresor, de tal manera que conforme se va reduciendo la capacidad del compresor, estas se van desenergizando, quedando en operación únicamente las necesarias de acuerdo al porcentaje de capacidad a que esté operando el compresor. Al incrementarse la capacidad del compresor, se van energizando las válvulas de solenoide, permitiendo el paso de refrigerante a los otros evaporadores, como se muestra en la figura 6.21. Dependiendo de los porcentajes de reducción de capacidad y del número de evaporadores, se pueden hacer muchos arreglos y combinaciones a este sistema.

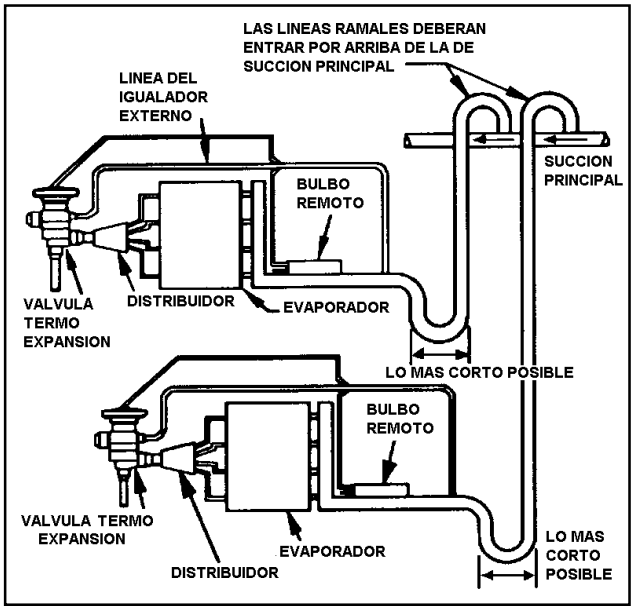


Figura 6.20 - Ubicación correcta de los igualadores externos en un sistema de múltiples evaporadores.

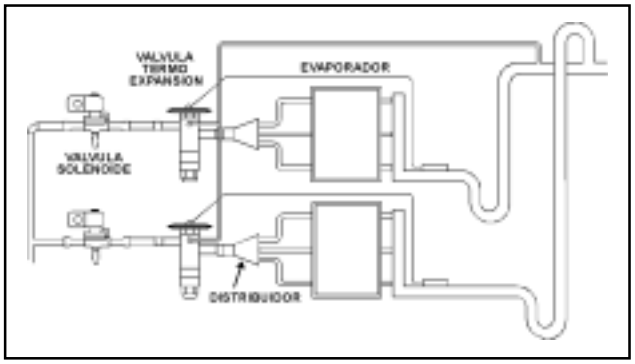


Figura 6.21 - Instalación recomendada en sistemas de evaporadores múltiples, cuando el compresor cuenta con control de capacidad.

En la figura 6.22, se muestra otra variante de este método. Dos válvulas de termo expansión con sus respectivos distribuidores, alimentan un solo evaporador. Cada circuito del evaporador está alimentado por dos circuitos de los distribuidores (uno de cada distribuidor). Las válvulas de solenoide están conectadas al sistema de modulación de capacidad del compresor, y son accionadas eléctricamente al variar éste.

Habrá algunos casos en que la línea del igualador externo, esté conectada en alguna de las vueltas del centro del serpentín o en la entrada del evaporador. Esto lo determinará el fabricante del evaporador o de la unidad, y es solamente el resultado de pruebas operacionales, buscando una posición donde la válvula tenga un mejor control

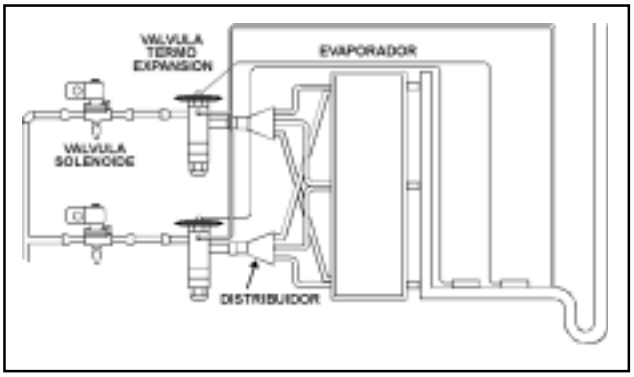


Figura 6.22 -Un solo evaporador alimentado por dos VTE cuando el compresor cuenta con control de capacidad.

y que sea más eficiente. No deberá intentarse hacer esto al ensamblar un sistema en el campo.

Ubicación del Bulbo Remoto

Puesto que el funcionamiento del evaporador depende grandemente del buen control de la válvula de termo expansión, y este buen control de la válvula depende de la respuesta a los cambios de temperatura del gas que sale del evaporador, se debe tener mucho cuidado con los tipos de bulbos remotos y su colocación. La buena retroalimentación de la temperatura del gas de succión es vital, para que la válvula de termo expansión mantenga ese control. La ubicación del bulbo remoto es tan importante como la selección de la válvula adecuada; de otra forma, afectará de manera adversa la operación de la válvula. Existen dos formas de instalar los bulbos remotos: mediante abrazaderas o en termopozos, siendo más común la primera.

A continuación se dan algunas recomendaciones de instalación del bulbo remoto mediante abrazaderas. El bulbo debe sujetarse firmemente a la línea de succión, lo más cerca posible de la salida del evaporador, en un tramo horizontal. Si se usa más de una termo válvula en evaporadores adyacentes o secciones de evaporadores, asegúrese que el bulbo remoto de cada válvula esté aplicado a la línea de succión del evaporador alimentado por esa válvula. (Ver figura 6.20).

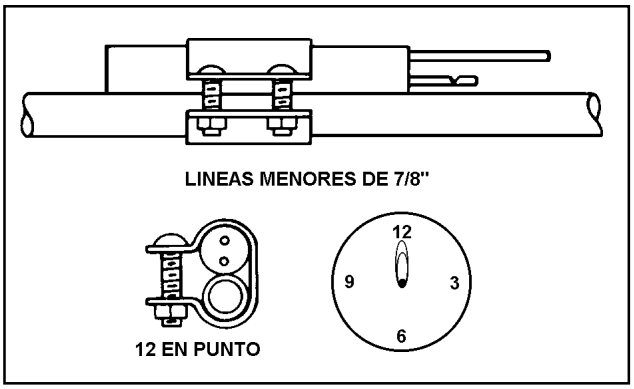


Figura 6.23 - Ubicación del bulbo remoto en líneas de succión y menores de 7/8" de diámetro.

La línea de succión debe limpiarse completamente, antes de sujetar el bulbo en su lugar. Cuando la línea de succión es de fierro, es aconsejable pintarla con pintura de aluminio, para reducir cualquier corrosión futura o contacto deficiente con la línea. En tuberías de succión menores de 7/8" de diámetro, hay relativamente poca diferencia en donde se monte el bulbo alrededor de la circunferencia, puesto que la temperatura en cualquier posición es casi la misma. Generalmente, la posición preferida en líneas pequeñas, es la parte superior como se muestra en la figura 6.23; o sea, en el 12 del reloj. En líneas de succión de 7/8" a 1-5/8" de diámetro, puede haber ocasionalmente alguna variación en la temperatura alrededor de la circunferencia, por lo que por resultados experimentales, el bulbo deberá instalarse en la posición cercana al 10 o al 2 del reloj, tal como se ilustra en la figura 6.24. En líneas de succión mayores de 2" de diámetro, se recomienda instalar el bulbo en una posición aproximada al 4 ó al 8 del reloj, tal como se muestra en la figura 6.25.

En realidad, más importante que la ubicación física del bulbo alrededor de la tubería es el contacto térmico entre el bulbo y la línea de succión; así como el diseño de la

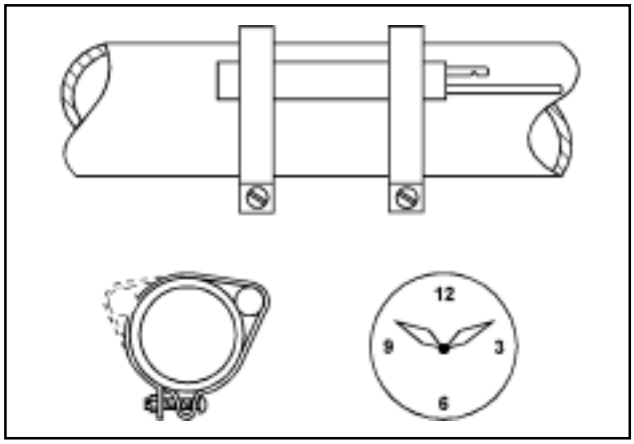


Figura 6.24 - Ubicación del bulbo remoto en líneas de succión de 7/8" a 1-5/8" de diámetro.

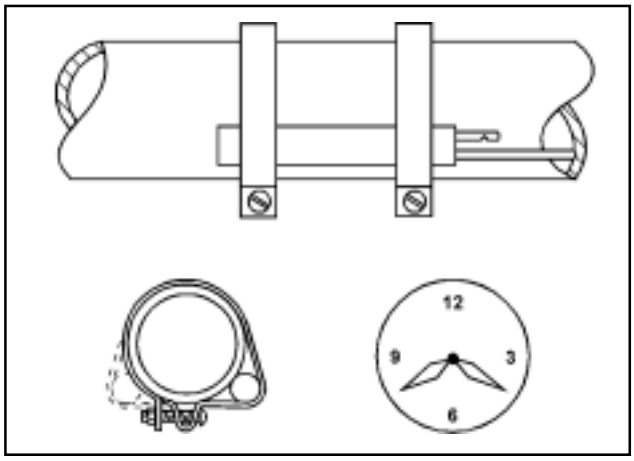


Figura 6.25 - Ubicación del bulbo remoto en líneas de succión mayores de 2" de diámetro.

tubería de succión. Asegúrese de fijar bien las abrazaderas, de modo que el bulbo remoto haga buen contacto con la línea de succión, sin apretar en exceso para no dañar el bulbo. Nunca se debe instalar el bulbo en la parte inferior de la línea de succión; es decir, a las 6 en punto del reloj, porque en esta ubicación puede sentir la temperatura del aceite, el cual fluye por el fondo de la línea horizontal y su temperatura puede ser diferente que la del gas, lo que ocasionará que la válvula opere erráticamente. Si el bulbo se coloca fuera del espacio refrigerado, se requiere protección adicional de la temperatura ambiente. Si es necesario proteger al bulbo remoto del efecto de una corriente de aire, después de fijarlo con las abrazaderas en la línea, utilice un material aislante que no absorba agua con temperaturas del evaporador arriba de 0°C. Para temperaturas menores de 0°C, se sugiere emplear corcho o algún material similar sellante contra la humedad, para prevenir la acumulación del hielo en la ubicación del bulbo. No se recomienda el uso de fieltro. Cuando el bulbo se vaya a ubicar bajo el nivel de agua o salmuera en un serpentín sumergido, utilice un material a prueba de agua que no requiera calentarse arriba de 50°C al aplicarlo, esto para proteger el bulbo remoto y el tubo del bulbo. Nunca aplique calor cerca de la ubicación del bulbo sin antes retirarlo.

Debe asegurarse también que el tramo de la línea de succión donde va ubicado el bulbo, tenga una ligera pendiente para que haya un libre drenaje. De la misma manera, el bulbo no debe ubicarse donde exista una trampa en la línea de succión. Si el evaporador o varios evaporadores están instalados en un nivel más alto que el compresor, existen dos maneras de hacer el arreglo de la tubería, como se muestra en la figura 6.26. Si el sistema cuenta con un control de vaciado del evaporador por medio del uso de una válvula solenoide (pump down), se puede conectar la línea de succión directamente abajo del compresor, sin la trampa. Si no se cuenta con el control de vaciado, la línea de succión deberá tener una trampa después del bulbo, antes de subir verticalmente a otra trampa invertida, aproximadamente a la misma altura del evaporador. Esto es con el objeto de evitar que el refrigerante o el aceite drenen hacia el compresor por gravedad durante los ciclos de paro. Esto no evita que durante los ciclos de paro el refrigerante abandone el evaporador y se condense en el compresor, si éste o la línea de succión están a más baja temperatura.

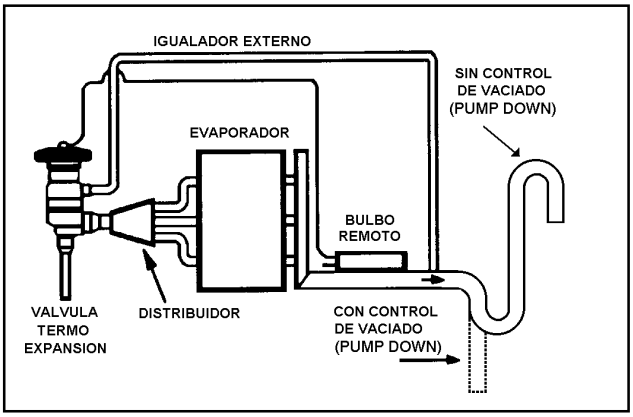


Figura 6.26 - Ubicación correcta del bulbo y arreglo de la tubería cuando el evaporadore está por encima del nivel del compresor.

Cuando los evaporadores están por abajo del nivel del compresor, deberá hacerse una trampa antes de subir verticalmente, y la conexión a la línea de succión principal deberá ser por la parte de arriba, como se muestra en la figura 6.22. Cuando hay evaporadores arriba y abajo del compresor, el arreglo de la tubería deberá hacerse, de tal manera que el flujo de una válvula no afecte al bulbo de otra válvula, como se indica en la figura 6.27.

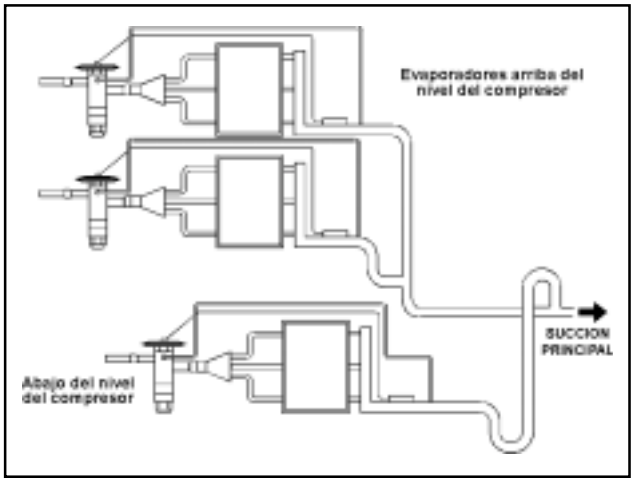


Figura 6.27 - Ubicación correcta de los bulbos y arreglo de la tubería cuando hay evaporadores arriba y abajo del nivel del compresor.

Termopozo Para Bulbo Remoto

Cuando se quiera incrementar la sensibilidad del bulbo remoto a un cambio en la temperatura del gas refrigerante proveniente del evaporador, puede ser necesario utilizar un termopozo para el bulbo remoto. Esto es particularmente cierto para instalaciones compactas e instalaciones con líneas de succión grandes (2-1/8" diámetro ext. o más grandes). Los termopozos para bulbo remoto deberán usarse: (1) cuando se desean sobrecalentamientos muy bajos y (2) cuando el calor por convección de un cuarto caliente puede influenciar el bulbo remoto. (Ver figura 6.28).

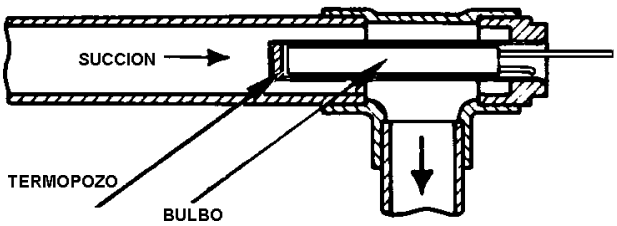


Figura 6.28 - Ubicación del bulbo remoto en un termopozo.

Fluctuación (Oscilación o Cicleo)

En muchas instalaciones existe la posibilidad de una condición llamada FLUCTUACION, que es una variación continua en la cantidad de refrigerante alimentado por la válvula. Primero no alimenta suficiente, y después, alimenta demasiado.

Cuando existe un solo compresor y un solo evaporador en el sistema, la fluctuación provoca una variación tanto en la presión de succión como en el sobrecalentamiento. Cuando en un sistema con un solo compresor y varios evaporadores, si el compresor tiene control de capacidad, puede resultar una fluctuación que se detecta a través de la variación en la temperatura del bulbo. Normalmente, sólo hay un ligero cambio en la presión de succión o ninguno.

La fluctuación puede resultar de uno o varios factores relacionados con el diseño del sistema, la instalación o el equipo. Algunas de las causas que pueden inducir una condición de fluctuación son: grandes variaciones en la presión de descarga, cambios rápidos en la carga del evaporador, humedad o ceras suficientes para tapar la válvula o una deficiente distribución de refrigerante.

Una razón para que se presente una fluctuación, y quizás la más importante, es que todos los evaporadores tienen un tiempo de retardo. El diseño básico del serpentín hace que algunos evaporadores sean más susceptibles que otros a este problema. Algunos evaporadores tienen un trayecto muy corto y el refrigerante fluye a través de ellos en unos cuantos segundos. Otros tienen una trayectoria muy larga, requiriéndose varios minutos para que el refrigerante fluya a través de ellos. Durante este intervalo, la válvula de termo expansión teóricamente está fuera de control, porque está alimentando en la entrada del evaporador, pero controlando de la temperatura del bulbo a la salida. Es casi como decir que está tratando de controlar algo que ya ha sucedido (figura 6.29).

Desafortunadamente, se ha vuelto una práctica común decir que la válvula de termo expansión es la que fluctúa u oscila. Deberíamos decir que es el sistema el que está fluctuando y oscilando, puesto que la causa no es la válvula de termo expansión sola, sino una combinación de muchos factores en el sistema.

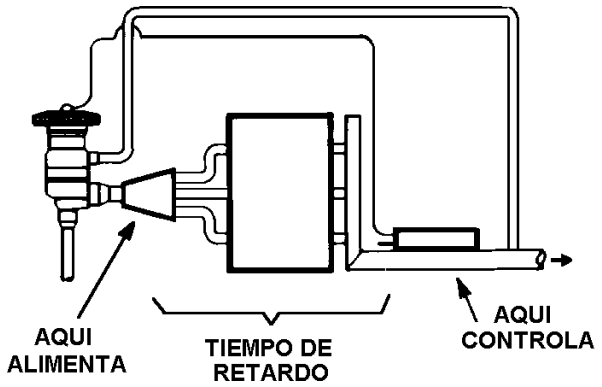


Figura 6.29 - Una de las causas más comunes de la fluctuación: el tiempo de retardo.

Con la fluctuación, cada vez que la válvula abre, baja el sobrecalentamiento, aumenta el flujo en la succión y se puede regresar líquido al compresor. Cuando la válvula modula y cierra, aumenta el sobrecalentamiento, baja la presión de succión y no se alimenta suficiente refrigerante al evaporador. Es obvio que la fluctuación continua en la presión de succión, reduce la eficiencia del sistema.

La magnitud de la fluctuación está influenciada por:

1. Longitud y diámetro de los circuitos.
2. Carga por circuito.
3. Velocidad del refrigerante.
4. Distribución de aire sobre el evaporador.
5. Ubicación de la válvula y el bulbo.
6. Capacidad de la válvula vs. la carga.
7. El tipo de carga del elemento de poder.

La fluctuación u oscilación puede eliminarse o reducirse, si se toman las siguientes precauciones:

1. Diseñe o seleccione el evaporador con un paso de refrigerante tan corto como sea posible, consistente con buena transferencia de calor.
2. Seleccione la ubicación de la válvula y el bulbo que sean más favorables.
3. Seleccione las válvulas que tengan la capacidad más favorable con relación a la carga.
4. Seleccione la carga adecuada del elemento de poder.

Operación a la Capacidad Reducida

La válvula de termo expansión convencional es un regulador de operación directa auto contenido, el cual no tiene integrados ningunos factores de anticipación o compensación. Como tal, es susceptible a la fluctuación, por causas que son peculiares tanto al diseño de la válvula, como al diseño de los sistemas a los cuales se aplica.

La relación de flujo ideal de una válvula de termo expansión, requeriría de una válvula con un balance dinámico perfecto, capaz de respuesta instantánea a cualquier cambio en la proporción de la evaporación (anticipación), y con un medio de evitar que la válvula sobrepase el punto de control debido a la inercia (compensación). Con estas características, una termo válvula estaría en fase con la demanda del sistema todo el tiempo, y no ocurriría la fluctuación.

Supongamos que hay un aumento en la carga, causando que incremente el sobrecalentamiento del gas de succión. El intervalo de tiempo entre el instante en que el bulbo siente este aumento de sobrecalentamiento, provocando que se mueva la aguja de la válvula en la dirección de abrir, permite que el sobrecalentamiento del gas de succión aumente aún más.

En respuesta a lo anterior, la válvula sobrepasa el punto de control y alimenta más refrigerante hacia el evaporador del que puede ser evaporado por la carga, con lo que disminuye el sobrecalentamiento y llega refrigerante líquido a la línea de succión, con el riesgo de pasar al compresor. Nuevamente, hay un tiempo de retardo entre el instante en que

el bulbo detecta el refrigerante líquido y que la válvula responde, moviéndose en la dirección de cierre. Durante este tiempo, la válvula continúa sobrealimentando al evaporador. Así pues, cuando la válvula se mueve en la dirección de cierre, nuevamente sobrepasará el punto de control y permanecerá en una posición casi cerrada, hasta que la mayoría del refrigerante líquido haya dejado el evaporador. El siguiente tiempo de retardo antes que la válvula abra, permite que el sobrecalentamiento del gas de succión aumente de nuevo más allá del punto de control. Este ciclo, que es autopropagante, continúa repitiéndose. La experiencia ha demostrado que una termo válvula está más expuesta a fluctuar en condiciones de baja carga, cuando la aguja de la válvula está cerca del asiento. Generalmente, se piensa que esto se debe a un desbalance entre las fuerzas que operan la válvula.

Adicional a las tres fuerzas principales que operan una válvula de termo expansión, la diferencia de presión a través del puerto de la válvula, actúa contra el área del puerto y, dependiendo de la construcción de la válvula, tiende a forzarla a que abra o a que cierre. Cuando opera con la aguja cerca del asiento, ocurrirá lo siguiente.

Con la válvula cerrada, tenemos presión de líquido sobre el lado de entrada de la aguja y presión del evaporador sobre la salida. Cuando la válvula comienza a abrir, permitiendo que se lleve a cabo el flujo, la velocidad a través de la garganta de la válvula, provocará un punto de más baja presión en la misma, aumentando la diferencia de presión a través de la aguja y del asiento. Este repentino incremento en el diferencial de presión que actúa sobre el área del puerto, tenderá a forzar la aguja de la válvula hacia el asiento. Cuando la válvula abre de nuevo, ocurre el mismo tipo de acción y la aguja golpetea contra el asiento a una frecuencia muy rápida. Este tipo de fenómeno es más frecuente con válvulas más grandes; ya que la fuerza debida al diferencial de presión, se ve incrementada con áreas de puertos más grandes.

Hemos visto que una válvula de termo expansión puede fluctuar, debido a la falta de las características de anticipación y compensación, y a un desbalance en las fuerzas de equilibrio, en el extremo inferior de la carrera de la aguja.

Sabemos por experiencia, que una válvula de termo expansión, cuando se selecciona y aplica inteligentemente, contrarresta estos factores y opera virtualmente sin fluctuar, sobre un rango bastante amplio de cargas.

Generalmente, una válvula de termo expansión operará satisfactoriamente hasta algo así como abajo del 50% de su capacidad nominal; pero, nuevamente, esto depende del diseño del evaporador y de la tubería, diámetro y longitud de los circuitos del evaporador, la velocidad del refrigerante, el flujo del aire sobre el evaporador y los cambios rápidos en la carga. Nada causará que una termo válvula fluctúe tan rápidamente, que una alimentación desigual de los circuitos paralelos por el distribuidor, o una carga desigual de aire a través del evaporador.

Tipos de Cargas del Bulbo Remoto

Habrá ocasiones en que el técnico de servicio en refrigeración, tenga que enfrentarse a situaciones donde la válvula de termo expansión no opere adecuadamente porque haya sido mal seleccionada, y haya que reemplazarla por el modelo correcto. ¿Cómo se debe proceder? Es de primordial importancia que los técnicos sepan escoger el reemplazo correcto, y un punto importante, es el tipo de carga del bulbo. Para esto, es necesario estar familiarizado con los diferentes tipos de cargas en el elemento de poder. (El elemento de poder consta de: el bulbo, el tubo capilar y la parte superior del diafragma).

Como se mencionó anteriormente, la función principal de una válvula de termo expansión, es controlar el sobrecalentamiento del gas refrigerante a la salida del evaporador. Pero hay varios tipos de válvulas y varios tipos de cargas, cada una con su propio uso específico. Entender la carga del elemento de poder y cómo afecta la presión en el diafragma, es básico para un buen servicio. Existen varios tipos básicos de cargas de uso común en la actualidad, las cuales pueden resumirse en cuatro tipos generales:

1. **La Carga Líquida.** Aquí, el elemento de poder está cargado con el mismo tipo de refrigerante que contiene el sistema donde se está usando la válvula.
2. **La Carga Gaseosa.** Es una carga líquida limitada. El elemento de poder contiene el mismo tipo de refrigerante que el sistema, pero en una cantidad menor que la carga líquida.
3. **La Carga Cruzada.** El elemento de poder está cargado con un refrigerante diferente al que contiene el sistema donde está instalada la válvula. Puede ser líquida o gaseosa.
4. **La Carga de Adsorción.** El elemento de poder contiene una carga cruzada gaseosa, y además, se utiliza algún tipo de adsorbente.

La Carga Líquida

En este tipo de carga, el elemento de poder contiene el mismo refrigerante que el sistema en el cual se está usando la válvula. Cuando se fabrica la válvula, el refrigerante se introduce al bulbo en forma líquida. El bulbo debe tener un volumen interno mayor, que el volumen combinado de la cámara del diafragma y el tubo capilar. El elemento de poder con carga líquida convencional, ilustrado en la figura 6.30, incluye un bulbo de tamaño suficiente, que contiene bastante líquido para asegurar que el punto de control esté siempre en el bulbo. Con este tipo de carga, siempre habrá algo de refrigerante en forma líquida en el bulbo, independientemente de su temperatura y de que el capilar y la caja del diafragma estén llenos de líquido. Si esto no se da, y por alguna razón el bulbo se quedara sin líquido, sólo contendría vapor y cuando cambiara la temperatura, la presión de ese vapor cambiaría muy levemente. Sin líquido, el bulbo pierde control.

Si la temperatura del capilar o de la caja del diafragma se vuelve más fría que la del bulbo, y algo de vapor se

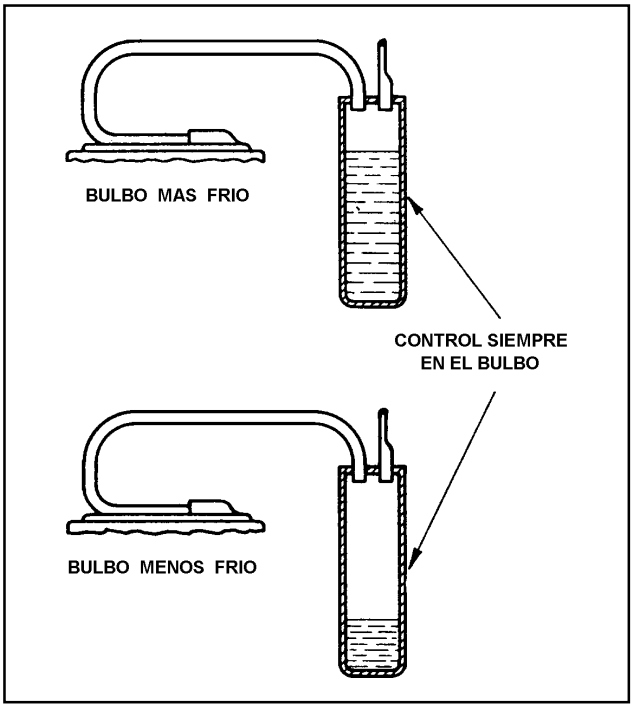


Figura 6.30 - En la termo válvula con carga líquida el bulbo mantiene el control del elemento de poder.

condensa en cualquiera de los dos, siempre habrá suficiente refrigerante líquido en el bulbo para asegurar el control en ese punto. De esta manera, la presión del elemento de poder es siempre la presión de saturación correspondiente a la temperatura del bulbo. Este factor es extremadamente importante en aplicaciones de baja temperatura.

Si graficamos los valores de presión vs. la temperatura, puesto que el refrigerante es el mismo en el bulbo que en el evaporador, las curvas serían idénticas y quedarían una sobre otra, como se muestra en la figura 6.31. Estas curvas cuando se aplican a un sistema en operación, indican que siempre habrá una relación directa a través del diafragma en los cambios de presión del bulbo y los cambios de presión del evaporador. Cuando el compresor se detiene, la presión del evaporador sube inmediatamente, antes que la del bulbo y la válvula se cierra, puesto que la presión del evaporador vence a la presión del bulbo. Durante el ciclo de paro, cuando el evaporador y el bulbo tienen la misma temperatura, sus presiones también son iguales y entonces la fuerza del resorte cierra la válvula.

Si debido a condiciones adversas del ambiente se eleva la temperatura del bulbo más que la del evaporador, hasta un punto donde se contrarresta la fuerza del resorte, la válvula abrirá y alimentará refrigerante al evaporador. Esto puede sobrecargar el compresor y causar una inundación al arranque.

Cuando el compresor arranca, la presión de succión baja rápidamente, desbalanceado las presiones sobre el diafragma. La válvula abre bastante porque la presión del bulbo es alta, ya que no ha bajado la temperatura del gas de succión. El resultado es una condición que tiende a

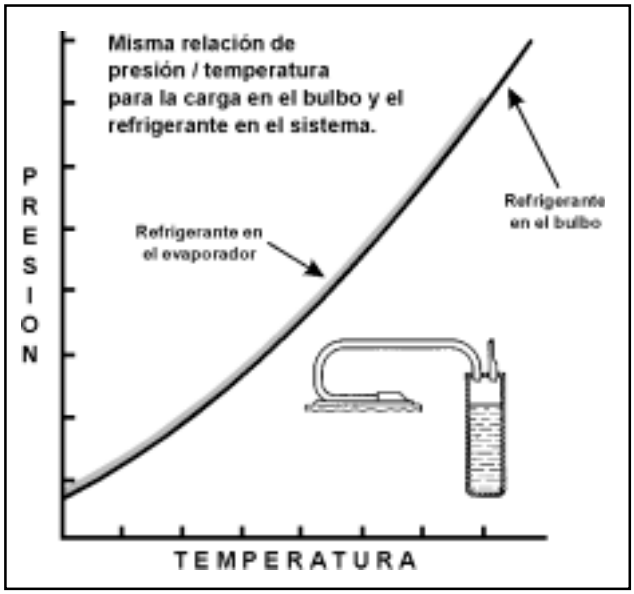


Figura 6.31 - Curvas de saturación típicas de una carga líquida.

llenar el evaporador, antes que el bulbo se enfríe para regular la válvula y producir una temperatura de sobrecalentamiento al gas de succión. Frecuentemente ocurren regresos de líquido y posible daño al compresor. La sobrealimentación al arranque, también provoca una alta carga de presión al compresor. Las posibilidades de sobrecarga del motor y de una consecuente quemadura, son muy posibles .

Las válvulas de termo expansión con cargas líquidas, se usan normalmente cuando prevalece en el evaporador un rango de temperatura extremadamente estrecho o limitado, una condición fuera del alcance de otras cargas de bulbo.

Las cargas líquidas tienen ventajas y desventajas.

Las ventajas son: obviamente que el control del flujo siempre estará en el bulbo, sin importar la ubicación o temperatura del cuerpo de la válvula y la caja del diafragma.

Las desventajas son: la válvula abre demasiado en el arranque, con las posibles consecuencias ya mencionadas; el sobrecalentamiento durante el arranque es bajo o nulo. Una ubicación inadecuada del bulbo, puede causar que la válvula abra durante el ciclo de paro; el sobrecalentamiento aumente a bajas temperaturas del evaporador y la presión de succión disminuya muy lentamente después del arranque. Las válvulas con carga líquida convencional no tiene características antifluctuantes.

La Carga Gaseosa

En una válvula de termo expansión con carga gaseosa, el elemento de poder contiene el mismo tipo de refrigerante que el sistema donde se utiliza la válvula, sólo que la cantidad de líquido está limitada, de tal manera, que a cierta temperatura del bulbo remoto, la pequeña cantidad de líquido en su interior se habrá evaporado. Cuando esto sucede, toda la carga se convierte en un vapor saturado,

y cualquier incremento posterior en la temperatura del bulbo lo convierte en un gas sobrecalentado y, puesto que un gas se comprime, la presión ejercida por éste se verá limitada.

Por lo tanto, en una válvula con carga gaseosa, la presión máxima que puede desarrollarse sobre la parte superior del diafragma, está limitada por la cantidad de carga en el bulbo remoto.

Mientras la temperatura del bulbo esté debajo del punto de evaporación completa, la presión sigue la curva de saturación igual que en la carga líquida (figura 6.32). Cuando la temperatura del bulbo alcanza ese punto, el líquido se evapora completamente. Más allá de ese punto, la temperatura del vapor aumenta y se sobrecalienta, limitando la presión ejercida por el bulbo. A esto se le conoce como efecto de Máxima Presión de Operación (MOP, por sus siglas en inglés). Cuando se fabrica la válvula, el punto donde la carga se evapora completamente, puede variar en cualquier lugar a lo largo de la curva de saturación. El punto MOP depende de cómo fue cargado inicialmente el bulbo, y dónde se va a utilizar la válvula.

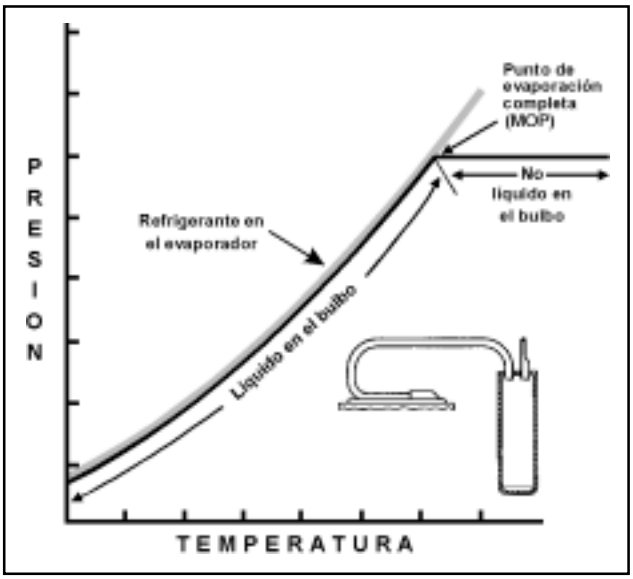


Figura 6.32 - Curvas de saturación típicas de una carga gaseosa.

Durante el ciclo de trabajo normal, la temperatura del bulbo está por debajo del punto limitante, y hay algo de líquido en el bulbo. Por lo tanto, opera igual que un elemento con carga líquida convencional.

De acuerdo a la relación de las presiones ejercidas en una válvula de termo expansión, P1 = P2 + P3 (ver figura 6.12), es fácil deducir que, si la presión ejercida por el bulbo (P1) se limita hasta un cierto nivel, y la presión del resorte (P3) permanece constante, entonces la presión del evaporador (P2) también se ve limitada. Si aumentan las presiones y temperaturas de operación del sistema, la presión del bulbo aumentará tan solo hasta ese punto limitante, y la válvula funcionará como una válvula de expansión de presión constante, manteniendo una presión fija en el evaporador. Si la presión del evaporador tiende a ir más allá de ese punto, las fuerzas que cierran y estrangulan la válvula se ven aumentadas. Por el contrario, si disminuye la presión del evaporador, la presión del bulbo excede las fuerzas que cierran y la válvula abre.

Cuando a una válvula de termo expansión con carga gaseosa, se le fija el punto limitante muy cercano a la presión de operación del sistema, ésta actúa como una Máxima Presión de Operación, protegiendo al compresor de las altas presiones de succión. En otras palabras, la MOP es la habilidad de la válvula para disminuir el flujo o cerrar completamente, si la presión de succión se aproxima a un límite alto predeterminado, que pudiera representar un peligro para el compresor. En un compresor que usa el gas de la succión como enfriamiento, tal condición pudiera causarle un sobrecalentamiento. Una vez cerrada la válvula a causa de la MOP, el compresor continúa trabajando y tiene la oportunidad de disminuir el exceso de alta presión de succión, hasta llegar a condiciones de operación satisfactorias. En este punto (debajo de la MOP), la válvula reabrirá y alimentará de manera normal, o hasta el momento que haya una sobrecarga de nuevo.

Para ilustrar mejor esto, supongamos que en un sistema con R-22 se instaló una válvula con carga gaseosa con una MOP de 100 psig, un ajuste de sobrecalentamiento de 5 °C (lo que equivale a una presión del resorte de 16 psig), y que la válvula está alimentando normalmente como se muestra en la figura 6.33. Si la presión del evaporador aumenta hasta la MOP de la válvula (100 psig), debajo del diafragma se tendrá una presión total de 100 + 16 = 116 psig. A estas condiciones, el gas de succión tendrá una temperatura de 20 °C (15° de saturación + 5° del sobrecalentamiento) y al pasar por el sitio del bulbo, evaporará todo el líquido en su interior.

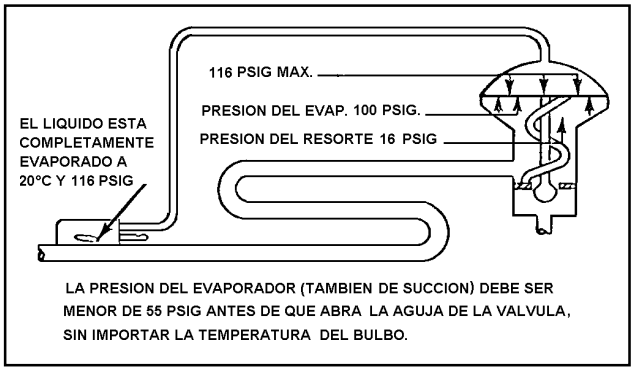


Figura 6.33 - Válvula de termo expansión con carga gaseosa y una MOP de 100 psig en un evaporador con R-22.

Hasta este punto, dentro del bulbo se tendrá vapor saturado a una temperatura de 20 °C, ejerciendo una presión de 116 psig sobre el diafragma, con lo que se equilibran las presiones a ambos lados de este último, pero la válvula permanece abierta. Si aumenta la presión dentro del evaporador, la temperatura del gas de succión sobrecalentará el gas dentro del bulbo, pero su presión no aumentará, por lo que la presión del evaporador debajo del

diafragma es mayor y cierra la válvula. Cuando la presión del evaporador disminuye por debajo de su MOP de 100 psig, se forma nuevamente líquido en el bulbo, su presión es mayor que las presiones abajo del diafragma haciendo que abra la válvula y alimente más refrigerante hacia el evaporador.

El punto limitante normalmente se fija arriba de la presión de operación de succión, y sirve primordialmente, como una característica para mantener cerrada la válvula durante los ciclos de paro. Al arrancar, la fuerza que cierra excede la presión del bulbo y se retarda la apertura de la válvula. Conforme el compresor succiona el gas refrigerante del evaporador, la presión de succión disminuye rápidamente, hasta que la fuerza que cierra es menor que la del bulbo. Entonces, abre la válvula y opera igual que la carga de líquido convencional. Este retardo en la apertura durante el arranque, reduce la posibilidad de inundación del compresor, y en algunos sistemas, proporciona inadvertidamente una protección positiva contra sobrecarga del motor.

La Máxima Presión de Operación (MOP) de una válvula de termo expansión viene ajustada de fábrica, pero se puede variar de la misma manera que se varía el sobrecalentamiento; es decir, variando la presión del resorte (P3). Consulte la sección de Medición y Ajuste del Sobrecalentamiento.

Puesto que en una válvula con carga gaseosa el contenido de líquido en el elemento de poder es muy limitado (hasta su MOP), la ubicación de la válvula es muy importante. Para mantener el control, el bulbo deberá instalarse siempre en un punto mas frío que el capilar y el cuerpo de la válvula. Es muy importante que el líquido permanezca en el bulbo. Según se muestra en la figura 6.34, si el capilar o la cabeza de la válvula están en contacto con una superficie más fría que el bulbo, el vapor se condensa en ese punto, haciendo que el bulbo pierda el control y que la válvula no funcione correctamente.

Las VTE con carga gaseosa pueden utilizarse casi en cualquier aplicación de refrigeración o aire acondicionado, y en cualquier rango de temperaturas. Pero en aplicaciones de baja temperatura y por lo ya expuesto anteriormente deberán tomarse las precauciones del caso. Aunque lo más recomendable es en aplicaciones en un rango de temperaturas de entre 0 y 10 °C, como en enfriadores de agua y equipos de aire acondicionado.

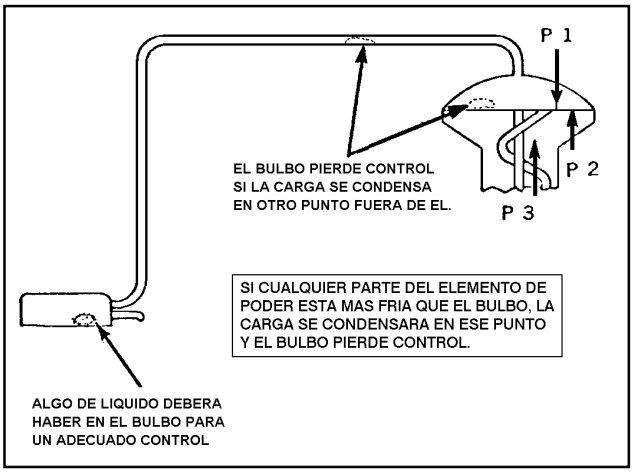


Figura 6.34 - En una VTE con carga gaseosa, el bulbo debe estar siempre en una ubicación más fría que el capilar o la cabeza.

Resumiendo las características de la válvula con carga gaseosa, encontramos que sus ventajas son:

1. Mantiene la válvula firmemente cerrada durante los ciclos de paro.
2. Hay un retardo en la apertura durante el arranque, lo que permite un rápido abatimiento de la presión:
a) Protege al motor del compresor de las sobrecargas.
b) Evita la inundación al arranque.
3. Proporciona una Presión de Operación Máxima durante el ciclo de trabajo, para protección del motor del compresor contra las sobrecargas, algo así como una válvula de expansión de presión constante.
4. Tiene características antifluctuantes, las cuales se explicarán más adelante.

Su principal desventaja es que si la caja del diafragma o el capilar se enfrían más que el bulbo, la carga abandonará al bulbo y se perderá el control. Esta desventaja se agudiza en aplicaciones de baja temperatura y comerciales. Normalmente los sistemas de aire acondicionado y temperaturas similares, no son afectados.

La Carga Cruzada

En las válvulas de termo expansión con carga cruzada, el elemento de poder está cargado con un líquido diferente al refrigerante que se está utilizando en el sistema. Este líquido puede ser un refrigerante o algún otro compuesto químico. En una válvula con carga cruzada, al graficar las curvas de saturación (presión-temperatura) del fluido del elemento de poder y del refrigerante que usa el sistema donde está instalada la válvula, estas curvas se cruzan, de allí el nombre de «Carga Cruzada» (ver figura 6.35). Una carga cruzada puede ser líquida o gaseosa.

Este tipo de cargas surgieron cuando se intentaba desarrollar una válvula que eliminara las fluctuaciones (ver sección de fluctuación). Al principio se pensó que si se

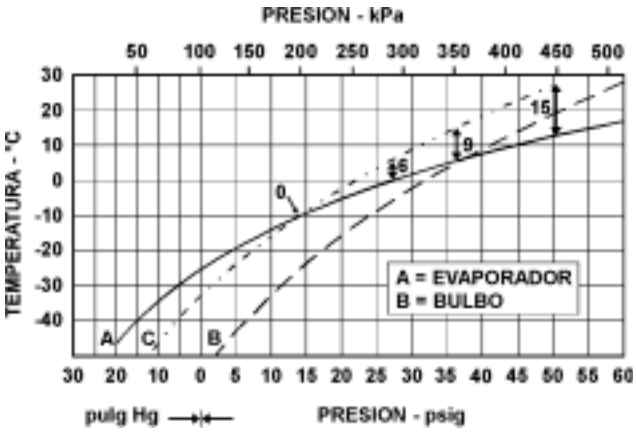


Figura 6.35 - Curvas de saturación típicas de una carga cruzada líquida.

diseñaba una válvula altamente sensible, esta respondería rápido a los cambios de presión y temperatura del gas de succión, proporcionando, por lo tanto, una mejor modulación. Pero este no fue el caso, de hecho, una válvula altamente sensible sólo agravó la condición de la fluctuación. Se intentó lo opuesto, es decir, diseñar una válvula que fuera menos sensible, y se encontró que se podían reducir o eliminar las fluctuaciones. En el desarrollo final, se encontró que una válvula menos sensible a los cambios de temperatura del bulbo, pero que responde a los cambios normales en la presión del evaporador, demostró ser la más práctica. Se tomó este principio y se aplicó para producir válvulas con características antifluctuantes.

Cuando una válvula de termo expansión con carga cruzada se instala en un sistema, por las características de la válvula, este sistema arrancará cuando la presión de succión sea alta, y parará, cuando el compresor haya disminuido considerablemente la presión dentro del evaporador, llegando al punto a que está ajustado el control de baja presión.

Después de esto, comenzará a subir la temperatura en el evaporador y en el bulbo, aumentando también sus respectivas presiones. Puesto que el fluido dentro del bulbo es diferente al refrigerante del sistema, la presión del evaporador aumenta más rápido que la del bulbo y la válvula se cierra. Al haber una alta presión de succión, se requiere un alto sobrecalentamiento para que la presión del bulbo pueda vencer la presión dentro del evaporador. Esta es una situación conveniente, ya que evita el regreso de líquido al compresor y ayuda a limitar la carga en el motor.

Para ilustrar mejor el funcionamiento de una válvula de termo expansión con carga cruzada, supongamos un sistema que trabaja con R-134a, en el cual se instala una válvula con carga cruzada. Si graficamos las presiones y temperaturas de saturación para los dos fluidos, resultarán las curvas de saturación que se muestran en la figura 6.35. La curva «A», corresponde al R-134a y representa las condiciones dentro del evaporador. Es la fuerza que cierra la válvula. La curva punteada «B», corresponde al fluido del elemento de poder, el cual es un refrigerante diferente o algún otro compuesto químico. Como se puede ver en la gráfica, las curvas aproximadamente se cruzan a 6 °C. A temperaturas mayores, el fluido del bulbo tiene una presión de saturación más baja que la del R-134a; pero a temperaturas menores a ese punto, el fluido del bulbo puede desarrollar presiones más altas que el refrigerante dentro del evaporador.

Por lo anterior, la válvula es menos sensible a los cambios de presión en el bulbo, que a los cambios de presión en el evaporador. Cuando hay una variación en la temperatura del bulbo, su presión varía menos de lo que variaría si estuviera cargado con el mismo refrigerante del sistema. Esto abate la fluctuación.

Durante la operación, podremos notar que la presión disminuye hasta un punto donde las curvas están más cercanas. Esto significa que el sobrecalentamiento necesario para abrir la válvula, también disminuye en la misma proporción; lo que permite que se utilice más superficie del evaporador para el efecto de refrigeración, aumentando la capacidad del sistema. Una vez que el sistema está operando normalmente, las características de presión y de temperatura en el evaporador y el bulbo son muy similares, y la válvula controlará de manera efectiva con un sobrecalentamiento normal a la salida del evaporador.

La curva punteada «C», representa las temperaturas a las cuales debe aumentar el fluido del elemento de poder, para que su presión pueda vencer las presiones abajo del diafragma y que la válvula abra completamente. La diferencia de temperaturas entre la curva «A» (evaporador) y la curva «C» (bulbo), son los sobrecalentamientos de operación de la válvula.

Por lo anterior, es evidente que cuando se instale en un sistema una válvula de termo expansión con carga cruzada, su sobrecalentamiento deberá ajustarse a la temperatura de evaporación más baja que alcance el sistema cuando esté en operación. Esto evita la inundación del compresor con refrigerante líquido.

La Carga Cruzada Líquida. Generalmente, se utilizan donde es necesario un elemento de poder con carga líquida, para evitar que la carga se condense fuera del bulbo. Estas cargas tienen las mismas ventajas que las cargas líquidas normales, y aun más: la disminución de la presión de succión se hace lenta y moderadamente; reducen la carga en el compresor durante el arranque; reducen casi por completo la fluctuación. Las características del sobrecalentamiento para aplicaciones especiales, pueden hacerse a la medida.

Aunque las hay disponibles para aplicaciones en tres diferentes rangos de temperaturas, comúnmente se utilizan en aplicaciones comerciales y de baja temperatura, digamos de 4 °C para abajo.

La Carga Cruzada Gaseosa. Este tipo de cargas tienen las características de todos los otros tipos juntos, y por lo tanto, una válvula con carga cruzada gaseosa puede servir como reemplazo de cualquier otra válvula en el rango de temperaturas entre 10 y -40 °C.

Estas válvulas pueden aplicarse en un rango muy amplio de temperaturas, y pueden usarse con cualquier tipo de sistema de refrigeración o aire acondicionado. Sin embargo, comercialmente su uso principal es en bombas de calor.

En general, las ventajas de las válvulas de termo expansión con cargas cruzadas son: cierran rápidamente cuando el compresor para; eliminan la «fluctuación»; mantienen un sobrecalentamiento casi constante; evitan el regreso de líquido al compresor; permiten una rápida disminución de la presión de succión (*pull down*); protegen al compresor contra sobrecargas (MOP) y pueden instalarse sin considerar la temperatura ambiente, ya que no pierden el control si la válvula está más fría que el bulbo.

La Carga de Adsorción

Finalmente, mencionaremos el tipo de carga de adsorción. En realidad, esta es una variante de la carga gaseosa cruzada.

Los elementos de poder con cargas de adsorción dependen de un principio diferente. En estas válvulas de termo expansión, el elemento de poder contiene dos sustancias. Una es un gas no condensable, tal como el bióxido de carbono, el cual proporciona la presión. La otra, es un sólido; como el carbón, la sílica gel o la alúmina activada. Estas sustancias tienen la habilidad de adsorber gas, dependiendo de su temperatura. Las sustancias adsorben gas con más facilidad a bajas temperaturas.

Adsorción significa la adhesión de una capa de gas del grueso de una molécula, sobre la superficie de una sustancia sólida. No hay combinación química entre el gas y la sustancia sólida (adsorbente).

Al calentarse el bulbo sensor, la presión en su interior aumentará debido a la liberación del gas adsorbido. Al enfriarse el bulbo, su presión disminuye debido a que la sustancia adsorbe de nuevo al gas. Este cambio de presión se usa para controlar la apertura de la aguja de la válvula, en una válvula de termo expansión.

La apariencia y construcción general de estas válvulas, es la misma que con las de carga gaseosa cruzada. La única diferencia está en el gas y las sustancias contenidas en el elemento de poder para controlar sus presiones.

Estas válvulas de termo expansión tienen la ventaja de un retardo presión-temperatura en su operación. Tienen amplias aplicaciones de temperaturas, y se pueden usar en cualquier tipo de sistema de refrigeración o aire acondicionado. Su rango es suficiente para cubrir casi cualquier aplicación de refrigeración. El gas en el elemento de poder es un gas no condensable, mismo que permanece como tal, durante el rango de operación de la válvula.

Cada una de las diferentes cargas de bulbos mencionadas, tienen sus propias características individuales de sobrecalentamiento. Las diferentes curvas ilustradas en la figura 6.36, muestran las limitantes de operación de cada tipo. Estas curvas, no deben considerarse como valores verdaderos, sino solamente para ilustrar las ventajas y desventajas de cada una. El paréntesis horizontal indica el rango óptimo de mejor operación.

De la información proporcionada por las curvas de la figura 6.36, sobresale el hecho que la carga gaseosa cruzada W con MOP, es considerada como el mejor desarrollo. Esta carga mantiene casi constante el sobrecalentamiento, en un rango de 10 hasta -40°C de evaporación; lo que hace posible obtener un efecto de refrigeración máximo. Es de esperarse que los ajustes de sobrecalentamiento, sean consistentes para el rango completo de operación del evaporador, eliminando la preocupación de la fluctuación en los extremos de rangos de temperaturas.

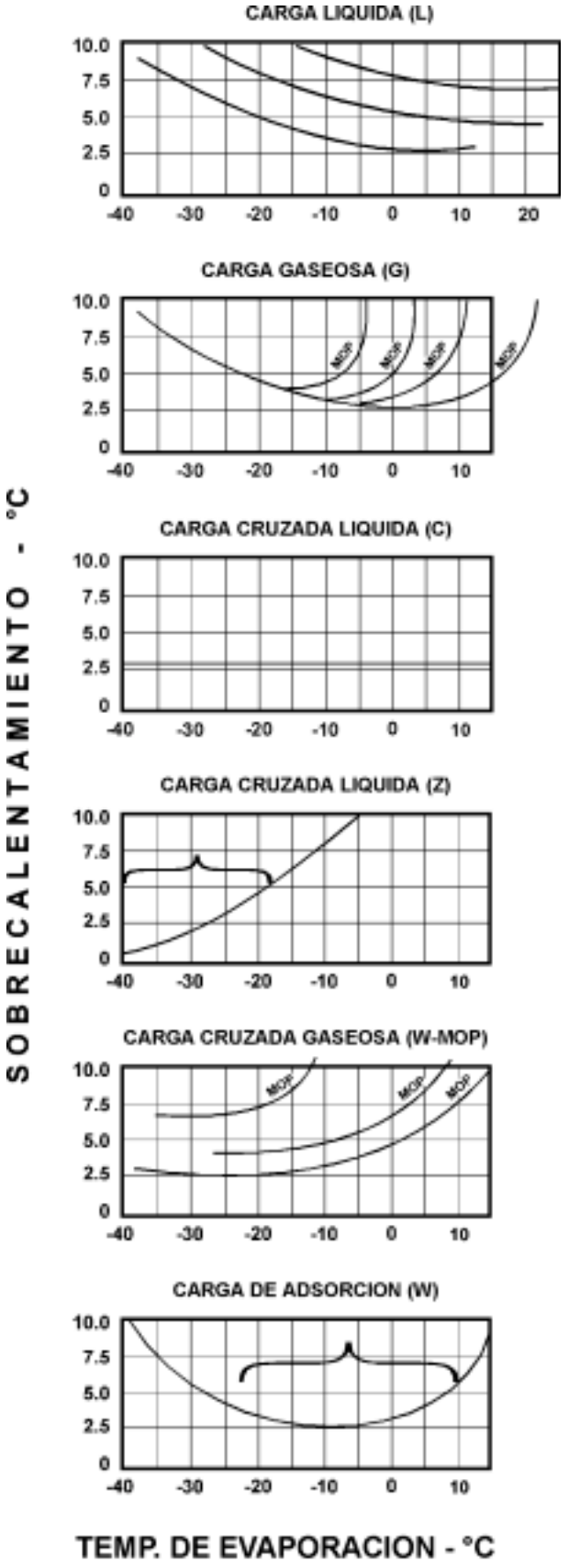


Figura 6.36 - Comparación de los rangos de operación de las diferentes cargas.

Bulbos con Balasto

En sistemas de aire acondicionado y temperaturas similares, se requiere un sobrecalentamiento constante. Aunque la carga gaseosa cruzada proporciona un sobrecalentamiento casi constante, no elimina en su totalidad la fluctuación. Investigaciones exhaustivas demostraron que la mejor aproximación seguía siendo una válvula menos sensible a los cambios de temperatura del bulbo, y que sí respondiera a la presión normal del evaporador. Siguiendo este principio, algunos fabricantes de válvulas cambiaron el método, colocando una balasto dentro del bulbo de una válvula con carga gaseosa cruzada. Este balasto no es otra cosa que una barra cuadrada de acero, aunque se pueden utilizar otros materiales. El aumento de sobrecalentamiento se retarda con los cambios de temperatura y presión del bulbo, puesto que la masa de la barra de acero proporciona un retardo térmico.

Este balasto, actúa como dispositivo de seguridad en caso de que una oleada de líquido, llegara hasta la línea de succión. El líquido enfriaría la pared del bulbo en contacto con la línea de succión. La pequeña cantidad de carga dentro del bulbo, pasaría de la superficie menos fría de la barra de acero, y se asentaría sobre la pared interna más fría del bulbo adyacente a la línea de succión. Esto produciría una disminución inmediata de la temperatura y presión del bulbo, y cerraría la válvula rápidamente. Así pues, el principio antifluctuante tiene dos características. La válvula abre lentamente a la persistente demanda de más flujo de refrigerante, pero cierra rápidamente para evitar el regreso de líquido.

En la figura 6.37, se ilustra la operación de una carga de bulbo sin balasto. Puesto que responderá rápidamente en una forma de abrir y cerrar, la válvula puede sobrealimentar y alimentar de menos, causando la indeseable fluctuación en el sistema.

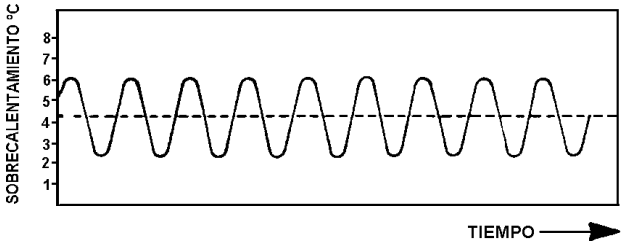


Figura 6.37 - Variación del sobrecalentamiento con respecto al tiempo en un bulbo sin balasto.

En la figura 6.38, se ilustra la variación del sobrecalentamiento de operación de un sistema de refrigeración típico con bulbo con balasto. Cuando disminuye la carga del sistema, la temperatura y el flujo en la línea de succión también disminuyen, y el sobrecalentamiento de operación aumenta rápidamente. Conforme aumenta la temperatura de la línea de succión, la presión del bulbo aumenta lentamente y el sobrecalentamiento de operación disminuye de la misma forma, hasta un nivel predeterminado. Después de varios ciclos en que se va abatiendo la

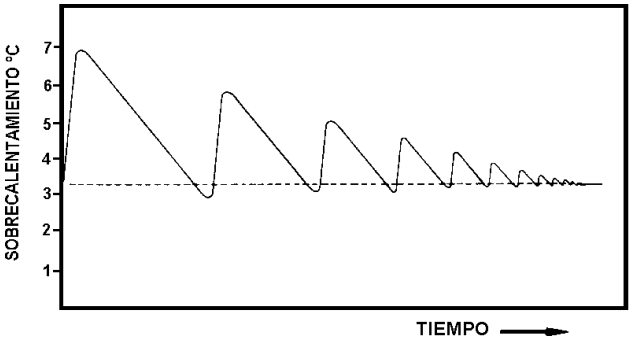


Figura 6.38 - Variación del sobrecalentamiento con respecto al tiempo en un bulbo con balasto.

amplitud, el sistema operará al sobrecalentamiento predeterminado, con un mínimo de fluctuaciones en la línea de succión.

¿Cuál Carga Utilizar?

Para ayudarle a comparar la carga correcta con su aplicación específica, consulte el código selector de cargas de válvulas de termo expansión de la figura 6.39. Esta tabla corresponde a las cargas utilizadas por ALCO CONTROLS. Es importante señalar que cada fabricante de válvulas de termo expansión utiliza su propia nomenclatura, para clasificar los diferentes tipos de cargas y los diferentes tipos de refrigerantes.

Las letras que utiliza ALCO CONTROLS para asignar las diferentes cargas del elemento de poder, son como sigue:

L ..... - Carga líquida.
G ..... - Carga gaseosa.
C, Z ..... - Cargas cruzadas líquidas.
CA ..... - Carga cruzada gaseosa
W-MOP ..... - Carga cruzada gaseosa con MOP.
W ..... - Carga de adsorción.

Válvulas de Termo Expansión de Puerto Balanceado

Vimos en el tema de "Fluctuación" , que el patrón de flujo de una válvula de termo expansión de un sólo puerto, puede causar dificultades en condiciones de baja carga. Mientras más grande el área del puerto (tonelajes más grandes), más propensa está la válvula a fluctuar u oscilar.

En años pasados, cuando la energía no era tan costosa, los técnicos en refrigeración especulaban con sus sistemas. Con frecuencia, las temperaturas de condensación andaban cerca de los 40°C y utilizaban mucha más energía; pero lo que hacían era derramar más agua sobre el condensador, para compensar por el amplio rango de condiciones ambientales cambiantes, y todos se sentían satisfechos con los resultados.

Pero los tiempos cambian. Muchos de los sistemas en la actualidad emplean temperaturas de condensación bases en el rango de 16° a 21°C. Son más eficientes, proporcionan mayor capacidad y duran más. Pero también pueden desbalancearse con mayor facilidad, cambiando el sobre-

Aplicaciones Típicas	Rangos de Operación										
R-12											
Refrigeradores Domésticos y Congeladores Fabricadores de Hielo					FC						
Deshumudificadores Transportes Refrigerados		FZ									
Temperatura Media Equipos de Supermercados		FW 15 (MOP)									
Temperatura Media Refrigeración Comercial		FW 35 (MOP)									
R-22											
Aire Acondicionado Residencial y Bombas de Calor	HW 100										
						HW					
Chillers Comerciales e Industriales					HC						
Equipos de Super Mercados Temperatura Media		HW 35 (MOP)									
Manejadoras de Aire Comerciales y Equipos VAV Refrigeración Comercial		HW 65 (MOP)									
		HZ									
R-502											
Congeladores y Auto Servicio Baja Temperatura					RC						
Aire Acondicionado Comercial		RZ									
Máquinas Fabricadoras de Hielo. Fabricadoras de Helado Suave		RW 45 (MOP)									
Cámaras Ambientales		RW 65 (MOP)									
RANGOS DE TEMPERATURA °F	-50°	-40°	-30°	-20°	-10°	0°	+10°	+20°	+30°	+40°	+50°
RANGOS DE TEMPERATURA °C	-45°	-40°	-34°	-29°	-23°	-18°	-12°	-6.6°	-1°	+5°	+10°

Tabla 6.39 - Selector de cargas para Válvulas de Thermo Expansión de ALCO CONTROLS.

calentamiento, la capacidad y la eficiencia, y quizás aún, inundando el compresor.

Una solución útil al problema del desbalance, es una idea que surgió hace más de 30 años: las válvulas de puerto balanceado (algunas veces llamadas: "válvulas de doble puerto"). En efecto, las válvulas de puerto balanceado "balancean" el sistema, operando a un sobrecalentamiento constante, sobre un rango muy amplio de presión hidrostática y de variaciones de carga.

En una válvula de termo expansión convencional, como la de la figura 6.11, con la dirección del flujo de tal forma que la presión de entrada está aplicada debajo de la aguja, al aumentar la presión, la válvula tiende a moverse en la dirección de abrir. Inversamente, cuando la presión de entrada baja, la válvula tiende a moverse en la dirección de cerrar. Este cambio en la posición de la aguja de la válvula, con un cambio en la presión de entrada, se conoce como desbalance. El resultado, una operación errática y una variación en el ajuste original del sobrecalentamiento. El mismo fenómeno ocurre cuando la presión de salida (evaporador) varía al cambiar las condiciones de carga, con los mismos resultados.

La diferencia en construcción de los dos tipos de válvulas hace toda la diferencia. En la válvula de puerto balanceado, como la mostrada en la figura 6.40, una pequeña flecha conecta la aguja de la válvula a la varilla ajustada arriba de la línea de apertura. Esta área es igual al área efectiva del puerto.

Cuando se aplica una presión aumentada, ésta empuja sobre las dos, la aguja y la varilla. Debido a que está actuando sobre dos áreas iguales, pero en direcciones opuestas, el cambio de presión se cancela y la válvula permanece en su posición moduladora original.

La válvula está diseñada de tal manera que crea un "contra-flujo" en contra las válvulas, y por lo tanto, elimina cualquier desequilibro a través de los dos puertos. Ver figura 6.41.

El flujo a través del puerto superior, entra en los orificios radiales superiores de la caja del ensamble del asiento, se mueve hacia arriba a través del asiento superior, luego hacia abajo, a través del pasaje interno del carrete, y sale de los orificios que se encuentran en la parte inferior del carrete. La caída de presión a través de este puerto, ejerce una fuerza en la dirección de cerrar (hacia arriba).

El flujo a través del puerto inferior, entra en los orificios radiales inferiores de la caja del ensamble del asiento y se mueve hacia abajo, a través del puerto formado por el asiento de la caja y el carrete de la válvula. El líquido a alta

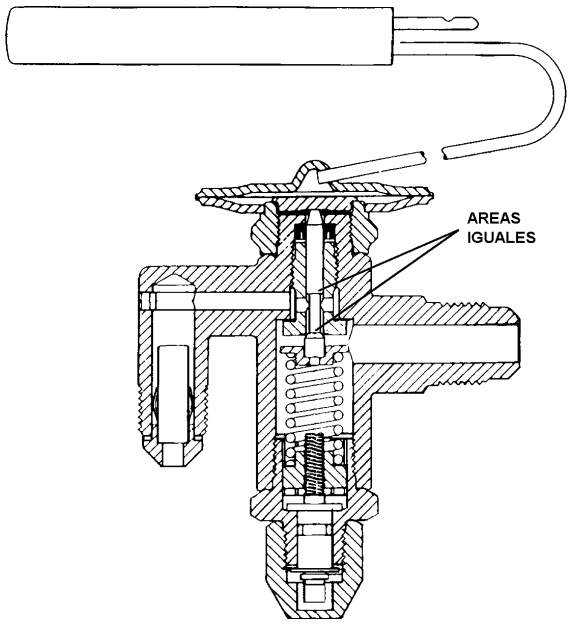


Figura 6.40 - Fuerzas balanceadas en una válvula de doble puerto o puerto balanceado.

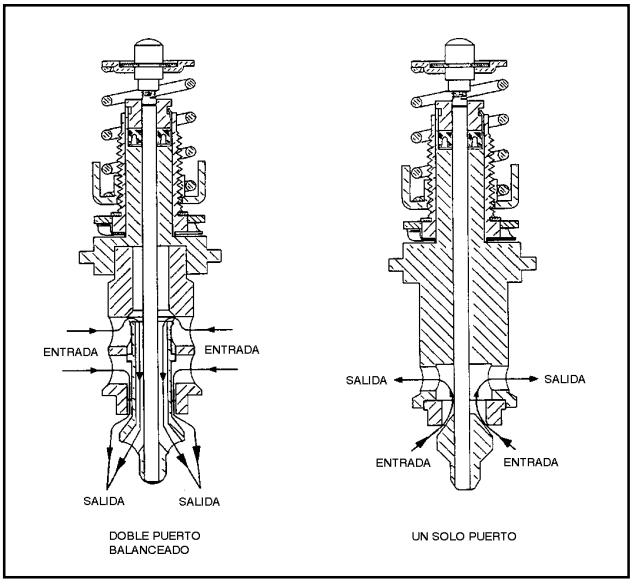


Figura 6.41 - Ensambles de la caja de aguja y asiento para una válvula de puerto balanceado y una válvula ordinaria.

presión actúa hacia abajo sobre el carrete y la caída de presión a través del carrete, y el asiento ejerce una fuerza en dirección de abrir.

Puesto que el área de puerto efectiva, tanto de los puertos de la caja superior e inferior, es casi la misma, la fuerza neta desbalanceada a través de estos es insignificante. Esta característica hace posible que las nuevas cajas de ensamble de doble puerto, modulen sobre un rango de cargas mucho más amplio de lo que era posible con el estilo tradicional de válvulas de un solo puerto. Las válvulas de flujo reversible, proporcionan un control satisfactorio a cargas menores del 15% de la capacidad nominal de la válvula. Su funcionamiento es superior a cualquier producto competitivo disponible. El funcionamiento real en el campo, ha demostrado la superioridad de las válvula s de termo expansión de doble puerto, así como su habilidad para reducir la fluctuación a un mínimo.

Parecería entonces, que una válvula de termo expansión de puerto balanceado es el "cura todo" del sistema. Pero, aunque las válvula de termo expansión permitirían que un sistema opere en un rango ligeramente más amplio de presión hidrostática y condiciones de carga, deberán seleccionarse adecuadamente, para asegurar un funcionamiento adecuado del sistema.

Normalmente, una válvula de termo expansión con la conexión adecuada, trabajará bien en el sistema para el cual fue diseñada. Cuando se selecciona el tamaño adecuado, esta mantendrá operando el sistema a una eficiencia alta, con buena economía.

Cómo Seleccionar una Válvula de Termo expansión

Supongamos que en un sistema se va a reemplazar la válvula de termo expansión porque falló, y no se conoce su capacidad. ¿Qué se debe hacer? Si se instala una válvula de mayor tamaño, va a funcionar erráticamente o a inundar el evaporador. Si la válvula es muy pequeña, no alimentará suficiente, lo cual también puede causar daño al compresor.

Los fabricantes de válvulas de termo expansión las clasifican en base a un conjunto específico de condiciones y normas, determinadas por el Instituto de Refrigeración y Aire Acondicionado (ARI), o por la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE). Esta clasificación es nominal, y es la que viene grabada en la placa y en la caja de la válvula. De acuerdo a la norma 750 de ARI, la capacidad nominal se determina a una temperatura en el evaporador de 40°F (4.4°C), y a una caída de presión a través de la válvula de 60 psi (414 kPa) para el R-12, el R-134a y el R-500, y 100 psi (690 kPa) para el R-22 y el R-502. Además, el refrigerante que llega a la entrada de la válvula debe ser completamente líquido, estar libre de vapor y debe estar a una temperatura de 100°F (37.8°C).

Todos los fabricantes de válvulas de termo expansión clasifican sus válvulas de acuerdo a esta norma, y publican sus valores en forma de tablas en sus respectivos catálogos, para diferentes refrigerantes y a varias temperaturas de evaporación. Si la temperatura del refrigerante que llega a la válvula es diferente a 100°F (37.8°C), se proporciona una tabla con factores para hacer la corrección. Esta clasificación o capacidad nominal, puede ser muy diferente a la que realmente se requiere en el trabajo. Si se confía en la etiqueta o en la placa y se sigue ciegamente, puede resultar caro por las vueltas que haya que dar para revisar el equipo.

Cada fabricante de válvulas tiene una herramienta para ayudarle al técnico a determinar exactamente cuál válvula va en cada aplicación. Esta se llama *Carta de Capacidad*

Extendida, y muestra lo que cada válvula puede hacer en cada situación. Estas cartas o tablas, generalmente se publican en el catálogo.

Para usar estas cartas, es necesario determinar cuatro datos básicos, además del refrigerante usado en el sistema:

- La capacidad del sistema de refrigeración.
- La temperatura del líquido que entra a la válvula.
- La temperatura de saturación del evaporador.
- La caída de presión a través de la válvula.

Para obtener esta información, se recomienda lo siguiente:

1. La Capacidad del Sistema de Refrigeración. Debe determinarse el tamaño del sistema en kcal/h o toneladas de refrigeración (1 T.R. = 3,024 kcal/h). Si se tiene disponible, debe revisarse la literatura del fabricante del sistema; si no se tiene disponible ningún tipo de literatura del fabricante, deberá encontrarse la clasificación del compresor en su placa. No debe tratarse de igualar la válvula a esa clasificación, porque puede variar dependiendo de la temperatura deseada en el espacio refrigerado. La temperatura promedio de un evaporador de aire acondicionado es de 5°C; para refrigeración, es de 3° a 8°C abajo de la temperatura del producto más frío almacenado.

Así pues, la capacidad del compresor en refrigeración, puede ser considerablemente menor que su capacidad nominal en la placa. Sirve solamente como una guía para la verdadera clasificación de la válvula.

2. Temperatura del Líquido que Ingresa a la Válvula . Para que la lectura sea lo más precisa posible, esta temperatura se determina con un termómetro de los que se fijan a la tubería con una correa, o con uno similar. Como ya se mencionó antes, las capacidades nominales de las válvulas, se establecen a una temperatura del refrigerante líquido, libre de vapor, en la entrada de la válvula de 100°F (37.8°C). Si la temperatura del líquido medida a la entrada de la válvula, es mayor o menor de 100°F, en las cartas de capacidad extendidas se muestran unos factores de corrección que servirán para hacer la compensación.

Puesto que la capacidad y rendimiento de la válvula de termo expansión está basada en el refrigerante líquido que entra, se deberá prestar especial cuidado a la caída de presión total en la línea de líquido. Si esta caída de presión es muy grande, el refrigerante líquido se evaporará antes de llegar a la válvula, formando lo que se conoce como "Flash Gas". En este caso, se le deberá proporcionar un sub-enfriamiento al refrigerante líquido a la salida del condensador (ver capítulo de Indicadores de Líquido y Humedad), para asegurar que el refrigerante entre a la válvula totalmente líquido, todo el tiempo.

3. Temperatura de Saturación del Evaporador. Si no se conoce esta temperatura, se puede estimar siguiendo la guía del punto 1. Debe ser menor que la temperatura requerida en el espacio refrigerado; si no, no se llevaría a cabo la transmisión de calor.

Si se observa detenidamente la tabla de capacidades del catálogo de Valycontrol, S.A. de C.V., se notará que la capacidad de una válvula de termo expansión disminuye al bajar la temperatura del evaporador. Esto se debe a que a menor temperatura de evaporación, se reduce el calor latente absorbido por kg. de refrigerante líquido. Como resultado, se reduce el efecto global de refrigeración. La temperatura deseada en el evaporador, es importante, cuando se desea seleccionar correctamente el tamaño de una válvula de termo expansión.

4. Caída de Presión a Través de la Válvula. Aquí, cabe aclarar, que lo que se debe determinar es la diferencia entre la presión del lado de entrada de la válvula y la presión del lado de la salida. No debe caerse en el error común, de simplemente sacar la diferencia entre las presiones de descarga y de succión del compresor. Puede que también sea necesario estimar la caída de presión debida a longitudes de tubería o a conexiones y accesorios, tales como válvulas de paso, solenoides, filtros, distribuidores, etc...

La presión a la salida de la válvula será más alta que la presión de succión indicada en el compresor, debido a pérdidas por fricción a través del distribuidor, de los tubos del evaporador, conexiones, válvulas y filtros.

La presión a la entrada de la válvula será más baja que la presión de descarga indicada en el compresor, debido a pérdidas por fricción creadas por la longitud de la línea de líquido, tubería del condensador, válvulas, conexiones, filtros y otros accesorios y, posiblemente, por alguna tubería vertical con flujo ascendente. La única excepción a esto es cuando la válvula está ubicada considerablemente abajo del recibidor, y la presión estática que se acumula es más que suficiente para contrarrestar las pérdidas por fricción. El diámetro de la línea de líquido deberá seleccionarse adecuadamente, dando la debida consideración a su longitud, además de la longitud equivalente adicional por el uso de conexiones y válvulas. Cuando sea necesario un levantamiento vertical en la línea de líquido, deberá incluirse una caída de presión adicional por la pérdida de presión estática.

En resumen, la caída de presión a través de la válvula de termo expansión, será la diferencia entre las presiones de descarga y succión en el compresor, menos las caídas de presión en la línea de líquido y la de succión. Algunas veces habrá que consultar tablas para determinar las caídas de presión, tanto en tubería como en conexiones, válvulas y accesorios. (Ver tabla 15.28, capítulo "Información Técnica").

Así que, cuando no se conozca el tamaño exacto de la válvula, tómese unos cuantos minutos para seguir los pasos recomendados y podrá hacer la selección más adecuada. Vale la pena invertir este tiempo por la satisfacción que deja el haber hecho la mejor elección, y también, para ahorrarse las molestias y costosas llamadas para regresar a hacer reparaciones.

A continuación ponemos algunos ejemplos de selección.

Ejemplo 1 - Reemplazo de una válvula de termo expansión en un sistema de refrigeración comercial con R-134a, como el que se muestra en la figura 6.42. La capacidad del sistema es de 2.5 TR (7,560 kcal/h) y es para conservación de productos lácteos.

Siguiendo los pasos mencionados anteriormente, los valores que nos falta determinar son la temperatura del líquido, la temperatura de evaporación y la caída de presión a través de la válvula.

Generalmente, en la conservación de productos lácteos, la temperatura de estos debe ser de 4°C (40°F); por lo que la temperatura de evaporación es menor que la del producto, digamos -2°C (28°F).

Tal como se mencionó anteriormente, la temperatura del líquido a la entrada de la válvula, se determina midiendo directamente en la tubería con un termómetro. Si el sistema no está operando y no hay manera de medir la temperatura directamente, podemos estimarla a partir de los datos de diseño, es decir, si la temperatura de condensación es de 35°C, el líquido llegará a la válvula a una temperatura menor, dependiendo de la caída de presión que haya en la línea de líquido. Digamos que para este ejemplo la temperatura es de 32°C (90°F).

Para determinar la caída de presión a través de la válvula, tomamos como referencia las presiones de descarga y de succión medidas en el compresor. Digamos que éstas son de 115 y 20 psig, respectivamente. Refiriéndonos a la figura 6.42, podemos determinar las caídas de presión en la línea de líquido y en la línea de succión. Existen tablas donde viene la longitud equivalente para conexiones, válvulas y accesorios. Deben considerarse, además, las pérdidas por fricción en el condensador, el evaporador y las tuberías. Para este ejemplo, digamos que la caída de presión en la línea de líquido es de 10 psi, por lo que la presión del refrigerante a la entrada de la válvula, es de 115 - 10 = 105 psi. Haciendo las mismas consideraciones en la línea de succión, la caída de presión a través del evaporador, del filtro de succión y por la tubería, es de 5 psi; por lo que la presión a la salida de la válvula es 20 + 5 = 25 psig. La caída de presión a través de la válvula es de 105 - 25 = 80 psig.

En la figura 6.43 se muestra un segmento de la carta de capacidad extendida para R-134a, tomado del catálogo de Valycontrol, S.A. de C.V.

El siguiente paso es seleccionar la válvula. Primero, entramos con la temperatura de evaporación, que en nuestro caso, es de -2°C (28°F). Como este valor cae entre las columnas de 40° y 20°F, interpolamos a un valor interme-

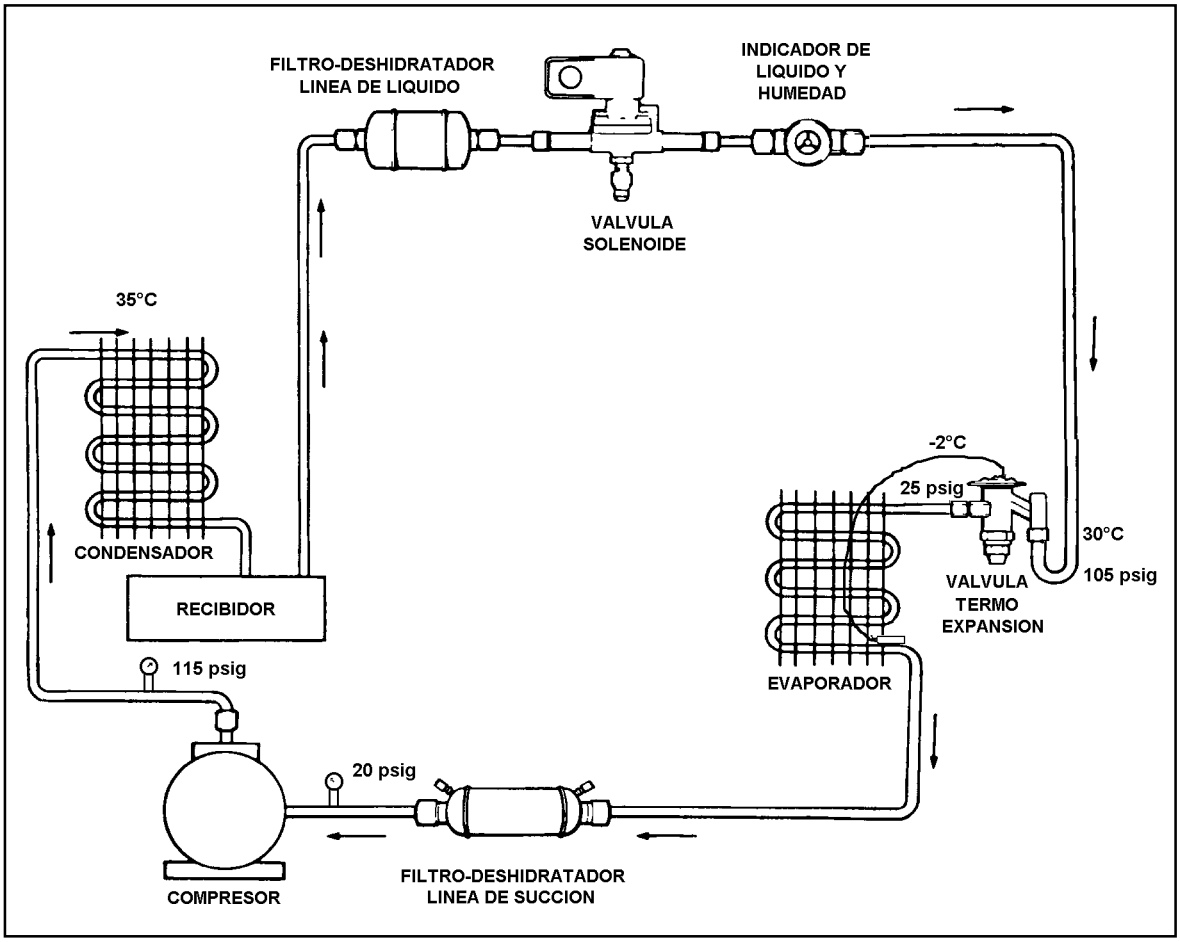


Figura 6.42 - Diagrama de un sistema de refrigeración típico con R-134a.

HF	R-134a																	
NUMER CATAL	50°F (10°C)						40°F (4°C)						20°F (-7°C)					
	Caída de Presión a través de la Válvula -PSI-																	
	60	80	100	125	150	175	60	80	100	125	150	175	60	80	100	125	150	175
HF1/4M	0.21	0.24	0.27	0.30	0.33	0.35	**0.2**	0.23	0.26	0.29	0.32	0.35	0.19	0.22	0.25	0.28	0.31	0.33
HF1/2M	0.39	0.45	0.51	0.56	0.62	0.67	**0.3**	0.44	0.49	0.55	0.61	0.65	0.37	0.42	0.47	0.53	0.58	0.63
HF3/4M	0.70	0.80	0.90	1.01	1.10	1.19	**0.6**	0.79	0.88	0.98	1.08	1.17	0.65	0.75	0.84	0.94	1.03	1.11
HF1M	1.06	1.23	1.37	1.54	1.68	1.82	**1.0**	1.20	1.34	1.50	1.65	1.78	1.00	1.15	1.29	1.44	1.57	1.70
HF1-1/2	1.43	1.65	1.85	2.06	2.26	2.44	**1.4**	1.62	1.81	2.02	2.21	2.39	1.34	1.55	1.73	1.93	2.12	2.29
HF1-3/4	1.83	2.12	2.37	2.65	2.90	3.13	**1.8**	2.07	2.32	2.59	2.84	3.07	1.72	1.98	2.22	2.48	2.71	2.93
HF2-1/2	2.42	2.80	3.13	3.49	3.83	4.13	**2.3**	2.74	3.06	3.42	3.75	4.05	2.27	2.62	2.93	3.27	3.58	3.87
HF4M	4.30	4.97	5.56	6.21	6.80	7.35	**4.2**	4.87	5.44	6.08	6.66	7.20	4.03	4.65	5.20	5.82	6.37	6.88
HF6M	5.99	6.92	7.73	8.65	9.47	10.2	**5.8**	6.77	7.57	8.47	9.27	10.0	5.61	6.48	7.24	8.10	8.87	9.58
HF7-1/2	7.58	8.75	9.79	10.9	11.9	12.9	**7.4**	8.57	9.58	10.7	11.7	12.6	7.10	8.19	9.16	10.2	11.2	12.1
HF11M	11.2	12.9	14.5	16.2	17.7	19.2	**11.**	12.7	14.2	15.9	17.4	18.8	10.5	12.1	13.5	15.2	16.6	17.9

Tabla 6.43 - Segmento de la tabla de capacidad extendida.

	Temperatura de Refrigerante Líquido °F (°C)														
	0 (-18)	10 (-12)	20 (-7)	30 (-1)	40 (4)	50 (10)	60 (16)	70 (21)	80 (27)	90 (32)	100 (38)	110 (43)	120 (49)	130 (54)	140 (60)
R12 Factores de Corrección	1.60	1.54	1.48	1.42	1.36	1.30	1.24	1.18	1.12	1.06	1.00	0.94	0.88	0.82	0.75
R134a Factores de Corrección	1.64	1.58	1.52	1.45	1.39	1.32	1.27	1.21	1.11	1.07	1.00	0.93	8.87	0.81	0.73
R22 Factores de															

Tabla 6.44 - Tabla de factores de corrección de la capacidad real de una válvula cuando la temperatura del líquido es diferente de 100°F (37.8°C).

dio. Enseguida, como la caída de presión a través de la válvula es de 80 psi y la capacidad del sistema es de 2.5 TR, tomamos los valores en la columna de 80, donde cruzan con la capacidad nominal de 2.5 TR, correspondiente al modelo HF 2-1/2 M. En la columna de 40°F, tenemos un valor de 2.74 y en la de 20°F un valor de 2.62. El valor promedio entre estos dos es de 2.68 TR, lo que nos indica que la selección es adecuada, ya que el valor resultante debe ser igual o ligeramente mayor que el tonelaje del sistema. Pero además, hay que corregir este valor, utilizando los factores de la tabla 6.44, ya que la temperatura del líquido es menor de 37.8°C (100°F). La temperatura del líquido a la entrada de la válvula para este ejemplo es de 32°C (90°F); por lo que el factor de corrección en la tabla 6.44, es el correspondiente a la intercepción de R-134a y 90°F, o sea, 1.07.

La capacidad real de la válvula de expansión seleccionada, una vez instalada en nuestro sistema, será de: 2.68 x 1.07 = 2.86 TR.

Ejemplo 2 - Se tienen los siguientes datos:
Refrigerante del sistema = R-502 (baja temperatura).
Capacidad del evaporador = 12 TR (36,288 kcal/h).
Temperatura de evaporación = -25°C (-13°F).
Temperatura de condensación = 49°C (120°F).
Caída de presión en tuberías, conexiones y accesorios = 10 psi.

Para el R-502 a una temperatura de condensación de 49°C (120°F), corresponde una presión de 283 psig, y a una temperatura de evaporación de -25°C (-13°F), corresponde una presión de 20 psig. La presión de condensación, menos la presión de evaporación es 283 - 20 = 263 psi. A este valor se le resta la caída de presión en las líneas, y tenemos que la caída de presión a través de la válvula es de 263 - 10 = 253.

Con estos datos, nos vamos a las cartas de capacidad extendida en el catálogo, y vemos que para R-502, la válvula que anda en el rango de 12 TR, es el modelo TRAE12R. Nuevamente, como la temperatura de evaporación cae en un valor intermedio de los que vienen en la carta, interpolamos entre las temperaturas de -10° y -20°F, entrando con una caída de presión de 250 psi. Los valores de la tabla son 15.7 TR a -10°F y 13.1 TR a -20°F, por lo que el valor interpolado es de 14.19 TR. Como la temperatura del líquido es diferente a los 100°F, tenemos que hacer la corrección correspondiente. De la tabla de factores de corrección, vemos que a 43°C (110°F) para R-502, es 0.91; por lo que la capacidad real de la válvula será 14.9 x 0.91 = 13.5 TR. En este ejemplo, la caída de presión de 10 psi, es la diferencia entre la presión de la línea de líquido y la de la línea de succión, por lo que simplemente se resta de la diferencia entre las presiones de descarga y de succión.

El factor de corrección se selecciona a la temperatura de 43°C, y no a la de condensación (49°C), ya que se considera que hay una caída de temperatura entre la descarga del compresor y la entrada a la válvula de termo expansión. También, está válvula deberá ser con igualador externo debido a la caída de presión en el evaporador. La conexión es soldable.

Ejemplo 3 - Se tienen los siguientes datos:
Refrigerante = R-22 (sistema de aire acondicionado).
Capacidad del evaporador = 7.5 TR (22,680 kcal/h).
Temperatura de evaporación = 5°C (41°F).
Temperatura de condensación = 35°C (95°F).
Caída de presión en tuberías, conexiones y accesorios = 12 psi.

Para el R-22 a una temperatura de 5°C, corresponde una presión de 70 psig, y a 35°C, corresponde una presión de 182 psig. La diferencia entre estas presiones es de 182 - 70 = 112 psi. Si restamos a este valor la caída de presión en tuberías, conexiones y accesorios, tenemos que la caída de presión a través de la válvula es de 112 - 12 = 100 psi.

De la carta de capacidad extendida en el catálogo, tenemos que el modelo seleccionado es la válvula TCL7-1/2H, la cual a una temperatura de evaporación de 40°F da un valor de 7.4 TR. Nuevamente, tenemos que corregir este valor, ya que la temperatura del líquido entra a menos de 100°F. De la tabla de factores de corrección a 90°F, el factor es 1.06, por lo que la capacidad real de la válvula seleccionada a las condiciones de operación, es de 7.4 x 1.06 = 7.84 TR.

Medición y Ajuste del Sobrecalentamiento

A menos que se especifique lo contrario, todos los fabricantes de válvulas de termo expansión, ajustan las válvulas a un sobrecalentamiento estándar, el cual es suficiente para que la válvula funcione a su capacidad nominal. Generalmente, este ajuste es suficiente para que la válvula opere adecuadamente y no es necesario cambiarlo. Algunos fabricantes ajustan el sobrecalentamiento a una "temperatura de baño", la cual es codificada alfabéticamente sobre la placa como se muestra en la figura 6.45. Así pues, una válvula con un "10A" estampado en la placa, ha sido ajustada a un sobrecalentamiento estático de 10°F (5.6°C) con un baño de 32°F (0°C). De manera similar una válvula estampada con "10C", ha sido ajustada a un sobrecalentamiento estático de 10°F (5.6°C) con un baño de 0°F (-18°C).

Con frecuencia se refiere al sobrecalentamiento como el "pulso" de la válvula de termo expansión. El sobrecalentamiento es importante para evaluar el funcionamiento de una válvula, sobre todo, para hacer un buen diagnóstico cuando se sospecha que la válvula es la que está fallando. Para conocer el sobrecalentamiento que está manteniendo una válvula de termo expansión en un sistema de refrigeración, se necesita determinar los valores que son: la presión y la temperatura del gas de succión, justo en el sitio donde está ubicado el bulbo de la válvula. Con un termómetro de precisión adecuado, se puede medir la temperatura directamente sobre la línea de succión . Se puede utilizar un termómetro de bolsillo para refrigeración, con abrazadera apropiada para el bulbo; o bien, se puede ser aun más preciso, utilizando un potenciómetro (termómetro eléctrico) con termopares (cables y sondas).

Temp. de Baño	Letra del Código
32°F (0°C)	A
10°F (-12°C)	B
0°F (-18°C)	C
-10°F (-23°C)	D
-20°F (-29°C)	E

Tabla 6.45 - Diferentes "Temperaturas de baño" a las que se ajusta el sobrecalentamiento de fábrica.

El elemento sensor de su termómetro deberá ser fijado con cinta en la línea de succión, en el punto donde está ubicado el bulbo, y deberá aislarse contra el medio ambiente. Los elementos de temperatura de este tipo, así como los termómetros, si no se aislan, darán una lectura promedio de la línea de succión y el ambiente.

La presión se puede medir por dos métodos:

1) Si la válvula cuenta con igualador externo, se puede instalar una conexión "T" en la línea del igualador externo, y medir allí directamente la presión con un manómetro calibrado. Suponiendo que se cuenta con un manómetro y medidor de temperatura exactos, este método proporcionará lecturas de sobrecalentamiento lo suficientemente exactas para todo fin práctico.

2) Si la válvula no cuenta con igualador externo, la presión se mide en la válvula de servicio de succión del compresor. Con este segundo método se pueden hacer dos consideraciones:
a) Estimar la caída de presión en la línea de succión por las conexiones, accesorios y tuberías, y sumar éste valor a la presión leída en el compresor. El resultado será la presión que se tiene en el sitio donde está ubicado el bulbo.
b) Si el equipo es muy compacto, donde no se considera caída de presión en la línea de succión, la presión será entonces la misma que la leída en la válvula de servicio del compresor.

Puesto que las estimaciones de caída de presión en la línea de succión, generalmente, no son lo suficientemente precisas para proporcionar una perspectiva real de sobrecalentamiento, no se puede confiar en este método para obtener valores absolutos. Cabe hacer notar que el error en este caso siempre será positivo, y que el sobrecalentamiento resultante, será mayor que el valor real.

Volviendo a expresar lo anterior, el único método de verificar el sobrecalentamiento que arrojará un valor absoluto, es en el que se obtienen las lecturas de presión y temperatura a la salida del evaporador.

Otros métodos empleados arrojarán un sobrecalentamiento ficticio, el cual puede resultar engañoso, cuando se utiliza para analizar el funcionamiento de una válvula de termo expansión.

Al darse cuenta de las limitaciones de estos métodos aproximados y de la dirección del error, con frecuencia es posible determinar que la causa de una aparente avería en la válvula, se debe al uso de métodos inadecuados de instrumentación, más que a un mal funcionamiento.

Otro error más que se presentará al detectar fallas en áreas montañosas o lugares muy altos sobre el nivel del mar, es la baja presión manométrica, comparadas con las lecturas al nivel del mar. Utilice una tabla de presión-temperatura que tenga lecturas corregidas a 1500 o a 2000 m. (Ver tabla 13.6, capítulo "Psicrometría").

Ejemplos de Cómo Medir el Sobrecalentamiento

Enseguida, veremos un ejemplo de cada uno de los métodos descritos anteriormente, acerca de la medición del sobrecalentamiento.

Ejemplo 1 - Cuando la válvula cuenta con igualador externo, en un sistema con R-22.
Refiriéndonos a la figura 6.46, primero determinamos la temperatura del vapor sobrecalentado a la salida del evaporador, justo en el sitio donde está ubicado el bulbo. Para hacer esto, se necesita primero limpiar el área del tubo de succión donde se va a hacer la medición, y fijar el termopar con cinta aislante. Digamos que la temperatura obtenida sea de 11°C.

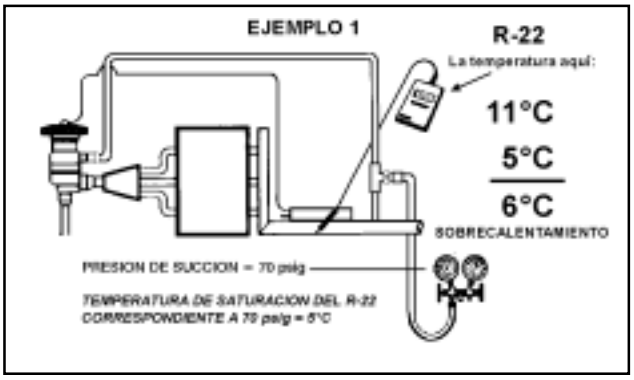


Figura 6.46 - Ejemplo de medición del sobrecalentamiento para una válvula con igualador externo y R-22.

Enseguida, se determina la presión de succión con un manómetro calibrado. Este manómetro se conecta a una "T", previamente instalada en la línea del igualador externo. Dependiendo de la facilidad de acceso que se tenga, la conexión "T" puede instalarse en cualquiera de los dos extremos de la línea del igualador, como se muestra en la figura 6.46. También se puede hacer una desviación, utilizando las mangueras del múltiple de servicio. Supongamos que la presión leída sea de 70 psig. De la tabla de presión-temperatura, se determina la temperatura de saturación para el R-22, correspondiente a la presión leída, que en este caso es de 5°C.

El sobrecalentamiento va a ser el valor que resulte de restar la temperatura de saturación (5°C) de la temperatura sensible medida en el primer paso (11°C); es decir: Sobrecalentamiento = 11°C - 5°C = 6°C.

Ejemplo 2 - Cuando la válvula no cuenta con igualador externo, en un sistema con R-134a.
Refiriéndonos a la figura 6.47, el método alterno para determinar el sobrecalentamiento cuando la válvula no cuenta con igualador externo, o en instalaciones estrechamente unidas, es el siguiente: primero, determinamos la temperatura del vapor sobrecalentado a la salida del evaporador, de la misma manera que el ejemplo anterior. Digamos que la temperatura es de 2°C.

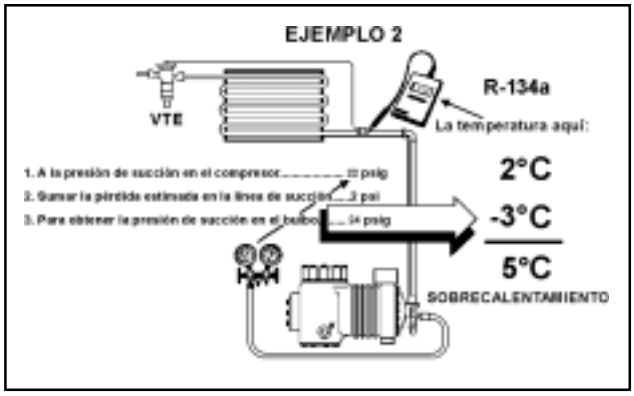


Figura 6.47 - Medición del sobrecalentamiento en una válvula sin igualador externo y R-134a.

Medimos la presión de succión con un manómetro calibrado, directamente en la válvula de servicio de succión del compresor; en este caso, la presión es de 22 psig. Enseguida, estimamos la pérdida de presión por conexiones y accesorios en la línea de succión. Para nuestro ejemplo, consideramos esta caída de presión de 2 psi. Sumamos este valor a la presión obtenida en la válvula de servicio del compresor, para obtener la presión de succión a la salida del evaporador, que es la que necesitamos:
Presión de succión = 22 psig + 2.0 psi = 24 psig.

De la tabla de presión-temperatura para R-134a, determinamos la temperatura de saturación correspondiente a esta presión, que para este ejemplo es de -3°C.

Nuevamente, el sobrecalentamiento será el valor que resulte de restar la temperatura de saturación (-3°C) a la temperatura sensible medida en el primer paso (2°C); es decir:

Sobrecalentamiento = 2°C - (-3)°C = 5°C.

Como regla general, el sobrecalentamiento a la salida del evaporador, independientemente del refrigerante que se está utilizando, deberá estar aproximadamente dentro de los siguientes valores:

1. Alta temp. (temp. evap. 0°C o mayor) entre 6° y 7°C.
2. Temp. media (temp. evap. -18° a 0°C) entre 3° y 6°C.
3. Baja temp. (temp. evap. abajo de -18°C) entre 1° y 3°C.

Cómo Ajustar el Sobrecalentamiento

Normalmente, todas las válvulas de termo expansión tendrán un buen funcionamiento con el ajuste pre-establecido de la fábrica, y por lo general, no es necesario modificarlo. Aunque ocasionalmente, en muy pocos sistemas, el ajuste de sobrecalentamiento puede requerir alguna modificación en la instalación, sin importar la marca de la válvula.

Antes de ver el procedimiento para variar el sobrecalentamiento, es conveniente conocer cómo se hace el ajuste de fábrica.

El sobrecalentamiento en lo que a válvulas de termo-expansión se refiere, puede dividirse en tres categorías:

Sobrecalentamiento estático - Es el sobrecalentamiento necesario para contrarrestar la fuerza del resorte, de tal manera, que cualquier sobrecalentamiento adicional causará que se abra la válvula.

Sobrecalentamiento de apertura - Cantidad de sobrecalentamiento que se requiere, para levantar de su asiento la aguja de la válvula, a fin de permitir el flujo de refrigerante hasta su capacidad de clasificación.

Sobrecalentamiento de operación - Bajo condiciones normales, es el sobrecalentamiento al cual opera la válvula en un sistema de refrigeración; o sea, a su capacidad nominal. El sobrecalentamiento de operación, es la suma de los sobrecalentamientos estático y de apertura.

En la figura 6.48, se ilustran los tres sobrecalentamientos. La capacidad de reserva es importante, puesto que proporciona la habilidad para compensar los incrementos sustanciales, que ocasionalmente se presentan como carga en el evaporador, "flash gas" intermitente, reducción en la presión de alta debido a condiciones ambientales bajas, falta de refrigerante, etc...

El ajuste de fábrica del sobrecalentamiento estático, se hace con la aguja de la válvula comenzando a levantarse del asiento. Las termo válvulas están diseñadas de tal manera, que es necesario un incremento en el sobrecalentamiento del gas refrigerante que sale del evaporador, usualmente de 2° a 3°C por arriba del ajuste estático de fábrica, para que la aguja abra hasta su posición de clasificación. Este sobrecalentamiento adicional se conoce como gradiente. Por ejemplo, si el ajuste estático de fábrica es de 3°C, el sobrecalentamiento de operación en la posición de clasificación, será de 5° a 6°C, a menos que se especifique lo contrario. Figura 6.49.

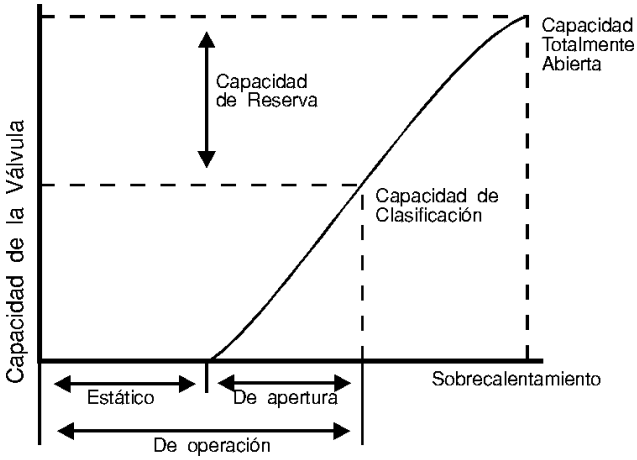


Figura 6.48 - Curva de capacidad vs. sobrecalentamiento, para una válvula de termo expansión típica.

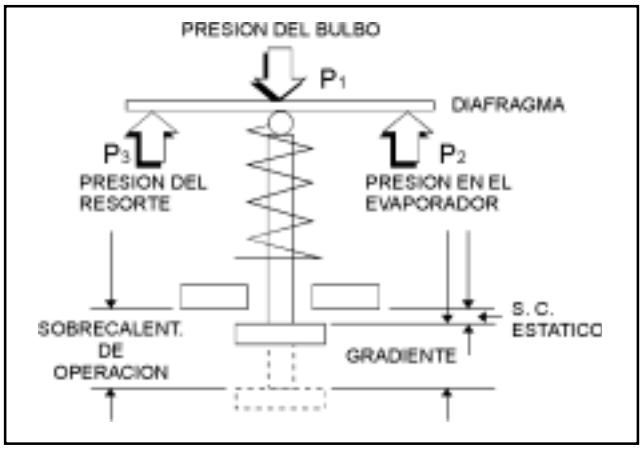


Figura 6.49 - Sobrecalentamiento estático y gradiente de una termo válvula.

Generalmente, los fabricantes proporcionan las termo válvulas del tipo ajustable, con un ajuste de sobrecalentamiento estático de fábrica de entre 3° y 6°C. Si el sobrecalentamiento de operación se eleva innecesariamente, disminuye la capacidad del evaporador.

Si el vástago de ajuste se gira en el sentido de las manecillas del reloj, se aumentará la presión del resorte P_3, aumentando el sobrecalentamiento estático, y se disminuyendo la capacidad de la válvula. Girando el vástago en el sentido contrario a las manecillas del reloj, se disminuye el sobrecalentamiento estático, y se aumenta la capacidad de la válvula dentro de un rango limitado.

Si después de haber hecho la medición correcta del sobrecalentamiento, como se mencionó anteriormente, se determina que hay que hacer un ajuste, el procedimiento más recomendable es el siguiente:

Si el sobrecalentamiento está bajo, habrá que girar el vástago aproximadamente media vuelta en sentido de las manecillas del reloj, esperar de 15 a 30 minutos, hasta que se estabilice el sistema a las nuevas condiciones, y luego hacer otra medición del sobrecalentamiento. Si aún está bajo el sobrecalentamiento, se repite el procedimiento.

Si el sobrecalentamiento está alto, se tendrá que proceder de la misma manera, sólo que girando el vástago de ajuste en el sentido contrario. Es importante, entre una lectura y otra, esperar de 15 a 30 minutos a que se estabilice el sistema.

Capítulo 7

VALVULAS DE SOLENOIDE

Introducción

En la mayoría de las aplicaciones de refrigeración es necesario abrir o detener el flujo, en un circuito de refrigerante, para poder controlar automáticamente el flujo de fluidos en el sistema. Para este propósito, generalmente se utiliza una válvula de solenoide operada eléctricamente. Su función básica es la misma que una válvula de paso operada manualmente; pero, siendo accionada eléctricamente, se puede instalar en lugares remotos y puede ser controlada convenientemente por interruptores eléctricos simples. Las válvulas de solenoide pueden ser operadas por interruptores termostáticos, de flotador, de baja presión, de alta presión, por reloj, o cualquier otro dispositivo que abra o cierre un circuito eléctrico, siendo el interruptor termostático el dispositivo más común utilizado en sistemas de refrigeración.

¿Qué es una Válvula de Solenoide?

La válvula de solenoide es un dispositivo operado eléctricamente, y es utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases en posición completamente abierta o completamente cerrada. A diferencia de las válvulas motorizadas, las cuales son diseñadas para operar en posición moduladora, la válvula de solenoide no regula el flujo aunque puede estar siempre completamente abierta o completamente cerrada. La válvula de solenoide puede usarse para controlar el flujo de muchos fluidos diferentes, dándole la debida consideración a las presiones y temperaturas involucradas, la viscosidad del fluido y la adaptabilidad de los materiales usados en la construcción de la válvula.

La válvula de solenoide es una válvula que se cierra por gravedad, por presión o por la acción de un resorte; y es abierta por el movimiento de un émbolo operado por la acción magnética de una bobina energizada eléctricamente, o viceversa.

Una válvula de solenoide consiste de dos partes accionantes distintas, pero integrales: un solenoide (bobina eléctrica) y el cuerpo de la válvula.

Un electroimán es un imán en el cual las líneas de fuerza son producidas por una corriente eléctrica. Este tipo de imanes es importante para el diseño de controles automáticos, porque el campo magnético puede ser creado o eliminado al activar o desactivar una corriente eléctrica.

El término "solenoide" no se refiere a la válvula misma, sino a la bobina montada sobre la válvula, con frecuencia llamada "el operador". La palabra "solenoide" se deriva de las palabras griegas "solen", que significa canal, y "oide" que significa forma. La bobina proporciona un canal, en el cual se crea una fuerte fuerza magnética al energizar la bobina.

El solenoide es una forma simple de electroimán que consiste de una bobina de alambre de cobre aislado, o de otro conductor apropiado, el cual está enrollado en espiral alrededor de la superficie de un cuerpo cilíndrico, generalmente de sección transversal circular (carrete). Cuando se envía corriente eléctrica a través de estos devanados, actúan como electroimán, tal como se ilustra en la figura 7.1. El campo magnético que se crea, es la fuerza motriz para abrir la válvula. Este campo atrae materiales magnéticos, tales como el hierro y muchas de sus aleaciones. Dentro del núcleo va un émbolo móvil de acero magnético, el cual es jalado hacia el centro al ser energizada la bobina.

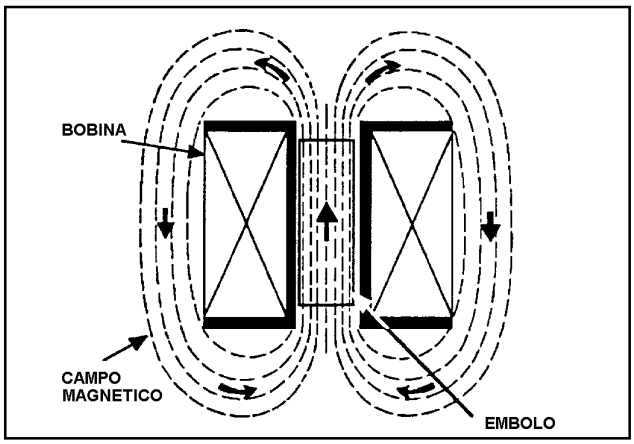


Figura 7.1 - Solenoide energizado.

El cuerpo de la válvula contiene un orificio (puerto), a través del cual fluye el líquido cuando está abierta. La aguja o vástago que abre y cierra el puerto de la válvula, se une directamente a la parte baja del émbolo, en el otro extremo. El vástago o aguja tiene una superficie sellante (asiento). De esta forma, se puede abrir o detener el flujo al energizar o desenergizar la bobina solenoide. Este principio magnético, constituye la base para el diseño de todas las válvulas solenoide.

Principio de Operación

El la figura 7.2 pueden apreciarse las partes principales ya integradas de una válvula de solenoide típica. La aguja de la válvula está unida mecánicamente a la parte inferior del émbolo. En esta válvula en particular, cuando se energiza la bobina, el émbolo es levantado hacia el centro de la bobina, levantando la aguja del orificio donde está sentada, permitiendo así el flujo. Cuando se desenergiza la bobina, el peso del émbolo hace que caiga por gravedad y cierre el orificio, deteniendo el flujo. En algunos tipos de válvulas, un resorte empuja el émbolo para que cierre la válvula; esto permite que la válvula pueda instalarse en otras posiciones diferentes a la vertical.

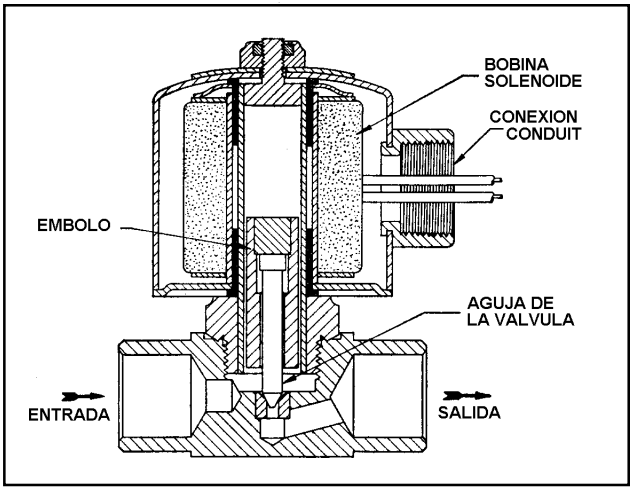


Figura 7.2 -Válvula de solenoide típica de acción directa, normalmente cerrada de dos vías.

Tipos de Válvulas de Solenoide

Existe una amplia variedad de tipos de válvulas solenoide, los cuales se pueden dividir de acuerdo a su aplicación, su construcción y su forma. Entre los fabricantes de válvulas no existe un concenso para diferenciar los tipos por orden de importancia. Aunque recientemente, la práctica más generalizada es dividirlas primeramente, de acuerdo a su aplicación; es decir, a la capacidad del sistema donde va a ser instalada la válvula. Con base en esto, las válvulas solenoide pueden dividirse de manera general, en dos tipos: 1) De acción directa, y 2) Operadas por piloto.

También por su construcción, las válvulas solenoide pueden ser: 1) Normalmente cerradas, 2) Normalmente abiertas y 3) De acción múltiple.

Por su forma, hay tres tipos de válvulas solenoide de uso común: 1) de dos vías, 2) de tres vías y 3) de cuatro vías o reversibles.

Puede haber válvulas solenoide con combinaciones de los tipos mencionados arriba. Por ejemplo, hay válvulas operadas por piloto normalmente abiertas y también normalmente cerradas. La válvula que se muestra en la figura 7.2, es una válvula de acción directa, de dos vías, normalmente cerrada.

A continuación, se describe ampliamente cada tipo de válvula y sus aplicaciones respectivas .

Acción Directa

El solenoide de acción directa, se utiliza en válvulas con baja capacidad y puertos de tamaño pequeño. El émbolo está conectado mecánicamente a la aguja de la válvula. Al energizar la bobina, el émbolo se eleva hacia el centro de la misma, levantando la aguja. Puesto que para operar, este tipo de válvula depende únicamente de la potencia del solenoide, para un diferencial de presión determinado, el tamaño de su puerto está limitado por el tamaño del solenoide. No se utiliza en sistemas de grandes capacidades, porque se requeriría una bobina de gran tamaño para contra-actuar el gran diferencial de presión. La bobina requerida sería grande, costosa y no sería factible para circuitos de muy grande capacidad.

Este tipo de válvula opera desde una presión diferencial de cero, hasta su Diferencial Máximo de Presión de Apertura (MOPD por sus siglas en inglés), independientemente de la presión en la línea. Para mantenerla abierta, no se requiere caída de presión a través de la válvula.

Las siguientes fuerzas actúan sobre una válvula de solenoide para mantenerla cerrada o abierta y fluyendo.

Cuando está cerrada:

a. La presión interna empuja al émbolo hacia abajo al orificio.
b. La gravedad jala al émbolo hacia abajo al orificio. En algunas válvulas, la presión de un resorte también ayuda a mantenerlas cerradas.
c. La diferencia entre la presión alta en la entrada y baja en la salida, mantiene al émbolo sobre el orificio.

Nota: Mientras más grande es el diferencial de presión entre la entrada y la salida, más dificil es abrir la válvula.

Cuando está abierta:

a. El flujo interno que pasa a través del orificio, ayuda a mantener al émbolo abierto.
b. La atracción magnética sostiene arriba al émbolo.

Diferencial Máximo de Presión de Apertura (MOPD)

Mientras más grande sea la presión interna, o mientras más grande sea la diferencia entre las presiones de entrada y salida, más firme se mantiene el émbolo sobre el orificio. Mientras más grande el orificio, más grande es el área afectada por el diferencial de presión, mantenien-

do cerrado al émbolo. Por lo tanto, un orificio pequeño con bajo diferencial de presión, es fácil de abrir magnéticamente. Si aumenta el tamaño del orificio o el diferencial de presión, más difícil se vuelve para jalar al émbolo. Si tanto el área del émbolo, como el diferencial de presión son grandes, es posible que se exceda la capacidad del imán para jalar al émbolo y abrir o cerrar el orificio de la válvula. Cuando esta capacidad del imán es vencida por las fuerzas que mantienen abajo al émbolo, se dice que se ha excedido el MOPD.

Cuando el MOPD es bajo (el área del orificio es chica y la diferencia entre las presiones de entrada y salida es pequeña), la bobina solenoide no requiere de mucho esfuerzo para levantar al émbolo. Al hacerse más grande el orificio y más grande la caída de presión, se requiere una bobina magnética de mayor tamaño, para crear la fuerza magnética que se requiere para accionar el émbolo.

El MOPD se determina por qué tanta atracción magnética se requiere para contrarrestar la fuerza que mantiene abajo el émbolo. Cuando el diferencial de presión está por abajo de la clasificación de MOPD, la válvula de solenoide abrirá o cerrará rápida y fácilmente al ser energizada. Cuando se exceda el MOPD, la válvula no abrirá o cerrará al ser energizada, y podrá sobrecalentarse ocasionando riesgos de peligro, a menos que sea desenergizada rápidamente .

La válvula de acción directa se usa solamente en circuitos de pequeña capacidad. Para grandes capacidades se utilizan válvulas de solenoide operadas por piloto.

Operadas por Piloto

Las válvulas de solenoide operadas por piloto, utilizan una combinación de la bobina solenoide y la presión de la línea. En estas válvulas, el émbolo está unido a un vástago de aguja que cubre un orificio piloto en lugar del puerto principal, tal como se ilustra en la figura 7.3. La presión de la línea mantiene cerrado un pistón flotante o independiente contra el puerto principal, aunque en algunos modelos de válvulas puede ser un diafragma. Hay tres tipos básicos de válvulas operadas por piloto; de pistón flotante, de diafragma flotante y de diafragma capturado.

Cuando la bobina es energizada, el émbolo es accionado hacia el centro de la bobina, abriendo el orificio piloto. Cuando este orificio se abre, la presión atrapada arriba del pistón se libera a través del orificio piloto, creando así un desbalance de presión a través del pistón; la presión abajo ahora es mayor que la presión arriba, forzándolo a subir y abrir el puerto principal. Cuando se desenergiza la bobina solenoide, el émbolo cae y la aguja cierra el orificio piloto, luego, las presiones de arriba y abajo del pistón se igualan nuevamente, y el pistón cae cerrando el puerto principal. En algunos diseños de válvulas de solenoide operadas por piloto, se usa un diafragma en lugar de pistón, para cerrar el puerto principal, tal como se muestra en la figura 7.4. Ordinariamente, en válvulas de tamaño mediano, el orificio piloto se localiza encima del pistón o del diafragma. En válvulas grandes, donde es mayor el movimiento del pistón o diafragma, con frecuencia es necesario ubicar el

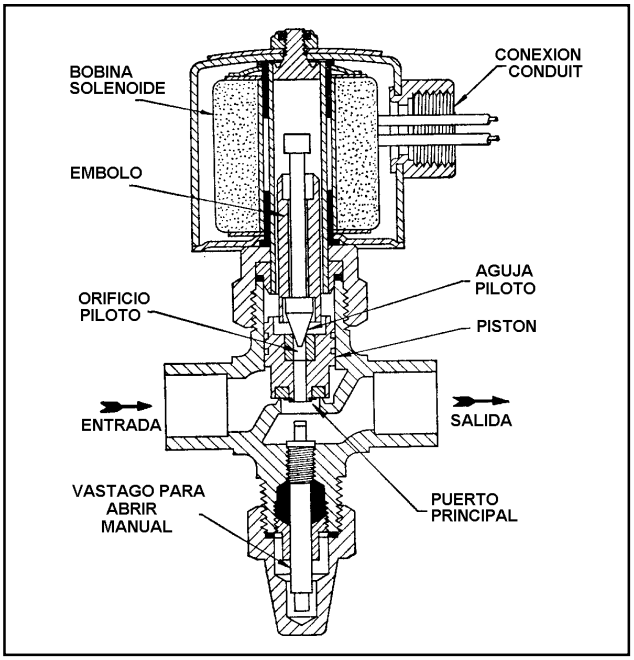


Figura 7.3 - Válvula de solenoide operada por piloto, normalmente cerrada, de dos vías con pistón flotante.

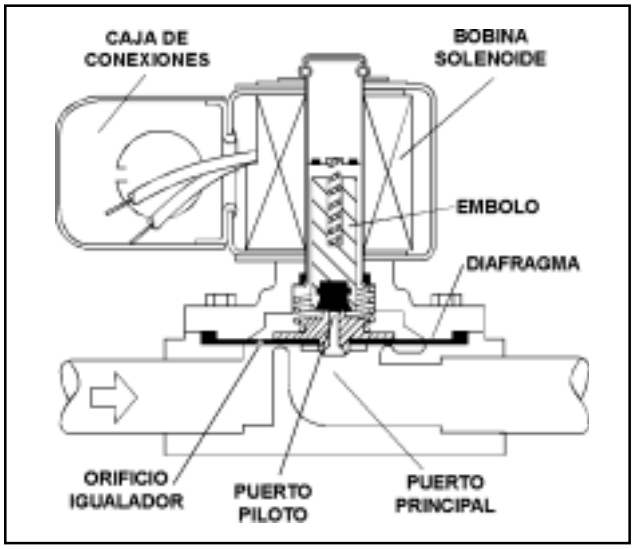


Figura 7.4 - Válvula de solenoide de dos vías, normalmente cerrada, operada por piloto con diafragma flotante.

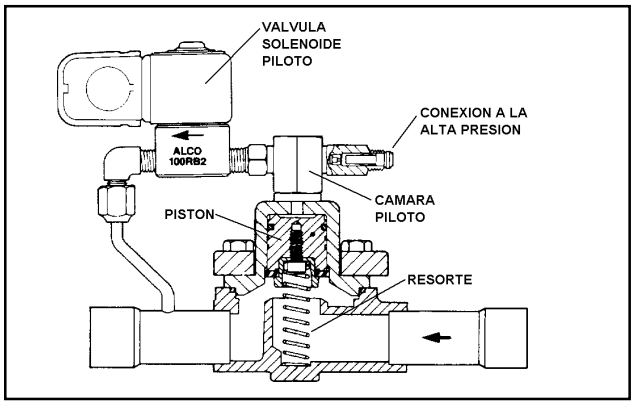


Figura 7.5 - Válvula de solenoide operada por piloto.

orificio piloto en un punto remoto del pistón o diafragma, por cuestión de diseño práctico, como la mostrada en la figura 7.5.

Cuando la solenoide piloto está desenergizada, se acumula la presión alta en la cámara piloto, forzando a que cierre el pistón. Cuando se energiza la solenoide piloto, como se muestra en la figura 7.5, se libera la presión de la cámara piloto y el resorte levanta el pistón del asiento, abriendo la válvula.

Las válvulas de solenoide operadas por piloto, requieren un diferencial mínimo de presión de apertura entre la entrada y la salida (aproximadamente 0.5 psi o más), para abrir el puerto principal y mantener al pistón o al diafragma en posición abierta.

Diferencial Mínimo de Presión de Apertura (MinOPD)

Tal como se explicó anteriormente, la válvula de solenoide de acción directa no debe exceder su MOPD, o no abrirá al ser energizada. Si el diferencial de presión es muy grande, o los orificios son de diámetro grande, se necesitaría una bobina demasiado grande y costosa para contrarrestar el MOPD. Por lo tanto, la válvula operada por piloto se usa en tamaños grandes. La idea principal es abrir el orificio piloto con tan poco esfuerzo como sea posible. Sin embargo, se requiere una cierta cantidad de diferencial de presión para levantar al pistón o diafragma del puerto principal, después que el orificio piloto ha permitido que se igualen las presiones de entrada y salida. Esta pequeña cantidad de presión requerida se conoce como el Mínimo Diferencial de Presión de Apertura (Min OPD).

Una válvula de solenoide operada por piloto, requiere de un Min OPD para levantar al pistón o diafragma del puerto principal. Las solenoides de acción directa no lo requieren, pero ambas tienen que evitar exceder su MOPD para que haya un flujo adecuado.

Aunque se pueden encontrar ciertas variantes mecánicas en su construcción, los principios básicos de operación anteriores, aplican a todas las válvulas de solenoide de refrigeración, Algunos ejemplos de estas variantes son:

1. Émbolos de carrera corta, los cuales están rígidamente conectados a la aguja (éstos siempre serán del tipo de "acción directa").
2. Émbolos de carrera larga, los cuales durante la apertura imparten un "golpe de martillo" a la válvula.
3. Construcción interconectada mecánicamente de pistón a émbolo, la cual se usa donde no hay disponible diferencial de presión para flotar el pistón. Esta construcción, permite que una válvula de solenoide grande abra y permanezca en posición abierta, con una mínima caída de presión a través de la válvula. Se usa principalmente para trabajos en líneas de succión.
4. Válvulas operadas por piloto y cargadas con resorte, utilizadas en puertos de diámetros grandes.
5. Válvulas de paso para condensador con la fuerza de la presión, las cuales utilizan una conexión piloto de alta presión. Estas válvulas se describen con mayor detalle en el tema "Aplicación de válvulas de solenoide".

Las válvulas de solenoide que tienen un émbolo cargado con resorte, pueden instalarse y operarse en cualquier posición. En la actualidad, la mayoría de las válvulas de solenoide para refrigeración son de este tipo.

Válvulas de Dos Vías

Hasta ahora, hemos explicado de manera general cómo opera una válvula de solenoide. En seguida, discutiremos los diferentes tipos de válvulas y sus aplicaciones respectivas. Los tres tipos principales de válvulas son: de dos vías, de tres vías y de cuatro vías.

La válvula de dos vías es el tipo de válvula de solenoide más común, tiene una conexión de entrada y una de salida, y controla el flujo del fluido en una sola línea. Puede ser de acción directa u operada por piloto, dependiendo de la capacidad del sistema. Cada una de éstas puede ser “normalmente cerrada” o “normalmente abierta”.

En la figura 7.6, se muestra una válvula de dos vías de acción directa, normalmente cerrada. Cuando la bobina está desenergizada, el peso del émbolo y la acción del resorte mantienen cerrada la válvula. Cuando se energiza la bobina, se forma el campo magnético, el cual atrae al émbolo hacia el centro y la aguja se levanta del asiento, abriendo el orificio del puerto y permitiendo el flujo a través de la válvula. Cuando nuevamente se desenergiza la bobina, la fuerza que retiene al émbolo es liberada, haciéndolo que caiga por su propio peso y por la acción del resorte, cubriendo el orificio del puerto y deteniendo el flujo a través de la válvula.

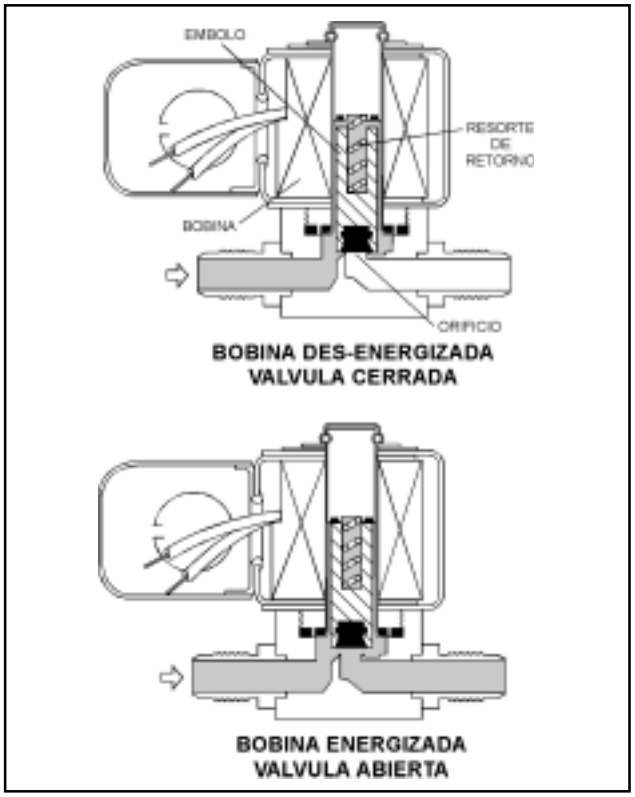


Figura 7.6 - Válvula de solenoide de dos vías, de acción directa, normalmente cerrada.

Las válvulas de solenoide de dos vías operadas por piloto y normalmente cerradas, como la que se muestra en la figura 7.7, operan de la siguiente manera: estas válvulas tienen un orificio igualador que comunica la presión de la entrada con la parte superior del diafragma (o pistón), empujándolo contra el asiento y manteniendo de esta manera cerrada la válvula. El orificio piloto es más grande que el orificio igualador. Cuando se energiza la bobina, el émbolo es atraído por el campo magnético y levanta la aguja del orificio piloto. La presión arriba del diafragma se reduce y se iguala con la de salida. El diferencial de presión resultante a través del diafragma, crea una fuerza que lo levanta del puerto principal haciendo que se abra la válvula. Al desenergizar la bobina se cierra el orificio piloto, y la presión de entrada se va por el orificio igualador e iguala las presiones, arriba y abajo del diafragma, permitiéndole que se vuelva a sentar y cierre la válvula.

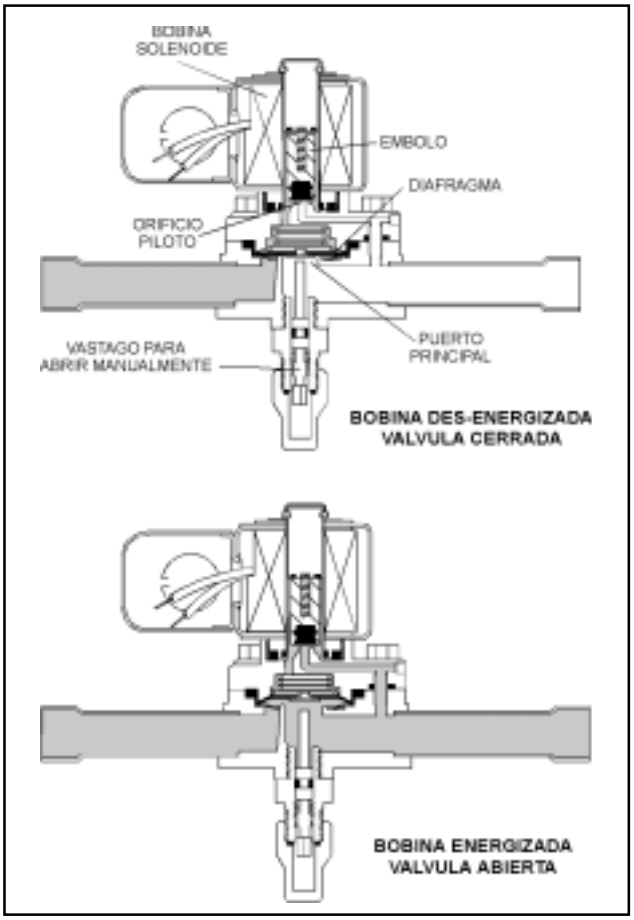


Figura 7.7 - Válvula de solenoide de dos vías operada por piloto, normalmente cerrada, con diafragma flotante.

Aunque las válvulas normalmente cerradas son las que más se usan, también se fabrican válvulas de dos vías “normalmente abiertas”, tanto de acción directa como operadas por piloto. En este tipo de válvulas, la secuencia es a la inversa de las normalmente cerradas.

En las válvulas de dos vías, de acción directa normalmente abiertas, como la que se muestra en la figura 7.8, cuando la bobina está desenergizada, el puerto principal está

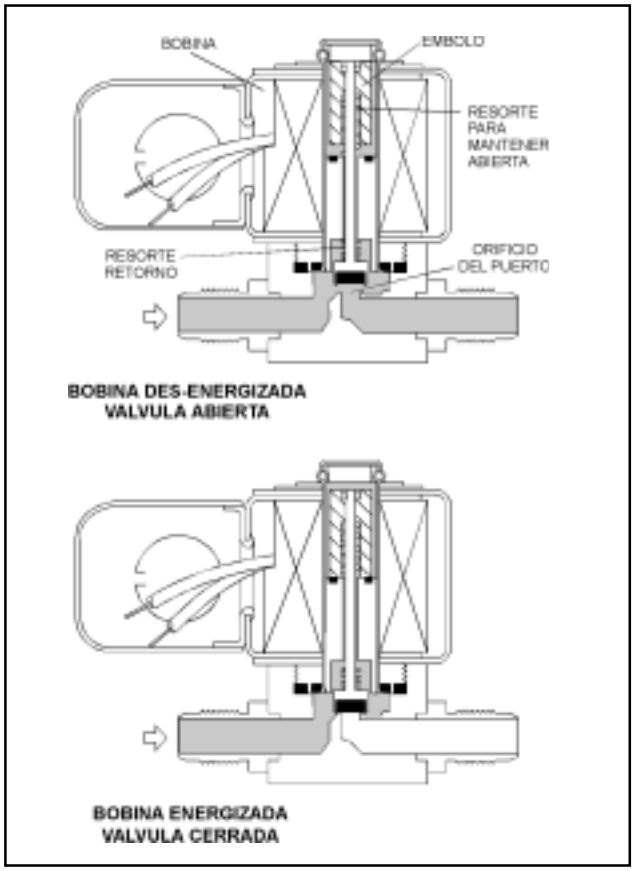


Figura 7.8 - Válvula de solenoide de dos vías, de acción directa, normalmente abierta.

abierto, ya que el émbolo está liberado de la fuerza de la bobina solenoide y está siendo levantado del asiento, lo que permite el flujo a través de la válvula. Cuando la solenoide se energiza, atrae al émbolo hacia el centro de la bobina y cubre el puerto principal, deteniendo el flujo a través de la válvula. Este tipo de válvulas es para aplicaciones donde se requiere que la válvula permanezca abierta la mayor parte del tiempo, o donde se requiere que la válvula abra en caso de una falla eléctrica. Además de ahorrar energía, dichas válvulas son a prueba de falla durante los "apagones", permaneciendo en la posición abierta.

En la figura 7.9, se muestra una válvula de solenoide de dos vías operada por piloto y normalmente abierta. Cuando la bobina está desenergizada, libera la fuerza sobre el émbolo y el orificio piloto permanece abierto. Al reducirse la presión del sistema sobre la parte superior del diafragma, la presión total del sistema actúa sobre el lado opuesto del diafragma para levantarlo del puerto principal, permitiendo así un flujo completo a través de la válvula. Cuando el solenoide es energizado, atrae el émbolo hacia el centro de la bobina y la aguja cubre el orificio piloto. Entonces se acumula la presión del sistema sobre el diafragma, a través del orificio igualador, forzando al diafragma hacia abajo, hasta que cubre el puerto principal y detiene el flujo a través de la válvula.

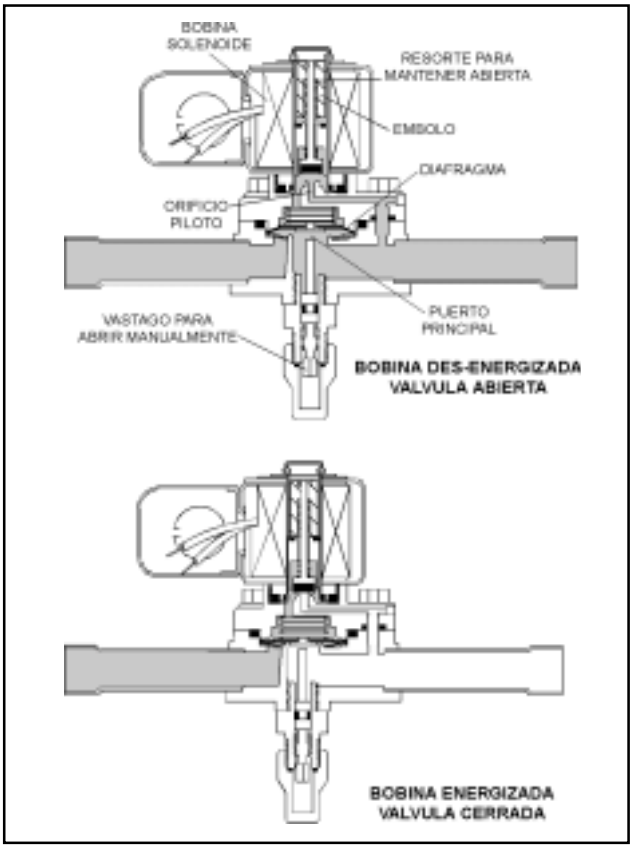


Figura 7.9 - Válvula de solenoide de dos vías, operada por piloto, normalmente abierta, con diafragma flotante.

Válvulas de Tres Vías (Desviadoras)

Las válvulas de tres vías, tienen una conexión de entrada que es común a dos diferentes conexiones de salida, como la que se muestra en la figura 7.10. Las válvulas de tres vías son, básicamente, una combinación de la válvula de dos vías normalmente cerrada y de la válvula de dos vías normalmente abierta, en un solo cuerpo y con una sola bobina. La mayoría son del tipo "operadas por piloto". Estas válvulas controlan el flujo de refrigerante en dos líneas diferentes. Se usan principalmente en unidades de refrigeración comercial y en aire acondicionado, para recuperación de calor, para reducción de capacidad en los compresores y para deshielo con gas caliente, ya que están diseñadas para cumplir con los requerimientos en altas temperaturas y presiones que existen en el gas de descarga del compresor.

Figura 7.10 - Válvula de solenoide de tres vías típica.

Recuperación de Calor.- Las válvulas de solenoide utilizadas para recuperación de calor, están diseñadas, específicamente, par desviar el gas de descarga a un condensador auxiliar. Se instalan conectando la entrada común a la descarga del compresor. Las dos salidas van conectadas una al condensador normal, y la otra, al condensador auxiliar, como se muestra en las figuras 7.11 y 12. Como es una válvula operada por piloto, depende de la presión del gas refrigerante para deslizar el ensamble del pistón, y su operación, está gobernada por la posición del émbolo.

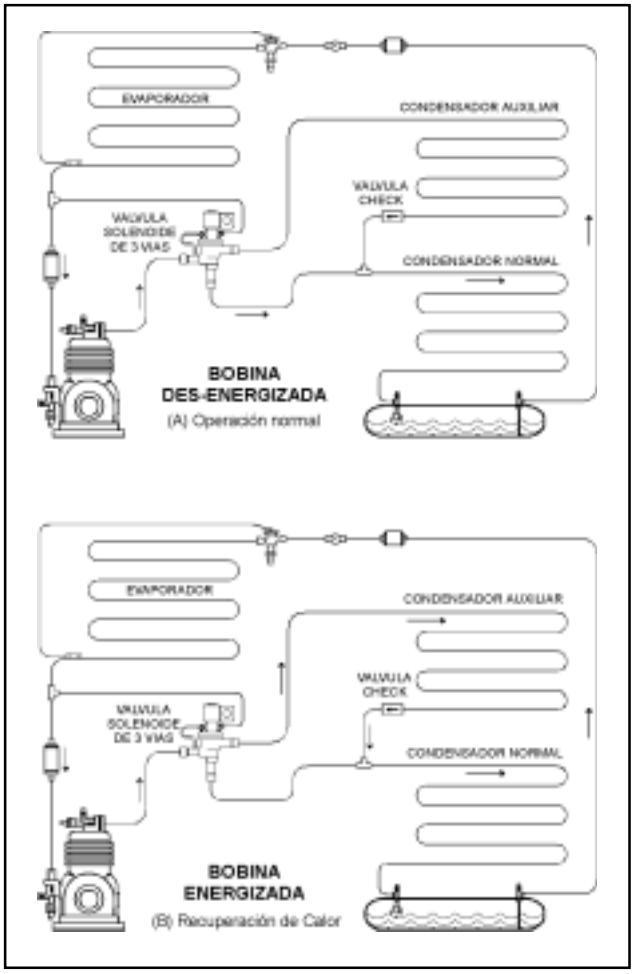


Figura 7.11 - Sistema de recuperación de calor, condensadores en serie.

Cuando la bobina solenoide es desenergizada (figuras 7.11A y 7.12A), la válvula opera de manera normal y el refrigerante es enviado al condensador normal. En la parte superior del ensamble del pistón, se tiene la presión de succión del compresor, la cual llega a través de la conexión piloto externa. La parte inferior está expuesta directamente a la presión de descarga, a través de la conexión de entrada. Esta diferencia de presiones sobre ambos lados

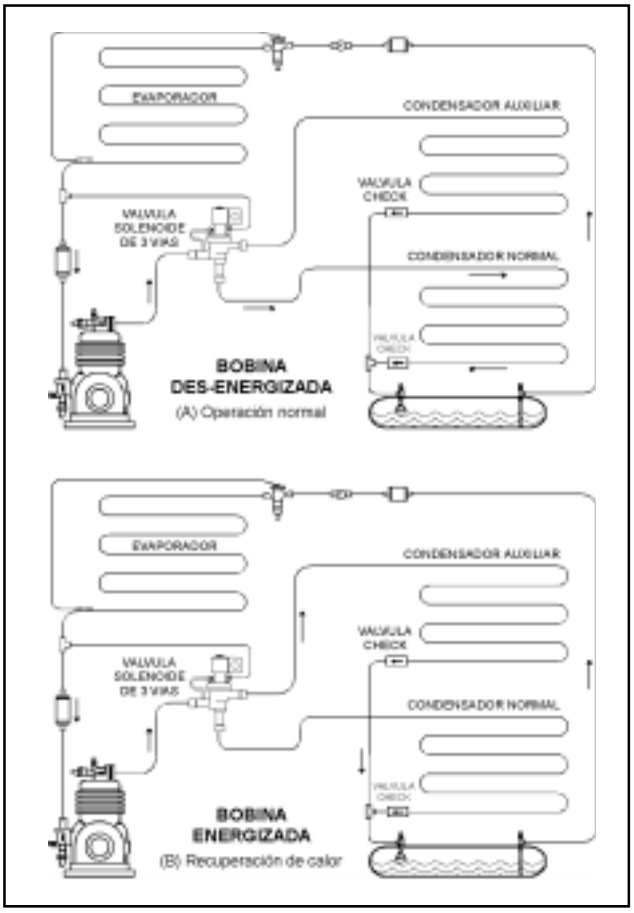


Figura 7.12 - Sistema de recuperación de calor, condensadores en paralelo.

del pistón lo desliza hacia arriba, cerrando el puerto hacia el condensador auxiliar, y abriendo el puerto hacia el condensador normal.

Para desviar el gas hacia el condensador auxiliar, se energiza la bobina, con lo cual se levanta la aguja y se abre el orificio piloto (figuras 7.11B y 7.12B). De esta manera, se permite que el gas de descarga pase por el tubo capilar de ¼", hacia la parte superior del ensamble del pistón. Teniendo la misma presión arriba y abajo del pistón, un resorte arriba del pistón es el que ejerce la fuerza para deslizarlo hacia abajo. Así, se cierra el puerto hacia el condensador normal y se abre el puerto hacia el condensador auxiliar.

Reducción de Capacidad del Compresor.- Comúnmente, la reducción de capacidad de un compresor, se lleva a cabo descargando el gas de los cilindros, durante los períodos de baja demanda, y desviándolo hacia la succión. Cuando están desenergizadas, el gas de descarga del compresor sigue su ciclo normal hacia el condensador. Cuando se energiza la bobina, el gas de la descarga es entonces desviado al lado de baja del sistema, reduciendo la capacidad. También, el gas de la descarga puede utilizarse para el deshielo del evaporador.

Las válvulas de solenoide de tres vías que se utilizan para descargar los cilindros, como la que se muestra en la figura 7.13, generalmente son pequeñas, y se diseñan para montarse directamente sobre la cabeza del compresor.

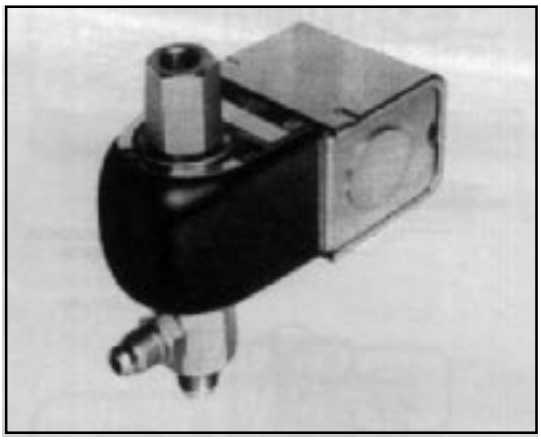


Figura 7.13 - Válvula de solenoide de tres vías pequeña.

Deshielo con Gas Caliente.- En la figura 7.14 se muestra una válvula de tres vías como se usaría en un supermercado, en una aplicación para deshielo por gas caliente. En esta aplicación, la válvula se usa para admitir gas caliente hacia las líneas de succión. Cuando está desenergizada la bobina (A), el émbolo está cerrando el orificio piloto y está cerrada la línea piloto, permitiendo que se iguale la presión a través del pistón. La presión de descarga mantiene cerrado el puerto superior, y el flujo es del evaporador a la succión del compresor. Esta es la posición en que el sistema opera normalmente.

Cuando está energizada la bobina (B), se abre el puerto piloto y entra la presión de descarga a través de la línea piloto, creando un desbalance de presión suficiente para

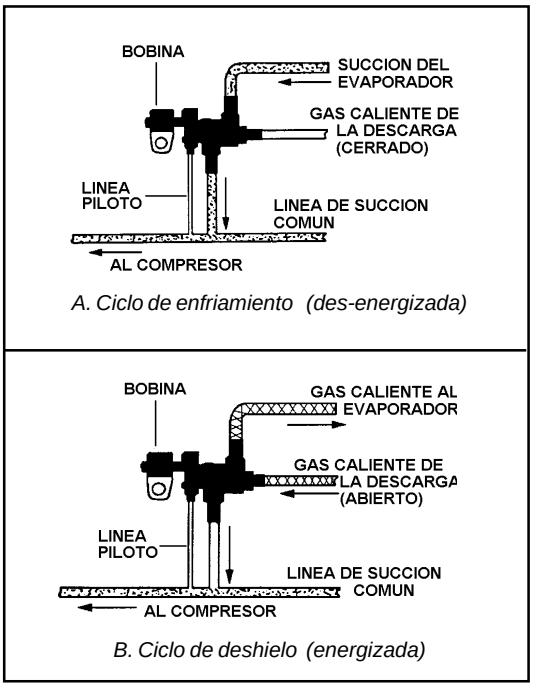


Figura 7.14 - Válvula de solenoide de tres vías para deshielo por gas caliente.

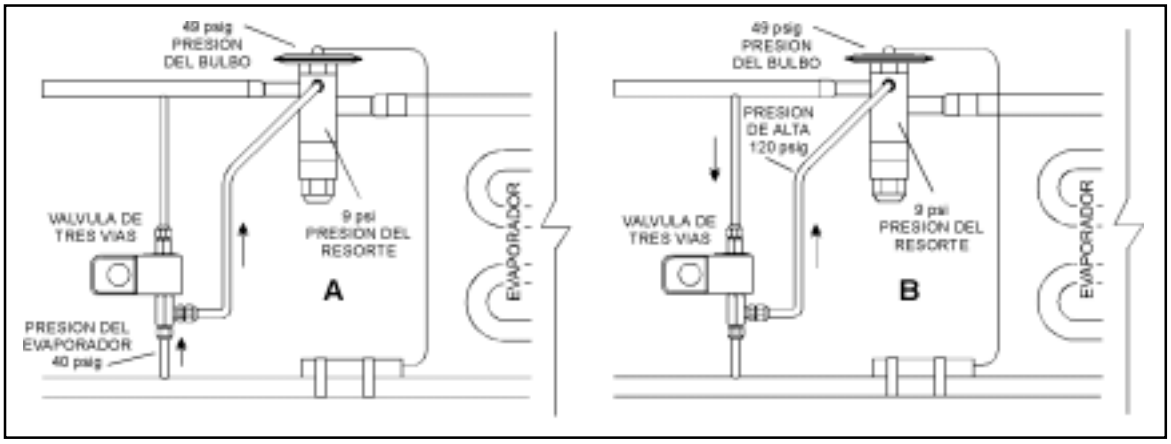


Figura 7.15 - Válvula de solenoide de tres vías utilizada para mantener la VTE herméticamente cerrada durante los ciclos de paro del compresor.

mover el pistón, cerrando el flujo del evaporador a la succión y desviando la carga hacia el evaporador. Entonces, el gas de alta presión fluye de la línea de descarga hacia el evaporador, aumentando la temperatura y presión dentro del evaporador y deshielando el serpentín.

Una válvula de solenoide de tres vías, como la que se muestra en la figura 7.15, se usa para mantener la válvula de termo expansión herméticamente cerrada, durante los ciclos de paro. Cuando el compresor está trabajando (A), la válvula de solenoide está energizada, el émbolo es accionado hacia arriba, cerrando el puerto que conecta a la alta presión. La presión de la línea de succión es transmitida a la válvula de termoexpansión, a través del tubo igualador. Cuando el compresor se detiene (B), la válvula de solenoide se desenergiza, el émbolo cae y cierra el puerto conectado a la línea de succión. El refrigerante de alta presión entra a la válvula de solenoide y pasa hacia la válvula de termoexpansión a través del tubo igualador, forzando el diafragma a subir, para así mantener cerrada la válvula de termoexpansión durante los ciclos de paro.

Válvulas de Cuatro Vías

Las válvulas de solenoide de cuatro vías como la que se muestra en la figura 7.16, se conocen comúnmente como válvulas reversibles. Su uso es casi exclusivamente en bombas de calor, para seleccionar ya sea el ciclo de enfriamiento o el de calefacción, dependiendo del requerimiento. Estas válvulas tienen tres salidas y una entrada común.

Una bomba de calor es un equipo central acondicionador de aire, con ciclo reversible. En el verano, el refrigerante absorbe calor del interior de la casa y lo expulsa al exterior. En el invierno, el ciclo se invierte, el refrigerante absorbe calor del exterior y lo libera dentro de la casa. El condensador y el evaporador son obligados a intercambiar funciones, invirtiendo el flujo de refrigerante, y la válvula de cuatro vías es la que se encarga de esto.

La operación de una válvula de solenoide de cuatro vías en una bomba de calor, se explica en los diagramas esquemáticos mostrados en las figuras 7.17 y 7.18.

Figura 7.16 - Válvula de solenoide de cuatro vías típica.

Ciclo de Calefacción

En la figura 7.17, el sistema está en el ciclo de calefacción, con el gas de descarga fluyendo a través de los puertos de la válvula reversible "D" a "2", haciendo que el serpentín interior funcione como condensador. El gas de succión fluye del serpentín exterior (evaporador), a través de los puertos de la válvula reversible "1"a "S", y de regreso al compresor.

Con la válvula de solenoide piloto desenergizada, el pistón deslizante está posicionado, de tal forma, que conecta los puertos "D1" con "B", y "A" con "S1". Cuando el piloto está desenergizado, el gas de descarga de alta presión se acumula sobre la parte superior del deslizante principal. El otro extremo del deslizante principal, está aislado de la alta presión mediante un sello, y expuesto al gas de succión de baja presión. Así, la fuerza desbalanceada debida a la diferencia entre las presiones de descarga y succión, actuando sobre el área total del deslizante principal, mantiene a éste último en la posición "abajo", como se muestra en la figura 7.17.

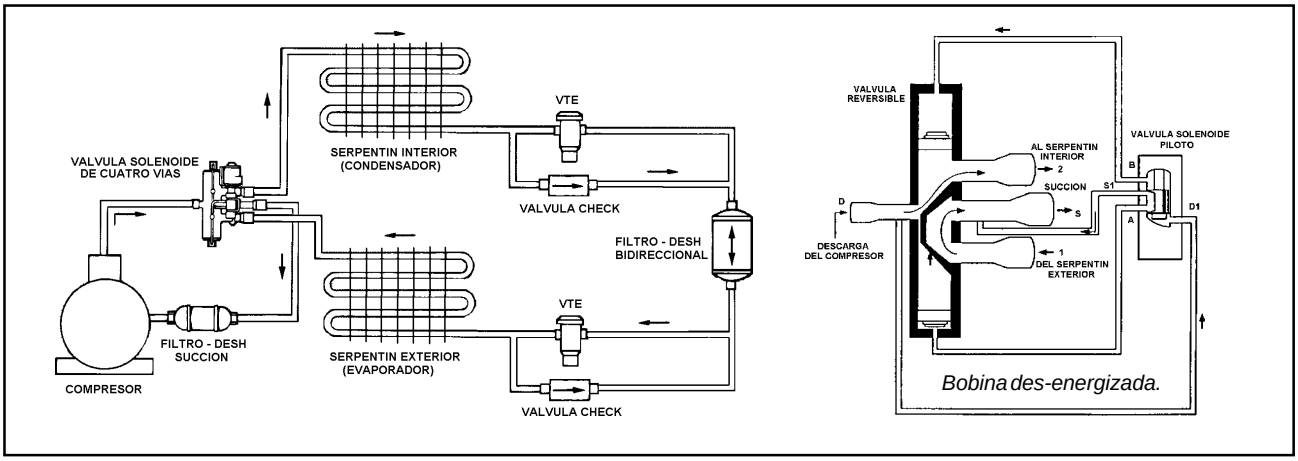


Figura 7.17 - Ciclo de calefacción.

Ciclo de Enfriamiento

Cuando la bobina está energizada, el émbolo de la válvula de solenoide piloto se eleva, comunicando ahora los puertos "D1" con "A", y "B" con "S1". Con la solenoide piloto en esta posición, la presión de descarga impuesta sobre el otro extremo del deslizante principal, fluirá a través del solenoide piloto, hacia el lado de succión del sistema. En el extremo inferior del deslizante principal, se acumulará la alta presión del gas de descarga, de tal manera, que aumentará la presión. Nuevamente, la fuerza desbalanceada en esa dirección, se debe a la diferencia entre las presiones de succión y descarga, actuando sobre los extremos opuestos del deslizante principal.

La fuerza desbalanceada mueve el deslizante principal a la posición "arriba", ilustrada en la figura 7.18, y el desbalance de fuerzas a través del área del deslizante principal lo mantiene en esa nueva posición.

El sistema ha cambiado ahora el ciclo de enfriamiento, y el gas de descarga fluye a través de los puertos de la válvula reversible "D" a "1", haciendo que el serpentín exterior funcione como condensador, el gas de succión funcione a través de los puertos "2" a "S", y el serpentín interior es el evaporador.

Aplicación de las Válvulas de Solenoide

El control automático de flujo de líquidos, tales como refrigerantes, salmuera o agua, depende en muchos casos del uso de válvulas de solenoide. Algunas de las principales aplicaciones en refrigeración de estos útiles dispositivos de control, además de las ya mencionadas, se describen y se ilustran a continuación, bajo los encabezados de "Prevención de Inundación del Compresor", "Control de Vacío (Pump Down)", "Descarga de Gas Caliente", "Control de Nivel de Líquido", "Válvulas de Solenoide para Succión" y "Válvulas de Solenoide Descargadoras".

Prevención de Inundación del Compresor

Probablemente la aplicación más común en refrigeración de una válvula de solenoide, es su uso como válvula de paso automática en la línea de líquido que alimenta un evaporador (figura 7.19). Aunque las válvulas de termo - expansión son producidas como dispositivos de cierre hermético, no se puede confiar en un cierre positivo, si la superficie de sus asientos están expuestas a polvo, humedad, corrosión o erosión. Además, si el bulbo remoto de una válvula de expansión está instalado en un sitio, donde durante los ciclos de paro puede ser afectado por una temperatura ambiente más alta que la del evaporador, la

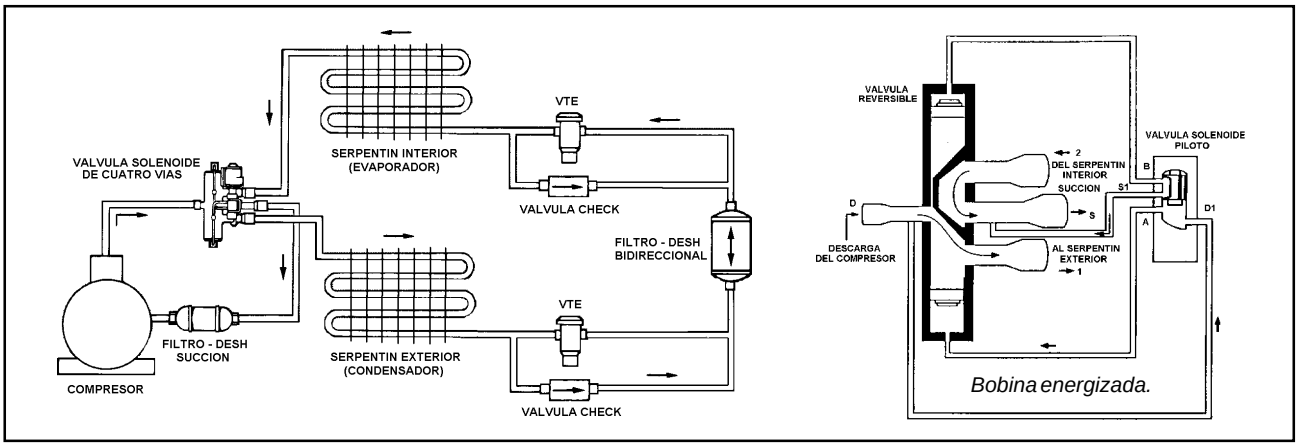


Figura 7.18 - Ciclo de enfriamiento.

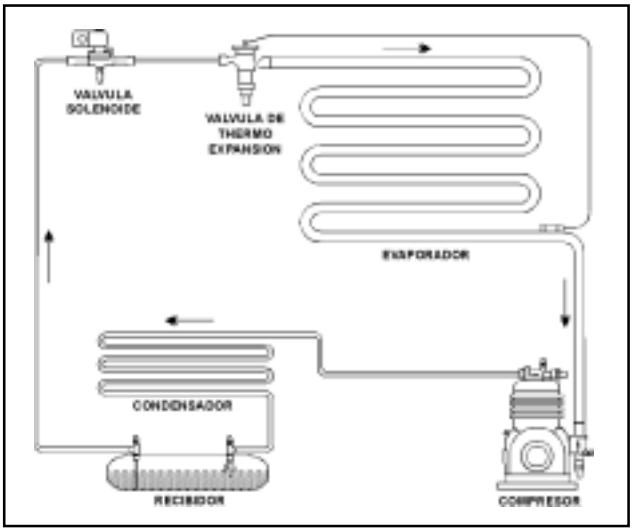


Figura 7.19 - Aplicación típica de una válvula de solenoide para línea de líquido.

válvula puede abrir durante una parte del ciclo de paro y admitir el paso de líquido al evaporador. Una válvula de solenoide en la línea de líquido, conectada para cerrar cada que el compresor pare, evitará dicha fuga.

En sistemas de evaporadores múltiples, se puede utilizar una sola válvula de solenoide en la línea de líquido principal, para evitar la inundación de refrigerante líquido. En esta aplicación, la válvula de solenoide se conecta de la misma manera, para que cierre cuando pare el compresor.

Control de Vacío (Pump Down)

Una importante variación de la aplicación de la válvula de solenoide para la línea de líquido, es el ciclo de control de vacío, adaptable especialmente para instalaciones de aire acondicionado. El objetivo principal de este sistema de control, es evitar que durante los ciclos de paro, el refrigerante en el evaporador emigre hacia el compresor y diluya

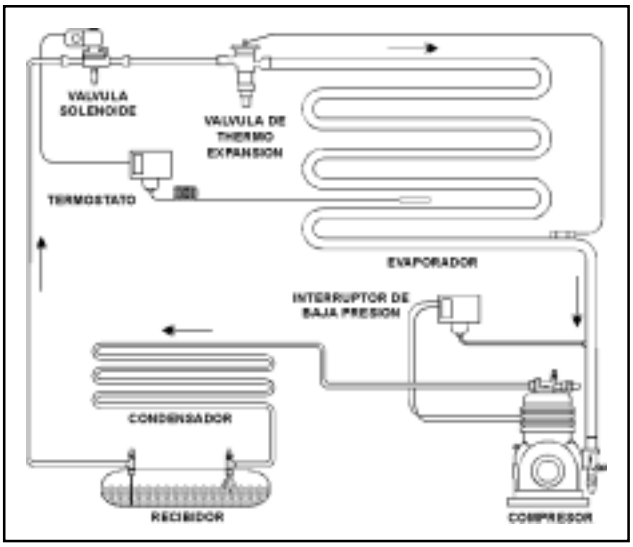


Figura 7.20 - Aplicación de una Válvula de Solenoide para control de vacío (Pump Down).

el aceite en el cárter. El arreglo se hace de tal forma, que la válvula de solenoide esté controlada por un termostato. Cuando el sistema alcanza la temperatura deseada, el termostato manda una señal y la válvula de solenoide cierra, pero el compresor continúa trabajando y de esta manera, remueve casi la totalidad del refrigerante en el evaporador (figura 7.20). Al disminuir la presión, un interruptor de baja presión detiene el compresor, pero este mismo interruptor no lo puede arrancar otra vez. Cuando el termostato reclama más enfriamiento, envía una señal a la válvula de solenoide para que abra, se eleva la presión de succión y el interruptor de baja presión arrancará de nuevo al compresor. Se puede utilizar un relevador para el arrancador del motor. Esto evitará que se acumule un exceso de líquido en el evaporador, entre el tiempo en que la válvula de solenoide abra y el compresor arranque.

Descarga de Gas Caliente

Si se instala una válvula de solenoide especial para gas caliente, en un desvío alrededor de uno o más cilindros del compresor, proporcionará un control de capacidad para el compresor. La válvula puede ser operada ya sea por un termostato o un interruptor de presión.

Otra aplicación para las válvulas de solenoide en control de capacidad, es el uso de una válvula de tres vías en ciertos compresores. En este caso, la válvula de tres vías es un operador piloto del mecanismo de descarga, integrado en el compresor.

Control de Nivel de Líquido

Si desean usarse uno o más evaporadores del tipo inundado como un sistema múltiple "seco", se puede colocar una válvula de solenoide para líquido, seguida de una válvula de expansión manual. La línea de líquido conduce a un recipiente o tambor, en el cual el nivel de refrigerante líquido está controlado por un interruptor de flotador, como se muestra en la figura 7.21.

La válvula de solenoide para líquido es accionada por el interruptor del flotador. Cuando el nivel del líquido baja a un nivel predeterminado, el interruptor abre la válvula. Al alcanzarse el nivel deseado, el interruptor cierra la válvula. También se puede obtener la acción inversa.

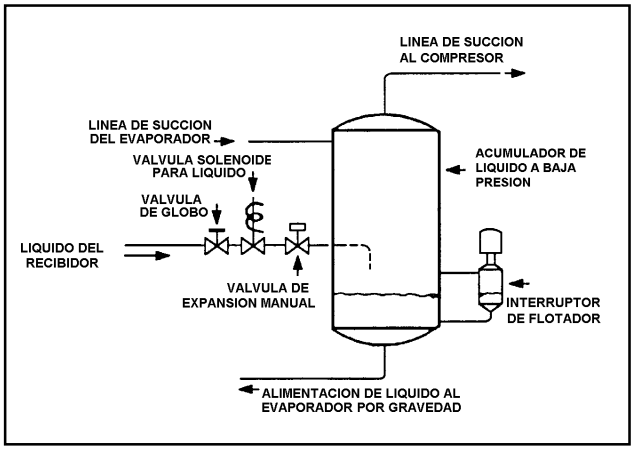


Figura 7.21 - Solenoide para alimentación de líquido.

Válvulas de Solenoide para Succión

Estas válvulas se usan con frecuencia cuando se requiere un aislamiento completo para el deshielo. También se utilizan para desviar la succión en instalaciones con dos o más unidades en serie, alimentadas por una válvula de termo expansión. Si la diferencia de temperaturas entre dos o más unidades refrigeradas es mayor de 7°C, se utiliza con frecuencia una válvula de solenoide para succión en la salida de la unidad menos fria, para evitar la condensación de refrigerante en la unidad más fría, durante el ciclo de paro.

En un sistema múltiple, a falta de válvula de solenoide para succión en el serpentín inundado menos frío, la operación continua del compresor para enfriar la unidad más fría, puede vaciar la unidad menos fría haciendo que esta última se enfríe de más. Una buena práctica es usar una válvula *check* a la salida de la unidad más fría, para evitar la condensación de refrigerante en este serpentín, cuando la unidad menos fría ha estado operando bajo una carga alta con presión de succión alta.

Válvulas de Solenoide Descargadoras

Existen muchas instalaciones en donde es necesario arrancar el compresor descargado, a presiones de succión de arranque descomunalmente altas, a causa del motor que se utiliza, con el consabido alto consumo de energía. Las válvulas de solenoide para descargar compresores, se usan fácilmente en estas aplicaciones, instalándolas en una línea de desvío entre la descarga y la succión del compresor. La válvula se abre automáticamente cuando arranca el compresor, esto corta la carga en el arranque. Cuando el compresor alcanza su velocidad completa, la válvula de solenoide que descarga al compresor cierra y el compresor queda funcionando normalmente. La operación puede hacerse totalmente automática, mediante el uso de un relevador retardador de tiempo para cerrar la válvula, después que el compresor ha llegado a su velocidad máxima . En éste caso, la válvula de solenoide deberá conectarse en el lado de la línea del arrancador del motor, o en paralelo con el relevador de arranque del motor. Se requiere una válvula *check* en la línea de descarga.

Selección de Válvulas de Solenoide

La selección de una válvula de solenoide para una aplicación de control en particular, requiere la siguiente información:

1. Fluido a controlar (refrigerante).
2. Servicio (líquido, gas de descarga o gas de succión).
3. Capacidad del equipo (en T.R.).
4. Caída de presión permisible. Esto se refiere a que la caída de presión a través de la válvula, esté dentro del rango del MOPD al cual se requiere que abra (las normalmente cerradas) o cierre (las normalmente abiertas).
5. Temperatura del evaporador.
6. Conexión (tamaño y estilo).
7. Características eléctricas (voltaje y hertz).
8. Opciones (presión segura de trabajo SWP, angular o recta, normalmente cerrada o abierta, con o sin vástago manual, etc.).

Las capacidades de las válvulas de solenoide para un servicio normal con refrigerante líquido o gas de succión, están dadas en toneladas de refrigeración a alguna caída de presión nominal y condiciones normales. El catálogo del fabricante proporciona tablas de capacidad extendida, que cubren casi todas las condiciones de operación para los refrigerantes comunes. Se deberán seguir las recomendaciones de selección del fabricante. No seleccione una válvula basándose en el diámetro de la línea, siempre deberá basarse en la capacidad del flujo requerida. Para su operación, las válvulas operadas por piloto requieren una caída de presión mínima entre la entrada y la salida de la válvula, la cual deberá mantenerse todo el tiempo durante la operación. Seleccionar una válvula de mayor tamaño, hará que la operación sea errática, ya sea al abrir o hasta una falla total. Seleccionar una válvula de menor tamaño, dará como resultado una caída de presión excesiva .

La válvula de solenoide seleccionada, deberá tener una clasificación de Diferencial Máximo de Presión de Apertura (MOPD), igual o mayor, que el diferencial máximo posible contra el cual debe abrir la válvula. El MOPD toma en consideración ambas presiones, la de entrada y la de salida de la válvula. Si una válvula tiene una presión a la entrada de 500 psi (35 kg/cm²) y una presión de salida de 250 psi (17.6 kg/cm²), y su clasificación de MOPD es de 300 psi (21 kg/cm²), ésta sí operará, puesto que la diferencia (500 - 250) es menor de 300. Si la diferencia de presión es mayor que el MOPD, la válvula no abrirá.

Para una operación apropiada y segura, también es importante la consideración de la presión de trabajo seguro (SWP) requerida. No deberá usarse una válvula de solenoide en una aplicación donde la presión es mayor que la SWP.

De acuerdo a normas de los Underwriters' Laboratories (UL), la presión de trabajo seguro (SWP) para las válvulas de solenoide, es de 500 psig (35.5 Bar), y la presión de ruptura es cinco veces la presión de trabajo, es decir, 2,500 psig (163.15 Bar).

Las válvulas de solenoide se diseñan para tipos de líquido y aplicaciones específicas, de tal manera que los materiales de construcción sean compatibles con dichos líquidos y sus aplicaciones. En válvulas de solenoide para uso en amoníaco, se emplean metales ferrosos o acero y aluminio. Para servicio en altas temperaturas o temperaturas extremadamente bajas, se pueden utilizar materiales especiales o intéticos para el asiento. Para líquidos corrosivos se requieren materiales especiales.

Las características eléctricas también requieren de una atención especial. Para asegurar la selección adecuada, es necesario especificar el voltaje y la frecuencia requeridos.

Las válvulas de solenoide deben usarse con las características de corriente correctas, para las cuales fueron

diseñadas. Un sobrevoltaje momentáneo normalmente no es dañino, pero un sobrevoltaje constante de más del 10%, en condiciones desfavorables, puede causar una quemadura de la bobina solenoide. Una baja de voltaje es dañina para las válvulas operadas con corriente alterna, si causan la reducción suficiente en la fuerza de operación, como para evitar que la válvula abra cuando la bobina esté energizada. Esta condición puede causar la quemadura de una bobina de corriente alterna.

A fin de evitar una falla en la válvula por el bajo voltaje, la bobina solenoide no deberá ser energizada por los mismos contactos o en el mismo instante, en que una carga de motor pesado, sea conectado a la línea de abastecimiento eléctrico. La bobina solenoide puede ser energizada antes o después que el motor.

Las válvulas para servicio en Corriente Directa (CD), con frecuencia son de construcción interna diferente que las válvulas para aplicación en la Corriente Alterna (CA); por lo tanto, es importante estudiar cuidadosamente la información del catálogo del fabricante.

Ejemplos de Selección

1. Selección de válvula de solenoide para servicio en la línea de líquido, en un sistema de 7.5 toneladas de refrigeración que trabaja con R-22. La temperatura de evaporación es de 4 °C (40 °F). El diámetro de la línea es de 5/8" y se requiere conexión soldable (ODF), con extensiones. La caída de presión a través de la válvula debe ser mínima. Se requiere con vástago manual y para 110 voltios.

Analizando las tablas de capacidades del catálogo de Valycontrol - Alco, vemos que las válvulas para aplicación en la línea de líquido, son las series 100RB y 200RB. A una caída mínima de presión de (2 psi) en la sección de R-22, la válvula de la serie 100RB sólo permite una capacidad de 1.04 TR, por lo que no nos serviría, y la válvula que se seleccione tiene que ser de la serie 200RB.

De la tabla de capacidades (figura 7.22) en la sección de R-22, y a una caída de presión de 2 psi, la válvula de la serie 200RB con un puerto de 3/8" de diámetro, dará una capacidad de 8.1 TR. En la tabla de factores de corrección (figura 7.23), podemos ver que el factor de corrección para líquido, a una temperatura de evaporación de 4 °C (40 °F), es 1.0. Multiplicando este factor por la capacidad nominal de la válvula, nos dará la capacidad real a las condiciones del sistema en operación.

Viendo las características de las válvulas de la serie 200RB, en la tabla del catálogo, el modelo con puerto de 3/8" y conexión de 5/8" con extensión soldable, es el 200 RB 6T5, y como debe ser con vástago manual, se le agrega una M al final.

Para obtener la capacidad real a las condiciones normales de operación, tal como vimos en este ejemplo, se multiplica la capacidad nominal de la tabla por el factor de corrección. Si lo hacemos a la inversa, es decir, dividir la capacidad real entre el factor de corrección, obtendremos la capacidad nominal, y con este dato, de la tabla correspondiente seleccionamos el modelo correcto.

2. Selección de válvula de solenoide para servicio en la línea de succión, para una capacidad de 1.5 TR con una temperatura de evaporación de -29 °C (-20 °F), con R-22 y caída de presión de 2 psi (13.8 kPa). El diámetro de la línea de succión es de 7/8".

Observando en la tabla de factores de corrección para la línea de succión (figura 7.23), a una temperatura de -20°F, corresponde un factor de 0.46. Dividiendo la capacidad real entre este valor tenemos:

$$\frac{1.5\ TR}{0.46} = 3.26\ TR \text{ a condiciones standard.}$$

De la tabla de capacidades (figura 7.24) para el gas de succión con R-22, una válvula tipo 240RA con puerto de 9/16" de diámetro, proporcionará 3.5 TR de capacidad a una caída de presión de 2 psi. Viendo las características de las válvulas de esta serie en el catálogo, hay tres tamaños de conexiones que se pueden utilizar. Como el diámetro de la línea de succión es de 7/8", seleccionamos el modelo 240 RA 9T7.

200RB		LIQUIDO				
MODELO	DIAM. PUERT	CAIDA DE PRESION A TRAVES DE LA VALVULA (PSI)				
		2	3	4	5	10
	R134a					
200RB	1/8	2.35	2.88	3.32	3.72	5.27
	3/16	3.64	4.45	5.14	5.75	8.12
	1/4	4.3	5.3	6.1	6.8	9.7
	5/16	6.4	7.8	9.0	10.1	14.3
	3/8	7.7	9.4	10.8	12.1	17.2
	R22					
	1/8	2.55	3.12	3.60	4.03	5.70
	3/16	3.94	4.82	5.57	6.23	8.81
	1/4	4.6	5.6	6.5	7.2	10.2
	5/16	6.7	8.2	9.5	10.6	15.0
	3/8	8.1	10.0	11.4	12.8	18.0
	R502					
	1/8	1.70	2.09	2.41	2.69	3.81
	3/16	2.63	3.23	3.72	4.16	5.89
	1/4	3.0	3.7	4.3	4.8	6.7
	5/16	4.4	5.4	6.2	7.0	9.9
	3/8	5.3	6.5	7.5	8.4	11.9

Tabla 7.22 - Parte de la tabla de capacidades para válvulas de solenoide, tomada del catálogo de Valycontrol.

Este modelo es una válvula de solenoide de dos vías con diafragma, normalmente cerrada, y como es operada por piloto, requiere menos de 1 psi de diferencial para operar. Tiene un MOPD de 300 psi; las bobinas las hay disponibles en varios voltajes para corriente alterna y corriente directa.

Factores de Correcció	Líquido									
	Temp. Evaporador °F	+40	+30	+20	+10	0	-10	-20	-30	-40
	Multiplique por	1.00	.96	.92	.88	.84	.80	.77	.74	.71
	Corrección Línea de Descarga									
	Temp. Evaporador °F	+40	+30	+20	+10	0	-10	-20	-30	-40
	Multiplique por	1.00	.96	.93	.90	.87	.84	.81	.78	.75
	Corrección Línea de Succión									
	Temp. Evaporador °F	+40	+30	+20	+10	0	-10	-20	-30	-40
	Multiplique por	1.00	.87	.78	.70	.60	.52	.46	.40	.34

Tabla 7.23 - Tabla de factores de corrección, tomada del catálogo de Valycontrol.

240RA		LINEA DE SUCCION									
MODELO	DIAMETR DEL PUERTO	CAIDA DE PRESION A TRAVES DE LA VALVULA (PSI)									
		TONS R22									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
240RA	1/2	1.5	2.1	2.5	2.9	3.3	3.6	3.8	4.1	4.4	4.6
	9/16	2.4	3.5	4.2	4.9	5.5	6.0	6.5	6.9	7.3	7.7
	3/4	2.9	4.1	5.0	5.8	6.5	7.1	7.6	8.2	8.7	9.1
	1	5.8	8.2	10.1	11.6	13.0	14.2	15.4	16.4	17.4	18.4
	1-1/4	8.2	11.5	13.9	15.9	17.6	19.1	20.5	21.7	22.8	23.8

Tabla 7.24 - Parte de la t abla de capacidades para válvulas de solenoide, tomada del catálogo de Valycontrol.

Instalación

Las válvulas de solenoide convencionales, están hechas para instalarse con la bobina en la parte superior y en líneas horizontales solamente. Algunas válvulas de solenoide se hecen para instalarse en líneas verticales o en cualquier posición; estas válvulas generalmente están cargadas con un resorte. Debe respetarse el sentido del flujo indicado por una flecha en el cuerpo de la válvula. También, debe instalarse un filtro adecuado antes de cada válvula de solenoide, para evitar que le lleguen partículas o materias extrañas.

Al instalar una válvula de solenoide con conexiones soldables, no aplique demasiado calor y dirija la flama lejos del cuerpo de la válvula. Permita que se enfríe antes de ensamblar las partes internas, para asegurarse que con el calor no se dañen el material del asiento y los empaques. Durante el proceso de soldadura, se recomienda el uso de trapos o estopas mojadas. Son necesarios para mantener la válvula fría, y para que el cuerpo de la válvula no se deforme. Al ensamblar de nuevo la válvula, asegúrese de no sobreapretar las tuercas.

SUGERENCIAS DE SERVICIO A VALVULAS DE SOLENOIDE

SINTOMA	CAUSA	SOLUCION
LA VALVULA NO ABRE	Válvula ensamblada incorrectamente. Ensamble incorrecto de la bobina y/o de las cubiertas de la bobina.	Ensamble las partes en su posición correcta, asegurándose de que ninguna haya quedado fuera de la válvula ensamblada.
	Movimiento limitado del pistón (armadura) o émbolo. a. Partes corroídas b. Substancias ajenas acumuladas en la válvula. c. Tubo guía abollado o doblado. d. Cuerpo torcido o deformado debido a: 1. Soldadura incorrecta. 2. Excesiva presión con pinzas o tornillo de banco. 3. Torque excesivo o disparejo en los tornillos de la brida. e. Aceite atrapado arriba del pistón.	Limpie las partes afectadas y reemplace las que sean necesarias. Corrija la causa de la corrosión o la fuente de substancias ajenas en el sistema.
	Bobina quemada.	Consulte las instrucciones de servicio respecto a problemas de bobina quemada.
	Cableado incorrecto.	Revise si existen conexiones sueltas o rotas en el circuito eléctrico. Instale un voltímetro y/o amperímetro a las guías de la bobina, revise el voltaje, y las corrientes de entrada y de retención.
	Falla en los contactos de relays o termostatos.	Revise los contactos en los relays y en los termostatos. Limpie o reemplácelos si es necesario.
	El índice del voltaje y la frecuencia de la bobina solenoide, no coincide con el suministro eléctrico. a. Bajo voltaje. b. Alto voltaje. c. Frecuencia incorrecta.	Revise el voltaje y la frecuencia indicados en el ensamble de bobina, para asegurarse que coincida con el suministro eléctrico. De lo contrario adquiera un conjunto de bobina nuevo con el índice de voltaje y frecuencia correctos. a. Localice la causa de la caída de voltaje y corríjala. Instale un transformador adecuado con el calibre de cable requerido. b. Un alto voltaje excesivo ocasionará que se queme la bobina.
	Diferencial de presión de trabajo más alto que la especificación MOPD de la válvula.	Reemplace con una válvula de solenoide nueva que tenga la especificación MOPD correcta.
	Válvula demasiado grande, de modo que la caída de presión a través del puerto de la válvula, es menor que el mínimo requerido para mantener abierto el pistón.	Determine la capacidad requerida para las condiciones de operación reales del sistema, e instale una válvula del tamaño adecuado.
LA VALVULA NO CIERRA	El pistón (armadura) o émbolo restringido debido a: a. Partes corroídas b. Material extraño acumulado en la válvula. c. Tubo guía abollado o doblado. d. Cuerpo torcido o deformado debido a: 1. Soldadura incorrecta. 2. Excesiva presión con pinzas o tornillo de banco. 3. Torque excesivo o disparejo en los tornillos de la brida.	Limpie las partes afectadas y reemplace las que sean necesarias. Corrija la causa de la corrosión o fuente de material extraño en el sistema.
	Vástago de apertura manual manteniendo la válvula en posición abierta.	Con la bobina desenergizada, gire el vástago manual en sentido contrario de las manecillas del reloj (hacia afuera) hasta que se cierre la válvula.
	Corriente de retorno mantiene la bobina energizada, o los contactos del interruptor no cortan el circuito a la bobina solenoide.	Conecte el voltímetro a las terminales de la bobina y revise si hay retroalimentación o circuito cerrado. Corrija los contactos o cables averiados.
	Presiones invertidas (presión de salida de la válvula mayor que la presión de entrada).	Instale válvula de retención (Check) a la salida de la válvula.
LA VALVULA CIERRA PERO EL FLUJO CONTINUA	Substancias ajenas alojadas abajo del asiento.	Limpie todas las partes internas y retire todas las substancias ajenas.
	Material sintético del asiento astillado, quebrado, o deformado.	Reemplace la válvula o las partes afectadas.
	Válvula ensamblada incorrectamente o aplicada a un fluido incorrecto.	Consulte el catálogo del fabricante para determinar si se está utilizando el tipo y diseño de válvula correcto para el fluido que se maneja y su aplicación. Ensamble con las partes adecuadas o reemplácela por la válvula adecuada.
	Voltaje de abastecimiento en la bobina muy bajo (menos del 85% del índice de voltaje de la bobina).	Localice la causa del bajo voltaje y corríjalo (revise el transformador - calibre del cable - índice de control).
	Suministro de voltaje en la bobina es muy alto (más del 10% por encima del índice de voltaje de la bobina).	Localice la causa del alto voltaje y corríjalo (instale el transformador adecuado o dele servicio).
	La válvula se localiza en condiciones de	Ventile o aisle el área de las condiciones

Capítulo 8

VALVULAS MANUALES

En los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, además de las válvulas de control automáticas operadas por presión, por temperatura o eléctricamente, también se utilizan válvulas manuales, de las cuales hay una variedad ilimitada de tipos y formas y hechas de diferentes materiales. Estas válvulas son de tipo totalmente cerradas o totalmente abiertas.

Los cuerpos de las válvulas pueden ser de fundición, forjados, o maquinados de barras. Los materiales que se utilizan para la fabricación de válvulas manuales para refrigeración son: acero, bronce, latón y cobre.

Las conexiones pueden ser: roscadas (Flare, F.P.T.), soldables (con o sin extensión) y bridadas.

Por su forma, las válvulas manuales pueden ser de globo, de esfera, de diafragma, de ángulo, de retención, de acceso, pinchadoras, etc.

En un sistema de refrigeración o aire acondicionado, se puede instalar cualquier cantidad de válvulas manuales, tantas como lo permita el tamaño del sistema o la caída de presión. Algunas de las características que se requieren en las válvulas manuales son: confiabilidad, baja caída de presión, diseño a prueba de fugas, materiales compatibles con el refrigerante y el aceite.

En los sistemas de refrigeración las válvulas manuales se instalan en puntos claves, y sirven no sólo para regular el flujo de líquido, sino también para aislar algún componente o parte del sistema para darle mantenimiento, sin tener que interrumpir otros componentes o accesorios. El diseño de la válvula deberá ser tal, que sus superficies sellantes no se distorsionen o se desalineen con los cambios de temperatura, la presión y el esfuerzo de la tubería a la que está conectada. Las superficies sellantes (asientos) deberán ser de diseño y materiales, tales que la válvula permanezca cerrada herméticamente, por un período de servicio razonable.

A continuación se describen e ilustran los tipos principales de válvulas manuales, indicando sus principales características y aplicaciones.

Válvulas de Paso

Su función principal es controlar el flujo de líquido y la presión. Las válvulas de paso instaladas en un sistema, deben estar totalmente abiertas o totalmente cerradas. Se utilizan para aislar componentes en el sistema. Las válvulas de paso que más comúnmente se utilizan en refrigeración, son las de tipo globo. Existen dos tipos de válvulas de globo: con empaque y sin empaque. Las válvulas de paso deben ser de un diseño que evite cualquier fuga de refrigerante. En la figura 8.1, se muestra una válvula de paso típica con empaque, con diseño de globo, recta, y en la figura 8.2, se muestra una válvula de globo angular. Puesto que los refrigerantes son difíciles de retener, las válvulas con empaque generalmente están equipadas con tapones de sellamiento. Algunos de estos tapones están diseñan para que al quitarlos, sirvan de herramienta para abrir o cerrar la válvula.

En la figura 8.3, se muestra una válvula de paso con diseño de globo sin empaques, normalmente conocidas como válvulas de diafragma. A continuación, examinaremos con más detalle los componentes de las válvulas de globo.

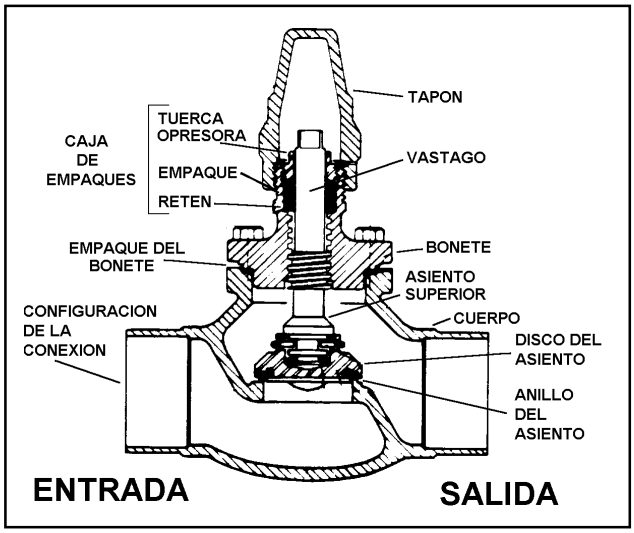


Figura 8.1 - Válvula de paso tipo globo típica.

Cuerpo - Es la parte más grande de la válvula. Actúa como la porción de la válvula que contiene la presión. En la válvula de globo que se muestra, un armazón separa la entrada y salida del cuerpo de la válvula.

Cualquier falla en el cuerpo puede causar que pare el sistema, o posiblemente una pérdida total. Consecuentemente, el cuerpo debe tener un diseño que cumpla con los códigos y normas de seguridad existentes. El diseño debe soportar variaciones en la presión y temperatura del sistema. Debe evaluarse la resistencia a un ataque químico o a la corrosión, tanto en el interior como en el exterior.

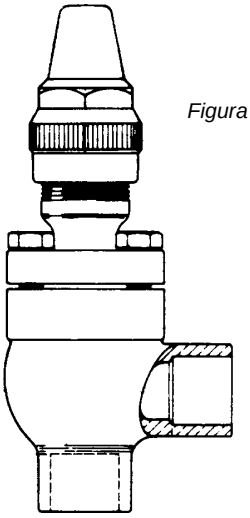


Figura 8.2 - Válvula de paso tipo globo angular.

Al diseñar los cuerpos de las válvulas de paso, se considera generalmente un valor de 5; esto es, el cuerpo debe resistir 5 veces la presión de diseño sin fallar. Por ejemplo, una válvula clasificada para 400 psi (2,860 kPa), no debe fallar abajo de 2,000 psi (13,890 kPa).

Los materiales con que se fabrican los cuerpos de las válvulas de paso para refrigeración son variados. Para refrigerantes halogenados, generalmente se usan de bronce fundido, de latón forjado, de barra de latón maquinada y de barra de acero maquinada. Para amoníaco, se hacen generalmente de hierro gris fundido (semi-acero) o de hierro dúctil (nodular). Las válvulas soldables se hacen parcial o totalmente de acero, esto permite que la válvula sea soldada directamente a la línea.

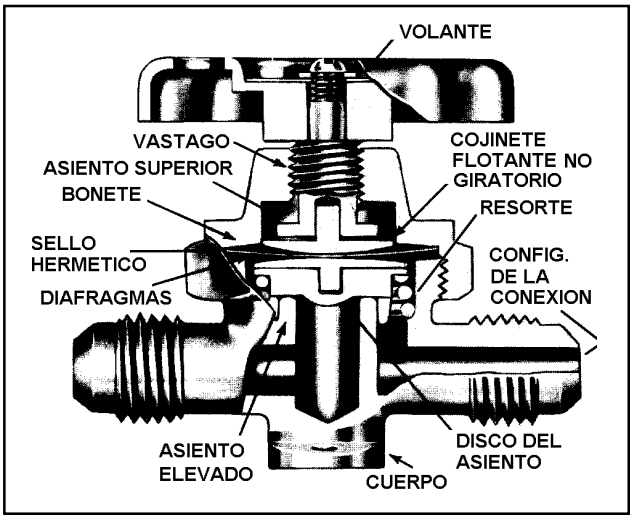


Figura 8.3 - Válvula de paso tipo globo sin empaque (tipo diafragma).

Bonete - El bonete al igual que el cuerpo, es un componente para contener la presión. Dentro del bonete están contenidos el vástago y todos los componentes sellantes alrededor del vástago.

Los bonetes pueden ser atornillados (figura 8.1) o roscados (figura 8.3). Esta designación se refiere al método de fijarlo al cuerpo de la válvula. Los diseños roscados se usan generalmente en válvulas hasta de una pulgada (25.4 mm). Los bonetes atornillados, como su nombre lo implica, utilizan tornillos para fijarlos al cuerpo. Generalmente se usan cuatro tornillos, aunque pueden ser más.

Para refrigerantes halogenados, el material más común es el latón forjado. Para amoníaco el material empleado es el hierro, ya sea fundido, dúctil o maquinado de barra.

Vástago - Esta es la parte mediante la cual se opera la válvula. Este transmite una fuerza que imparte movimiento al disco del vástago, cerrando o abriendo la válvula. Puede ser operado por una llave (figura 8.1) o por un volante (figura 8.3). La clase de vástagos mostrados en estas figuras son del tipo que se elevan; esto es, al abrir la válvula el vástago sube. Al cerrar la válvula, el vástago baja hacia el cuerpo de la misma. Existen válvulas que emplean un sistema con vástago que no se eleva externamente, y se les llama simplemente diseños de vástago no saliente.

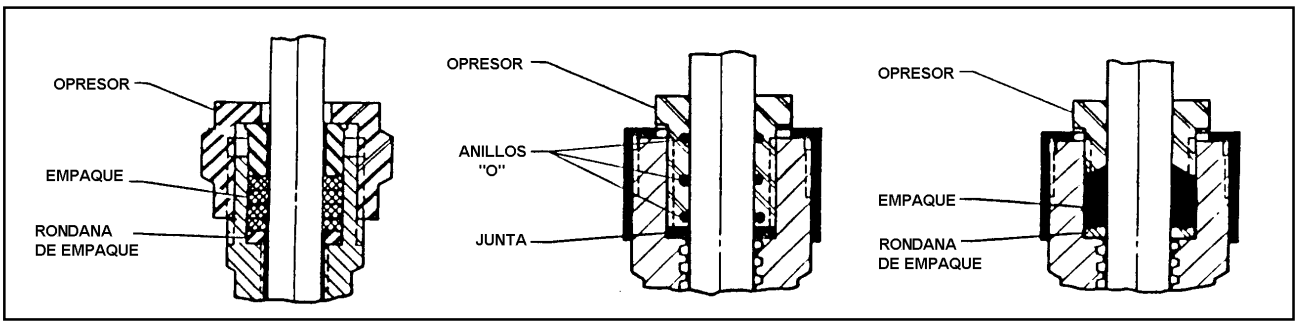
Los materiales con que se fabrican los vástagos son de suma importancia, deben ser resistentes a la corrosión para que en cualquier momento que se requiera abrir o cerrar la válvula, el vástago no se pegue.

Para refrigerantes halogenados, los vástagos salientes se fabrican de latón o hierro, con un recubrimiento de cromo o níquel. Para uso en amoníaco, en algunos casos se rolan en frío con recubrimiento de acero; aunque el material preferido es el acero inoxidable, por su excelente resistencia a la corrosión.

Caja de Empaques - En las válvulas de paso con empaque, éste es el término general que abarca todas las partes requeridas para sellar el vástago y evitar fugas de refrigerante.

Se utilizan varios arreglos para sellar el vástago. En la figura 8.4 se muestran las tres variaciones de caja de empaques más comunes. Dos se pueden llamar empaques convencionales, mientras que una utiliza sellos a base de anillos "O".

Figura 8.4 - Diferentes tipos de cajas de empaques.



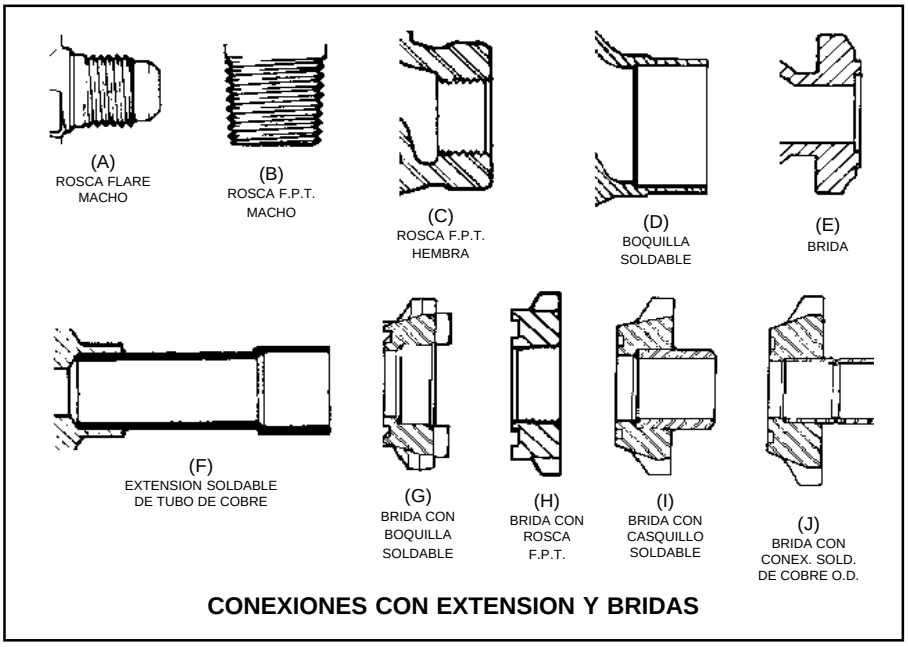


Figura 8.5 - Diferentes tipos de conexiones de válvulas de paso.

Al cambiar los empaques o anillos "O", asegúrese de haber reducido la presión del sistema hasta 0 psi (101.3 kPa). Algunas válvulas se fabrican con vástago con asiento superior (doble asiento), lo que permite reempacar las válvulas bajo presión en la línea (ver figura 8.1). Debe saberse qué tipo de empaque tiene la válvula antes de proceder a reempacar.

Los empaques se pueden fabricar de una amplia variedad de materiales: asbestos grafitados, asbestos impregnados de teflón, trenza de teflón, teflón, etc.

Los anillos "O" y empaques de hule se han llegado a utilizar también como material de empaque.

Si se detecta una fuga en el área del empaque, intente apretar el opresor. Si esto no resuelve el problema, entonces se necesita cambiar el empaque o los anillos "O". Algunas veces como reparación temporal, puede agregarse un poco de aceite de refrigeración al empaque o a los anillos "O". Sin embargo, esto debe considerarse temporal y el sello debe repararse.

En las válvulas de paso sin empaques (tipo diafragma), el vástago no va empacado, ya que el sello contra fugas lo hacen los diafragmas, mismos que a su vez sirven para transmitir el movimiento al disco del asiento, para que abra o cierre la válvula.

Configuración de la Conexión - Este es un término general que designa cómo se va a fijar la válvula a la tubería del sistema. Estas configuraciones varían con el diseño de la válvula. En la figura 8.5 se muestran diferentes tipos de configuraciones de conexiones, tanto para refrigerantes halogenados, como para amoníaco.

Las conexiones integrales son las que llevan maquinados los extremos del cuerpo de la válvula, figura 8.5 A, B, C, D, y E. En esta última, a la conexión para brida se le pueden unir bridas removibles por medio de tornillos y tuercas, figura 8.5 G, H, I y J. Las extensiones soldables de tubo de cobre, se utilizan generalmente en válvulas de paso soldables, en las que un exceso de calor pudiera dañar alguna de las partes internas (figura 8.5 F).

Las válvulas de paso convencionales pueden ser de diseño integral o con bridas. La gran mayoría de válvulas de paso son de globo. Donde sea posible y lo permita la configuración de la tubería, se puede usar una válvula angular. El tipo de válvula de ángulo recto ofrece menos resistencia al flujo (menor caída de presión).

Asientos - Los asientos en las válvulas de paso empacadas, pueden ser sólidos o de piezas múltiples, con asiento sencillo o doble, figura 8.6. Al asiento de piezas múltiples, se le conoce también como disco giratorio y se compone de varias piezas, con el objeto de que al cerrar la válvula, el disco se alinee solo, sin girar, haciendo el sello sobre el asiento del cuerpo de la válvula.

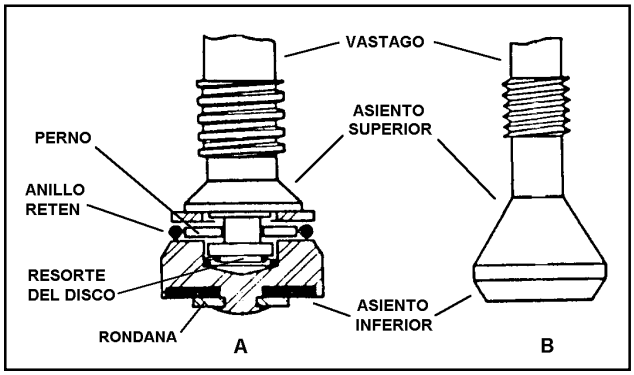


Figura 8.6 -Asientos de válvulas de paso empacadas. (A) de múltiples piezas y (B) vástago sólido.

El asiento sólido se maquina completo al vástago y, generalmente, este tipo de asiento se usa en válvulas pequeñas de hasta una pulgada (25.4 mm).

Los materiales que se usan en los asientos para cerrar la válvula, pueden ser acero, plomo (babitt), nylon o teflón. El teflón se ha vuelto más popular gracias a su facilidad para cerrar. En válvulas con asiento de teflón, debe tomarse la precaución de no sobreapretar al cerrarla. El teflón fluye en frío, así que tenga cuidado.

Los asientos de las válvulas de paso con diafragma, también son de piezas múltiples (figura 8.3), y el material sellante, generalmente, es de nylon.

Instalación - Se recomienda que las válvulas de paso se instalen con la presión debajo del asiento. Esto proporciona una acción limpiadora, que mantiene al asiento libre de partículas extrañas. Las válvulas funcionan mejor en posición normal, con el vástago hacia arriba. Cualquier otra posición del vástago, desde vertical hasta horizontal, es satisfactoria y es un compromiso. Instalar una válvula con el vástago hacia abajo, no es una buena práctica. En esta posición invertida, el bonete actúa como una trampa para el sedimento, lo que puede cortar y dañar el vástago. Dicha posición para una válvula en una línea de líquido sujeta a temperaturas de congelación, es mala, porque el líquido atrapado en el bonete puede congelarse y romperlo.

Válvulas de Retención

Este tipo de válvulas se utilizan en los sistemas de refrigeración, para evitar que refrigerante (en forma líquida o gaseosa) y el aceite fluyan en sentido contrario. Estas válvulas sólo permiten el flujo de refrigerante y aceite en un sólo sentido.

Las hay de muchas formas y tamaños, para aplicaciones desde refrigeración doméstica hasta industrial, incluyendo aire acondicionado y bombas de calor.

Su aplicación es muy variada. Algunos tipos de válvulas de retención se utilizan en líneas de succión, para evitar que se regrese refrigerante o aceite al evaporador u otros dispositivos, donde pudiera condensar o alojar durante los ciclos de paro. Con frecuencia se utilizan en instalaciones de evaporadores múltiples, conectados a una sola unidad de condensación y los evaporadores a diferentes temperaturas.

Algunos sistemas de bombas de calor utilizan dos válvulas de retención, en combinación con dos válvulas de termo-expansión, para que opere una u otra cuando se invierta el ciclo de refrigeración a calefacción o viceversa. (Ver figura 7.18).

Las válvulas de retención también se utilizan en algunos sistemas de deshielo por gas caliente.

Una de las aplicaciones más comunes, tanto en refrigeración comercial como industrial, es en la línea de descarga (gas caliente), entre el separador de aceite y el condensador, con el objeto de evitar que en los ciclos de paro o en los cambios repentinos de presión, se regrese refrigerante al separador de aceite y se condense, sobre todo en lugares de baja temperatura ambiente.

Por su construcción, las válvulas de retención pueden ser de disco, de esfera o de pistón. También operan de diferentes maneras, algunas usan un imán o un resorte para mantener la válvula contra el asiento. Otras se montan de tal forma, que el peso mismo de la válvula, la mantiene contra el asiento.

Los materiales de construcción del cuerpo de la válvula pueden ser bronce fundido, latón forjado y fierro fundido. Los bonetes pueden ser de latón forjado; la barra de acero o latón maquinado o de fierro fundido. Estos bonetes van unidos al cuerpo de la válvula ya sea mediante tornillos (figura 8.7) o pueden ser roscados (figura 8.8) .

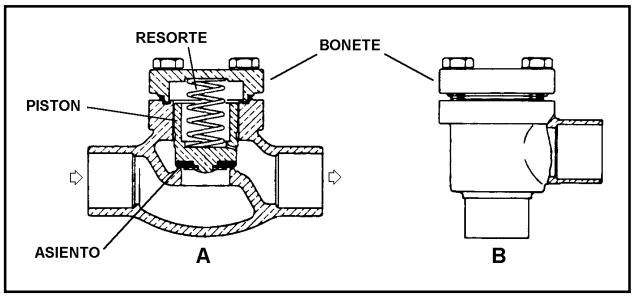


Figura 8.7 -Válvulas de retención de globo tipo de pistón operadas por resorte, A - recta y B - angular, con bonete atornillado.

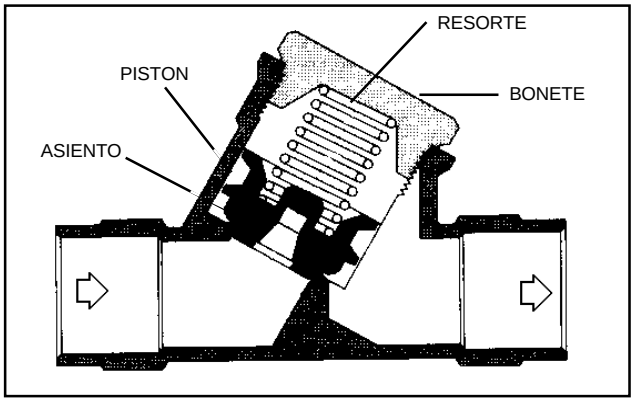


Figura 8.8 -Válvula de retención de globo tipo pistón, operada por resorte, inclinada, con bonete roscado.

Las válvulas de la figura 8.7, pueden utilizarse tanto en la línea de descarga, como en la línea de succión. Este tipo de válvulas, por lo general son de conexiones soldables que van desde 7/8" (22.2 mm) hasta 3-1/8" (79.4 mm). Pueden desarmarse para soldarlas, pero se recomienda que no se instalen con el bonete hacia abajo. Las válvulas de la figura 8.8, son del tipo que se utiliza en la línea de succión en los evaporador más fríos, en sistemas de evaporadores múltiples.

Esta válvula de retención debe de tener el asiento fuertemente apretado y debe abrir fácilmente. Si la válvula es muy pequeña o si abre con dificultad, funcionará como un dispositivo de expansión y ocasionará demasiada caída de presión. El resultado será una pobre refrigeración en el evaporador más frío.

En la figura 8.9 se muestra una válvula de retención pequeña con conexiones roscadas flare, de las que se utilizan en las bombas de calor. Se pueden instalar en cualquier posición. Su construcción es de latón y el asiento es de hule sintético.

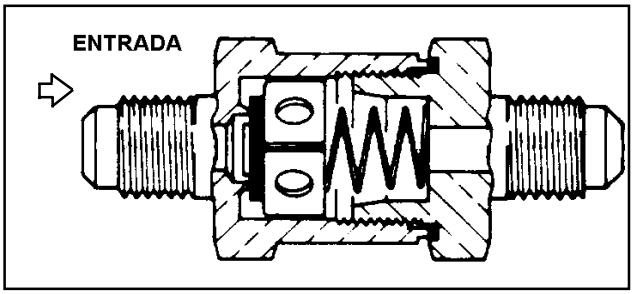


Figura 8.9 - Válvula de retención recta tipo pistón, para sistemas pequeños.

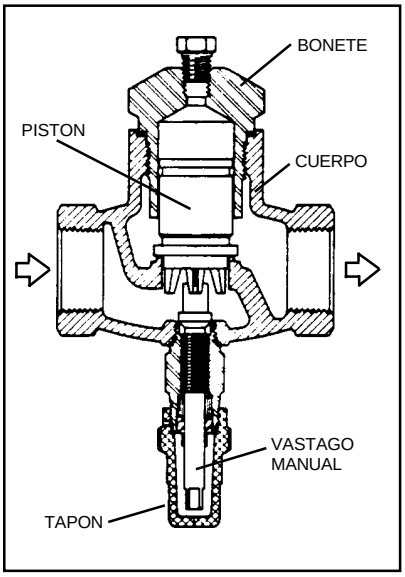


Figura 8.10 - Válvula de retención de globo tipo de pistón con bonete roscado (amoníaco).

En la figura 8.10, se muestra una válvula de retención para uso en refrigeración industrial con amoníaco. El cuerpo es de fundición de fierro dúctil, el bonete puede ser roscado, como el que se muestra de acero, o atornillado de fierro dúctil. Las conexiones pueden ser de rosca hembra, como la de la figura, o pueden ser conexiones para brida. Son del tipo de pistón, pero además, el vástago permite levantar manualmente el pistón para abrir la válvula en contra de la presión de la línea, e invertir el flujo.

Estas válvulas deben de instalarse en posición horizontal, con el bonete hacia arriba.

Otro tipo de válvula de retención para uso en refrigeración industrial, es la que se muestra en la figura 8.11. Se trata de una válvula de disco, y su aplicación más común es en la línea de gas caliente, para evitar el regreso de refrigerante al separador de aceite.

Las válvulas de retención en general, pueden ser una fuente de ruido en un sistema de refrigeración, al abrir o cerrar, con un ruido o golpe metálico. También hay ruido asociado con la operación ineficiente de la válvula. Si la válvula no cierra completamente al invertirse el flujo, se podrá escuchar un ruido como martilleo. Actualmente, las válvulas se diseñan para reducir este problema del ruido.

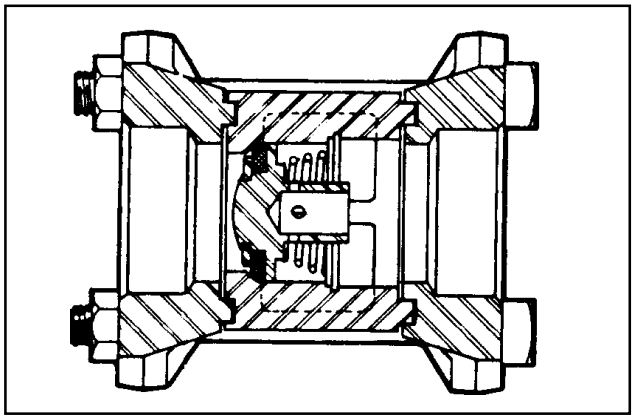


Figura 8.11 - Válvula de retención tipo disco con conexiones bridadas.

Válvulas de Servicio

En los sistemas de refrigeración, los técnicos de servicio deben estar familiarizados con las válvulas manuales de servicio. Estas válvulas le permiten sellar partes del sistema mientras conectan manómetros, se carga o descarga refrigerante o aceite, se mete un vacío, etc.

Existen varios tipos de válvulas de servicio. Dichas válvulas pueden tener volantes en sus vástagos, pero la mayoría requieren de una llave para girarlos. Los vástagos de las válvulas son hechos de acero o de latón, mientras que el cuerpo está hecho de latón o fierro forjado. Por lo general, son del tipo empacado.

Las válvulas de servicio pueden ser de dos tipos: válvulas de servicio para compresor, o válvulas de servicio para tanque recibidor.

Válvulas de Servicio Para Compresor - Los compresores abiertos y semi-herméticos, generalmente vienen equipados con válvulas de servicio. Estas válvulas van atornilladas al cuerpo del compresor, una en la succión y otra en la descarga. Dependiendo del tamaño del compresor, pueden ser de dos o de cuatro tornillos. En la figura 8.12, se muestran dos válvulas típicas de servicio para compresor. Algunos compresores herméticos también usan vál-

Figura 8.12 - Válvulas de servicio para compresores abiertos y semiherméticos de 4 y 2 tornillos.

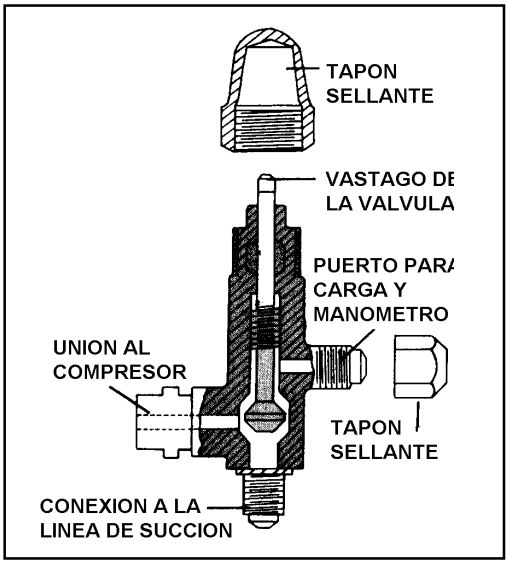


Figura 8.13 - Válvula de servicio para compresor hermético, soldable.

vulas de servicio, pero éstas no van atornilladas, sino soldadas a la succión y descarga del compresor, como se muestra en la figura 8.13.

Las válvulas de servicio para compresor son de doble asiento, fabricadas de tal forma que el vástago sella contra el asiento, ya sea que esté totalmente cerrado o totalmente abierto.

En sistemas con refrigerantes halogenados, hay válvulas de servicio de uso común de una vía, y de dos vías. Las válvulas de "dos vías" tiene dos puertos, uno puede estar abierto mientras que el otro está cerrado, o ambos pueden estar abiertos.

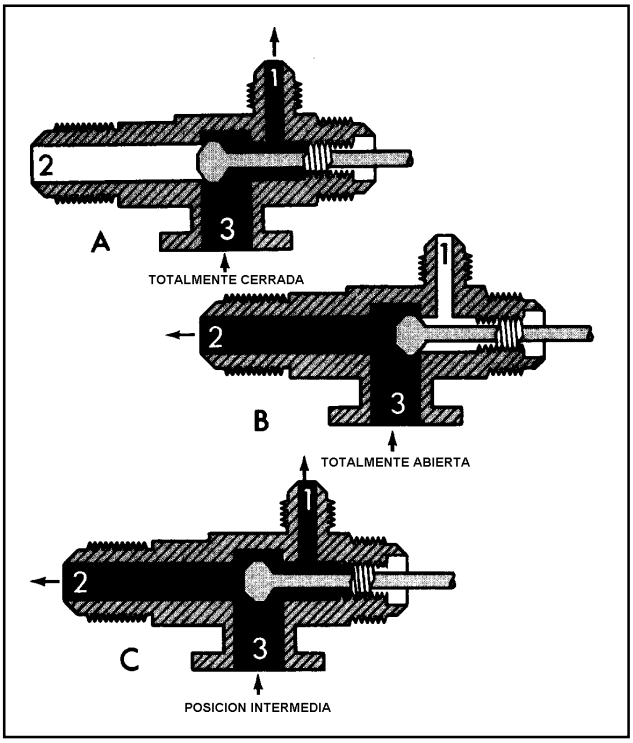


Figura 8.14 - Diseño típico de una válvula de servicio para compresor.

La válvula de dos vías, usualmente cierra el flujo de refrigerante en el sistema, cuando el vástago es girado totalmente en el sentido de las manecillas del reloj. Cuando el vástago es girado totalmente en el sentido contrario de las manecillas del reloj, cierra el puerto de servicio. Cuando el vástago es girado a un punto intermedio, ambos puertos están comunicados, permitiendo que fluya el refrigerante como se muestra en la figura 8.14. En esta figura, el número 1 es la conexión de servicio, el 2 es la conexión a la línea de refrigerante, y el número 3 es la conexión al compresor. La conexión a la línea puede ser roscada (flare) o soldable.

La posición "B" es la normal cuando la unidad está operando. En esta posición se puede quitar o poner el manómetro, o el tapón, sin pérdida de refrigerante. También se puede conectar la manguera del múltiple, y es posible reempacar la válvula, sin interrumpir el servicio.

La posición "C" se usa cuando se desea medir la presión, cargar refrigerante, hacer vacío, etc., sin interrumpir la operación.

En la posición "A" (válvula cerrada), es posible desconectar y retirar el compresor del sistema, sin pérdida de refrigerante.

Válvula de Servicio Para Tanque Recibidor - En sistemas con refrigerantes halogenados, se conoce este tipo de válvulas más comúnmente como "Válvulas de Ángulo". En la figura 8.15, se muestran algunas de estas válvulas. Están diseñadas para varios otros usos, además de su aplicación en tanques recibidores. Cuando se instalan adecuadamente, proporcionan acceso al sistema para servicio. Se fabrican de doble asiento, igual que las de compresor, y con asiento sencillo.

Los materiales con que se fabrican los cuerpos de estas válvulas son variados; los hay de latón forjado, fierro forjado, maquinados de barra de latón o de acero. Generalmente son del tipo empacado.

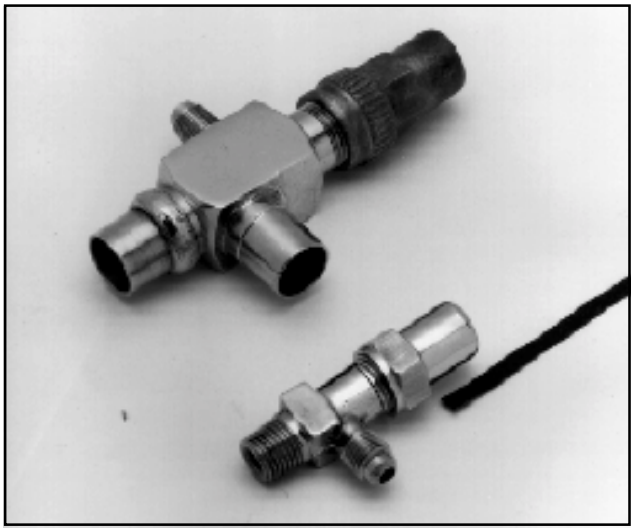


Figura 8.15 - Válvulas de servicio de ángulo, de asiento sencillo y doble asiento.

Los materiales con que se fabrica el vástago son, normalmente, acero inoxidable o acero con un recubrimiento de níquel o cromo. Los hay de asiento sencillo o de doble asiento.

La caja de empaques consiste, generalmente, de la tuerca opresora, anillos "O" y rondanas de acero o latón.

Sus conexiones inferiores pueden ser roscadas para tubo (F.P.T.) o soldables, con o sin extensión de cobre. Estas últimas, permiten que sean soldadas con plata, sin temor a que se dañe el empaque.

La conexión lateral también puede ser roscada (flare) o soldable, con o sin extensión de cobre. En las de doble asiento, el puerto de servicio es de 1/4" flare.

En las figuras 8.16 y 8.17, se muestran dibujos ilustrando las partes internas de una válvula de ángulo con asiento sencillo, y otra de doble asiento, respectivamente.

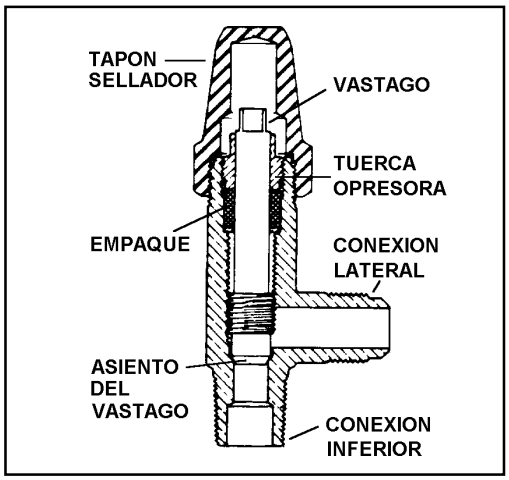


Figura 8.16 - Válvula de ángulo de asiento sencillo.

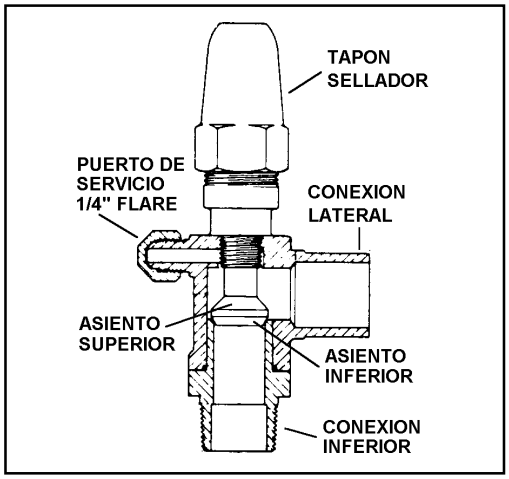


Figura 8.17 - Válvula de ángulo de doble asiento.

La aplicación principal de este tipo de válvulas, es en tanques recibidores de refrigerante líquido, los cuales llevan dos de estas válvulas. Una va ubicada sobre el tanque, después del condensador (válvula de entrada), y la otra se ubica sobre el recibidor, antes de la línea de líquido (válvula de salida). Estas dos válvulas permiten al técnico desconectar el tanque recibidor del sistema, cargar refrigerante en forma líquida, colectar todo el refrigerante del sistema en el recibidor (pump down), etc. Algunos recibidores están equipados con una sola válvula de servicio, la de salida, con la entrada en forma de una conexión ordinaria de codo.

Cuando se vaya a abrir una válvula de cualquier tipo de los mencionados hasta ahora, quite el tapón sellador - si lo tiene - y afloje una vuelta la tuerca opresora. Enseguida, limpie el vástago antes de girarlo. Es buena práctica primero abrir ligeramente, no más de 1/8 de vuelta. Esto evita un golpe de presión, el cual puede dañar mecanismos, manómetros, salpicar aceite en cantidades anormales o inclusive, perjudicar al técnico. Otro propósito al abrir ligeramente, es evitar que la válvula se "congele" contra su asiento. Esta condición, algunas veces conduce a que se rompan los vástagos. Para abrir ligeramente el vástago, es preferible hacerlo con una llave fija (tipo española), en lugar de la "matraca". Esto con el fin de que la válvula pueda cerrarse rápidamente, en caso de ser necesario. Apriete la tuerca opresora y coloque el tapón.

Asegúrese que el vástago de la válvula esté limpio, antes de girarlo hacia adentro. Un vástago de válvula sucio, rayado u oxidado, arruinará el empaque de la válvula. Los vástagos tienden a oxidarse. Siempre limpie y lubrique un vástago antes de girarlo.

Una buena manera de reducir esta corrosión, especialmente en lugares húmedos, es llenar el cuerpo de la válvula con aceite limpio y seco para refrigeración, antes de reemplazar el tapón cada que se usa la válvula de servicio.

Las válvulas de servicio en instalaciones comerciales e industriales, deben mantenerse en buenas condiciones. El técnico puede hacer tres cosas para asegurar un buen servicio y prolongar la vida útil de la válvula.

1. Gire siempre el vástago con la herramienta adecuada.
2. Mantenga el empaque de tal manera que la válvula no fugue.
3. Lubrique la rosca de las conexiones para manómetro cada vez que las use.

Ocasionalmente, después de un período de uso, las válvulas de servicio deberán ser reemplazadas. Con el uso frecuente, la rosca para tubo y manómetro se puede gastar y fugar. Es posible eliminar este problema si a las conexiones que se insertan en este puerto, se les da un recubrimiento delgado de soldadura.

En ocasiones se va a encontrar con válvulas de servicio en tan malas condiciones, que ya no sean útiles. En dichos casos, remueva o aisle el refrigerante en otra parte del sistema, y cambie la válvula.

Cuando instale un tapón en el puerto de servicio de una válvula de compresor, apriételo firmemente. Nunca apriete un tapón frío en una válvula caliente. Esto puede resultar en el congelamiento del tapón con su asiento.

Si el tapón está "congelado" en la válvula de servicio, puede aflojarse calentando con la flama de un soplete por fuera del cuerpo de la válvula. Tenga cuidado de no sobrecalentar. Este calor causará que el cuerpo de la válvula se expanda y que afloje el tapón.

Válvula de Acceso (de Pivote)

Los sistemas de refrigeración herméticos, también conocidos como unidades selladas, normalmente no tienen válvulas de servicio en el compresor. En su lugar, tiene un tubo de proceso o de servicio, al cual se le puede instalar una conexión o válvula de acceso para operaciones de servicio. Generalmente, estas válvulas se retiran cuando se ha completado el trabajo o servicio.

Las válvulas de acceso en los sistemas herméticos tienen varios propósitos:

1. Para medir la presión interna.
2. Para cargar o descargar refrigerante.
3. Para agregar aceite.
4. Para evacuar el sistema.

Otras formas de tener acceso a un sistema hermético, es mediante adaptadores al tubo de proceso y mediante válvulas perforadoras. En este capítulo, sólo se verán las válvulas de acceso de pivote; pero se mencionarán brevemente las otras dos.

El tubo de proceso que algunos fabricantes de equipos dejan en el compresor, es el que ellos utilizan para hacer vacío y probar y cargar la unidad nueva. Este tubo puede ser usado por el técnico para efectuar un servicio, soldándole una extensión y montando un adaptador, montando una válvula perforadora o creándole un abocinamiento para conectar una válvula de acceso.

En la figura 8.18 se muestra como se monta el adaptador. En este caso, no es necesario soldar una extensión ni hacerle el abocinado (flare). Se corta el extremo del tubo de proceso que está sellado, para dejar escapar el refrigerante, y se monta el adaptador de acuerdo a las instrucciones. Después de hacer el servicio y cargar nuevamente el refrigerante, se sella el tubo utilizando una herramienta prensadora ("pinchadora"). Se quita el adaptador y se solda el extremo del tubo de proceso.

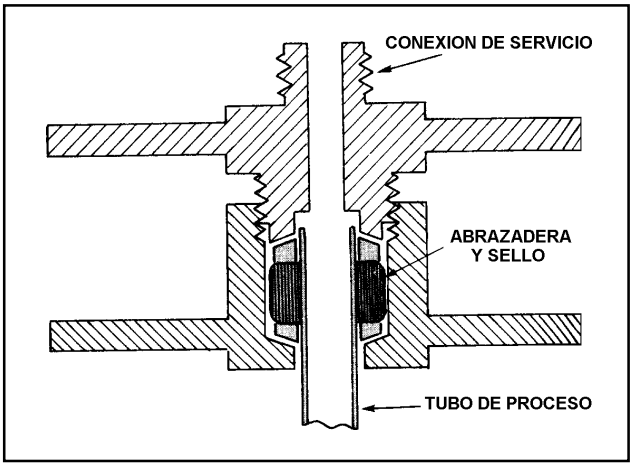


Figura 8.18 - Adaptador para tubo de proceso.

En la figura 8.19, se muestran dos tipos de válvulas perforadoras, una forma muy conocida de tener acceso al sistema. Estas pueden montarse en el tubo de succión o el de descarga, y también en el de proceso.

Existen dos tipos: atornilladas (A) y soldables (B). Se deben montar en un tramo de tubo recto y redondo. Una vez instaladas, se coloca la válvula de servicio, cuyo vástago en forma de punta de desarmador, encaja perfectamente en la cabeza de la aguja perforadora. Al girar el vástago en el sentido de las manecillas del reloj, la aguja perfora el tubo.

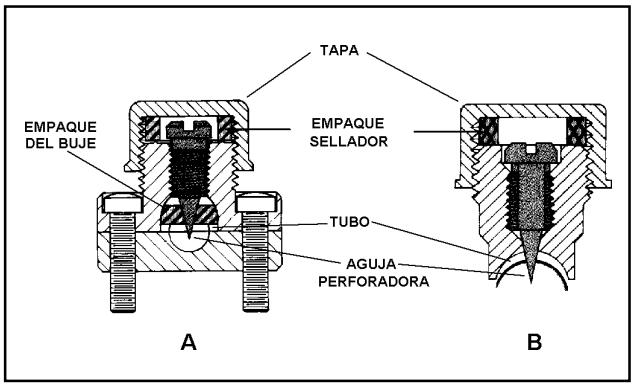


Figura 8.19 - Válvulas perforadoras típicas. (A) atornillada, (B) soldable.

Las válvulas de acceso más comúnmente utilizadas en los sistemas de refrigeración, son las de pivote o válvulas de núcleo. Este tipo de válvulas son similares a las que se usan en las llantas de los automóviles, como la que se muestra en la figura 8.20.

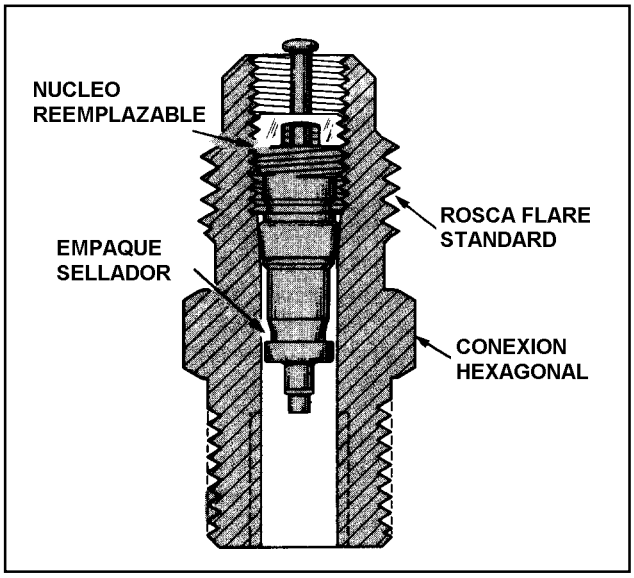


Figura 8.20 - Válvula de acceso de pivote.

Normalmente, el cuerpo de este tipo de válvulas se fabrica de barra hexagonal de latón, aunque también se hacen de acero o aluminio. El núcleo es de acero y el empaque es de material compatible con los refrigerantes y el aceite.

El puerto de acceso (superior) la mayoría de las veces va a ser de 1/4" con rosca flare (SAE). Las conexiones inferiores son las que varían, y se fabrican con rosca para tubo FPT macho de varias medidas, como la mostrada en la figura 8.21 (A). Si no desea utilizarse la rosca de la conexión inferior, el orificio está maquinado para aceptar conexiones de diámetro exterior (ODS) de tubos de cobre de varias medidas. Este tipo de válvula de acceso, es la que comúnmente se utiliza en las válvulas de servicio de los compresores, tanto de succión como de descarga. También se emplea en los filtros deshidratadores del tipo recargable de bloques desecantes. Ambos accesorios originalmente traen un tapón macho, el cual se reemplaza por la válvula de acceso.

Se fabrican también en conexión inferior soldable (B), y al igual que en todas las demás, también se puede usar el puerto inferior para soldar tubo de cobre de diferentes medidas.

Otro tipo de válvula de acceso se fabrica con la conexión inferior soldable en forma escalonada (C), para diferentes diámetros de tubo de cobre.

El otro tipo de válvula de acceso es la que se muestra en la figura 8.21 (D), la cual ya viene con una extensión de tubo de cobre, para facilitar la soldadura al instalarla al sistema.

Es importante mencionar que cuando se vaya a soldar una válvula de acceso al sistema, ya sea con bronce o soldadura de plata, se debe remover el núcleo, para evitar que éste se dañe por el calor. Este núcleo debe reponerse hasta que esté fría la válvula. Todos los tipos de válvulas de acceso vienen con su tapón, el cual trae un anillo "O" de neopreno para sellar en caso de una fuga.

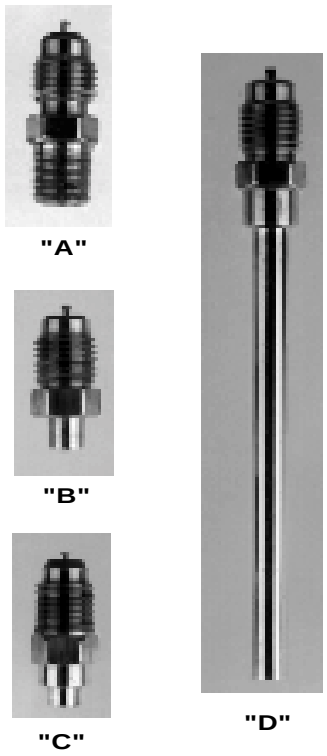


Figura 8.21 - Diferentes tipos de conexiones de válvulas de acceso tipo pivote.

Capítulo 9

RECUPERACION Y RECICLADO DE REFRIGERANTES

Introducción

En este capítulo se verá la importancia del uso de los equipos para recuperación y reciclado de refrigerantes; se describirá el efecto de los refrigerantes clorofluorocarbonados (CFC's) sobre la capa de ozono, en la atmósfera; se entenderán las reglas que gobiernan el desfasamiento de los refrigerantes totalmente halogenados (CFC's); así como los procedimientos adecuados para recuperar, reciclar y re-utilizar los CFC's.

Los CFC's y la Capa de Ozono

La capa de ozono es una delgada capa dentro de la atmósfera de la tierra, comienza aproximadamente a unos 25 km arriba del suelo, y se extiende hasta más de 35 km de ancho (figura 9.1). Se sabe que esta capa cambia su espesor dependiendo la estación del año, hora del día y temperatura. Con frecuencia se le llama pantalla o escudo. A la capa de ozono se le acredita como protectora contra los dañinos rayos ultravioleta (UV) del sol. La capa de ozono funciona como un filtro para estos rayos y protege la vida humana, vegetal y marina de sus efectos dañinos. Existen teorías actualmente aceptadas, de que los rayos UV son los principales causantes de cáncer en la piel, y de provocar cambios en los ciclos biológicos de algunas plantas y organismos submarinos.

Desde hace muchos años, se había sostenido la teoría de que algunos gases emitidos desde la tierra, principalmente cloro y bromo, deterioran la capa de ozono. Esta hipótesis, presentada desde 1974 por los científicos Molina y Rawland (Premio Nobel de Química 1995), fue posteriormente confirmada por estudios de la NASA, mediante el uso de satélites y detectores de ozono, principalmente en la Antártida, donde el problema parece ser más serio. Las últimas investigaciones realizadas en la atmósfera, indican que puede haber un "agujero" en la capa de ozono sobre la Antártida, cada primavera, hasta mediados del próximo siglo (2,050), a causa de las emisiones de cloro y bromo.

Así mismo, se ha observado que en algunas áreas densamente pobladas de ambos hemisferios, se está presentando un agotamiento de la capa de ozono de aproximadamente 3% en verano y 5% en invierno. En los trópicos no se ha encontrado disminución de esta capa.

Los clorofluorocarbonos (CFC's) son una familia de compuestos químicos que contienen cloro, flúor y carbono. Fueron desarrollados hace más de 60 años y tienen

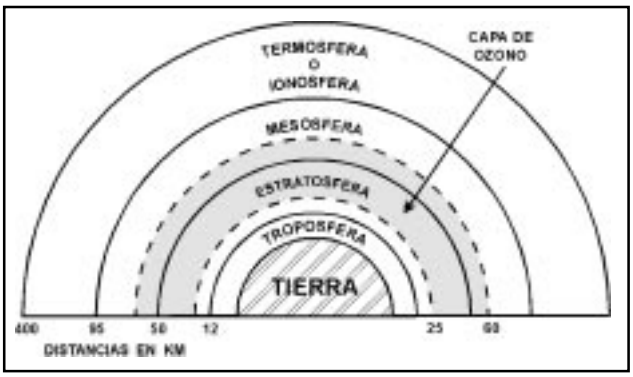


Figura 9.1 - Ubicación de la capa de ozono.

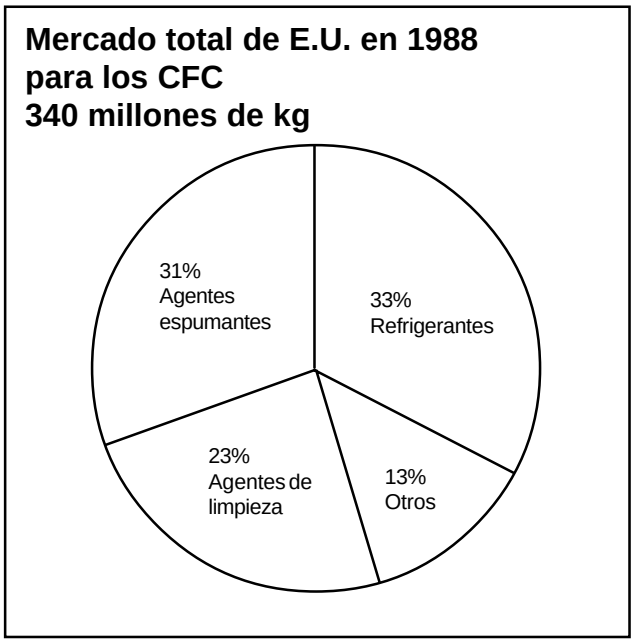


Figura 9.2 - Aplicaciones de los CFC'S.

propiedades únicas. Son de baja toxicidad, no son inflamables, no son corrosivos y son compatibles con otros materiales. Además, ofrecen propiedades físicas y termodinámicas que los hacen ideales para una variedad de usos. Los CFC's se utilizan como refrigerantes; agentes espumantes en la manufactura de aislamientos, empaques y espumas acojinantes, propelentes en aerosoles; como agentes de limpieza para componentes metálicos y electrónicos, y en muchas otras aplicaciones (figura 9.2).

Sin embargo, los CFC's son compuestos muy estables, por lo que al ser liberados, alcanzan grandes alturas sin descomponerse, y pueden pasar muchos años antes de descomponerse químicamente.

El cloro, importante componente de los CFC's, es el principal causante del deterioro de la capa de ozono. Mediante una acción acelerada por la luz del sol, el cloro se desprende de la molécula, reaccionando con una molécula de ozono y formando una molécula de monóxido de cloro y otra de oxígeno:

$$CFC + O_3 \text{ ---------> } ClO + O_2$$

El monóxido de cloro, por ser una molécula muy inestable, se separa fácilmente y deja el cloro libre de nuevo:

$$ClO \text{ ---------> } Cl + O$$

Este radical de cloro libre comienza el proceso otra vez:

$$Cl + O_3 \text{ ---------> } ClO + O_2$$

Por lo que una molécula de CFC puede destruir una cantidad grande de moléculas de ozono, dependiendo del número de átomos de cloro y de su estabilidad. Los CFC'S con mayor número de átomos de cloro son el R-11 (3 átomos) y el R-12 (2 átomos), y también son los más estables. Se estima que una molécula de R-11 puede destruir hasta 100,000 moléculas de ozono.

El Protocolo de Montreal

El deterioro de la capa de ozono pronto fue una preocupación mundial, y después de varios años de negociaciones, a mediados de 1989, se tomó un acuerdo internacional para regular la producción y el uso de compuestos químicos, que pudieran afectar la capa de ozono. Conocido como el Protocolo de Montreal, este acuerdo importante fue un llamado a reducir de manera gradual los CFC'S en los países desarrollados, que son los mayores productores. Aunque nuestro país, por su relativa baja producción no estaba considerado, también firmó este acuerdo.

En esta primera reunión, se hicieron varias propuestas de la forma en que se haría esta reducción. Finalmente, la más aceptada fue que, tomando como base los niveles de producción de 1986, en los países desarrollados debería de haber un defasamiento completo para el año 2,030. A los países menos desarrollados, se les otorgaron 10 años más para completar la transición a nuevas tecnologías.

El Protocolo es un esfuerzo unido de gobiernos, científicos, industria y grupos ecologistas. Coordinado por el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP), el Protocolo ha sido ratificado por aproximadamente la mitad de las naciones soberanas del mundo, lo que representa más de 90% del consumo de CFC's en el mundo.

En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha decretado regulaciones, las cuales establecen que para finales del siglo, los siguientes refrigerantes totalmente halogenados CFC'S deberán estar defasados:

R-11	(Tricloromonofluorometano)
R-12	(Diclorodifluorometano)
R-113	(Triclorotrifluoroetano)
R-114	(Diclorotetrafluoroetano)
R-115	(Cloropentafluoroetano)

Periódicamente, se hacen revisiones al Protocolo de Montreal para ver los avances, el desarrollo de los compuestos substitutos y hacer nuevas propuestas sobre el defasamiento. En junio de 1990 se hizo una nueva revisión, acordándose acelerar el defasamiento para el año 2000, como se muestra en la figura 9.3.

Mientras tanto, los grandes productores mundiales de refrigerantes habían estado ya trabajando en el desarrollo

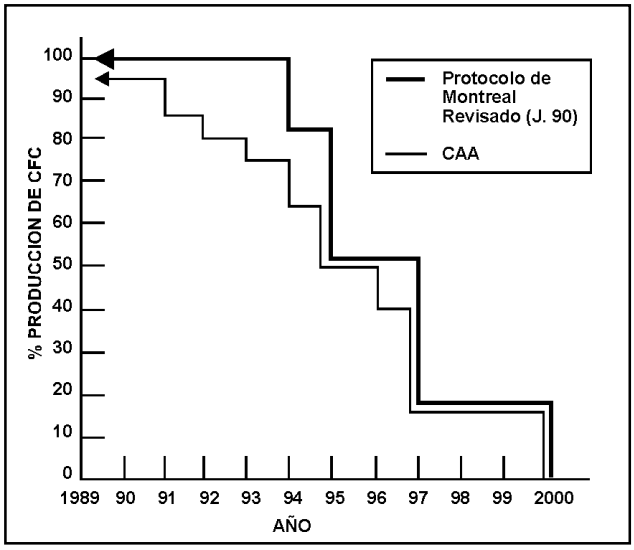


Figura 9.3 - Defasamiento acelerado de los CFC'S.

de nuevos productos que sustituyeran los CFC's. Las alternativas eran compuestos con menos contenido de cloro, llamados hidroclorofluorocarbonos (HCFC) o sin contenido de cloro, llamados hidrofluorocarbonos (HFC). Ese mismo año (1990), ya se habían desarrollado a nivel experimental, los refrigerantes que podían sustituir al R-11 y al R-12, que son el R-123 y el R-134a respectivamente, cuyas propiedades termodinámicas son muy semejantes, pero como no contienen cloro, no deterioran la capa de ozono.

Tomando como base al R-11 y al R-12, a los cuales se les dio un valor de Potencial de Agotamiento de Ozono (ODP) de 1.0, el resto de los compuestos tienen valores fraccionarios o de cero. Además, para efecto de indicar

este potencial, se decidió que el número de identificación deberá estar precedido por letras para indicar la presencia de bromo (B), cloro (C), flúor (F) e hidrógeno (H), además del carbono, para el cual también se usa la letra C. Así, los clorofluorocarbonos (CFC's) son los que tienen el mayor potencial de ODP, tales como el 11, 12, 113, 114 y 115. Los hidroclorofluorocarbonos (HCFC's) aunque también contienen cloro , contienen uno o más átomos de hidrógeno, lo que los hace menos estables y les permite descomponerse más rápidamente en la atmósfera baja, antes de alcanzar la estratósfera; por lo que se les clasificó con un ODP fraccionario menor de 0.1. Entre estos refrigerantes, se encuentran el 22, 123, 124, 141b y 142b. Los hidrofluorocarbonos (HFC's) no contienen cloro y su ODP es de cero, tales son los casos del 125, 134a, 143a y 152a. Los HCFC's y los HFC's tienen tiempos de vida atmosféricos más reducidos, de entre 2 a 25 años, comparados con los CFC's que duran 100 o más años.

Los componentes halogenados que causan deterioro a la capa de ozono, fueron clasificados en dos clases:

CLASE I. Todas las sustancias que causan o contribuyen a dañar significativamente la capa de ozono, y que tienen un Potencial de Agotamiento de Ozono (ODP) mayor o igual a 0.2. Estas substancias se separan en cinco grupos:

Grupo I. Todos los clorofluorocarbonos (CFC's); 11, 12, 113, 114, 115.
Grupo II. Compuestos con bromo (Halon 1211, 1301 y 2402).
Grupo III. Otros CFC's con uno, dos o tres átomos de carbono.
Grupo IV. Tetracloruro de carbono (CCl_4).
Grupo V. Metil cloroformo.

CLASE II. Aquellas substancias que se conoce que causan efectos dañinos sobre la capa de ozono. Estas incluyen todos los isómeros de los hidroclorofluorocarbonos (HCF's) que tengan uno, dos o tres átomos de carbono.

En noviembre 15 de 1990, la Ley para Aire Limpio (CAA) emitió leyes que incluyen una sección titulada Protección del Ozono Estratosférico, la cual contiene reglamentaciones muy amplias sobre la producción y uso de CFC's, halones, tetracloruro de carbono, metilcloroformo y los substitutos HCFC's y HFC's. Estas reglamentaciones, a cumplirse en los próximos 40 años, afectarán a toda industria que comúnmente emplee sustancias cloradas y brominadas que impacten el ozono estratosférico.

En la figura 9.3 se muestra cómo la citada ley aceleró el defasamiento en los Estados Unidos, comparado con el Protocolo de Montreal. Este cambio se debió a evidencias científicas, según las cuales el ozono se estaba agotando más rápidamente de lo que se había pensado.

Las mayores previsiones de la Ley Para Aire Limpio de los Estados Unidos incluyen:

- Programas para el defasamiento.
- Reciclado obligatorio a partir de julio de 1992, de los refrigerantes usados en aire acondicionado automotriz, en los talleres de servicio.
- Prohibición de productos no esenciales.
- Requerimientos de etiquetas de advertencia.

Algunas de estas precauciones, tales como el reciclado de refrigerantes, tienen un impacto positivo en el ambiente, y ayudan a facilitar la difícil transición de los CFC's a sus alternativas.

Los HCFC's aunque tienen un bajo potencial de agotamiento de ozono, también están regulados como sigue:

- Producción congelada y uso limitado a equipo de refrigeración hasta el 1 de enero del 2015.
- Se permite su uso en equipos de refrigeración nuevos hasta el 1 de enero del 2020.
- Defasamiento total efectivo al 1 de enero del 2030.

En 1991 se desarrollaron, además, mezclas ternarias de refrigerantes para substituir al R-22, al R-500 y al R-502, por lo que, en la revisión del Protocolo en 1992, se decidió acelerar el defasamiento de los CFC's para el 31 de diciembre de 1995.

La EPA puede acelerar el defasamiento, si juzga que es necesario por razones ambientales o de salud, o si es requerido por el Protocolo de Montreal.

Las investigaciones continúan, y desde 1992, ya se tiene determinado cómo se pueden modificar los equipos existentes para aceptar los nuevos refrigerantes, tales como el R-134a y el R-123, los cuales no crean ningún efecto sobre el ozono. Las propiedades de estos refrigerantes nuevos se verán en el capítulo 12.

Recuperación y Reciclado de Refrigerantes

Debido a las leyes que gobiernan la liberación de refrigerantes clorofluorocarbonados (CFC's) hacia la atmósfera, ha tenido como consecuencia el desarrollo de procedimientos para recuperar, reciclar y volver a utilizar los refrigerantes.

La industria ha adoptado definiciones específicas para estos términos:

Recuperación - Remover el refrigerante de un sistema en cualquier condición que se encuentre, y almacenarlo en un recipiente externo, sin que sea necesario hacerle pruebas o procesarlo de cualquier manera.

Reciclado - Limpiar el refrigerante para volverlo a utilizar, para lo cual hay que separarle el aceite y pasarlo una o varias veces a través de dispositivos, tales como filtros deshidratadores de tipo recargable de bloques desecantes, lo cual reduce la humedad, la acidez y las impurezas. Este término, generalmente se aplica a procedimientos implementados en el sitio de trabajo, o en un taller de servicio local.

Reproceso - Reprocesar el refrigerante hasta las especificaciones de un producto nuevo por medios que pueden incluir la destilación. Esto requerirá análisis químicos del refrigerante, para determinar que se cumplan con las

especificaciones apropiadas del producto. Este término, generalmente se refiere al uso de procesos o procedimientos, disponibles solamente en instalaciones o plantas que tienen la facilidad de reprocesar o fabricar refrigerantes. Esto también abarca talleres de servicio que estén equipados con equipos altamente técnicos.

Muchas compañías han desarrollado el equipo necesario para los técnicos de servicio, a fin de evitar la liberación innecesaria de clorofluorocarbonos a la atmósfera.

Los equipos para recuperación y manejo de refrigerante, pueden dividirse en tres categorías:

1. Recuperación - Unidad que recupera o remueve el refrigerante.
2. Recuperación / Reciclado (R y R) - Unidad que recupera y recicla el refrigerante.
3. Reproceso - Unidad que reprocesa el refrigerante dentro de las normas de la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

Equipo para Recuperar Refrigerante

Hay máquinas de recuperación disponibles en diferentes diseños. Las unidades pequeñas básicas, como la que se muestra en la figura 9.4 están diseñadas para usarse con R-12, R-22, R-500 y R-502, y para actuar como estaciones de recuperación, sin ventilación hacia la atmósfera.

El refrigerante es removido en su condición presente y almacenado en un cilindro desechable o transferible. Esta unidad remueve el aceite del refrigerante, y puede manejar vapor o líquido en un tiempo muy rápido. Después, el refrigerante puede reciclarse en el centro de servicio, o enviado a una estación de reproceso para reutilizarlo posteriormente.

Utilizando un dispositivo de recuperación de refrigerante, el técnico es capaz de remover refrigerante de sistemas pequeños de aire acondicionado, comerciales, automotrices y residenciales. Durante el proceso de recuperación, el refrigerante es removido del sistema en forma de vapor, utilizando la fuerza bombeadora de la máquina recuperadora, como se muestra en la figura 9.5.

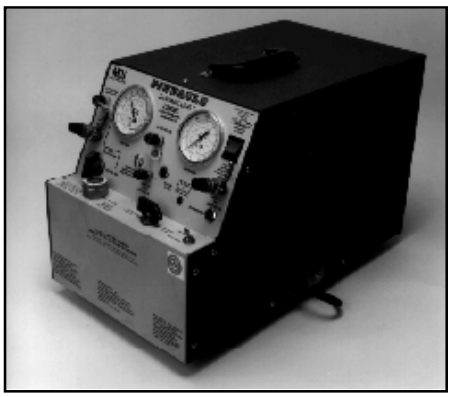


Figura 9.4 - Equipo exclusivamente para recuperación.

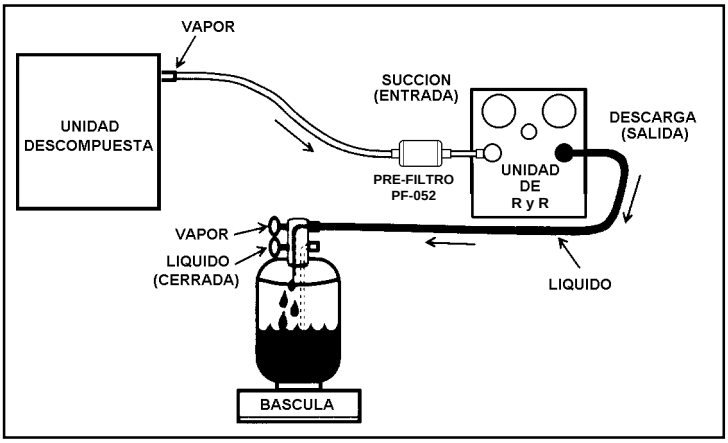


Figura 9.5 - Recuperación de vapor de refrigerante de un sistema.

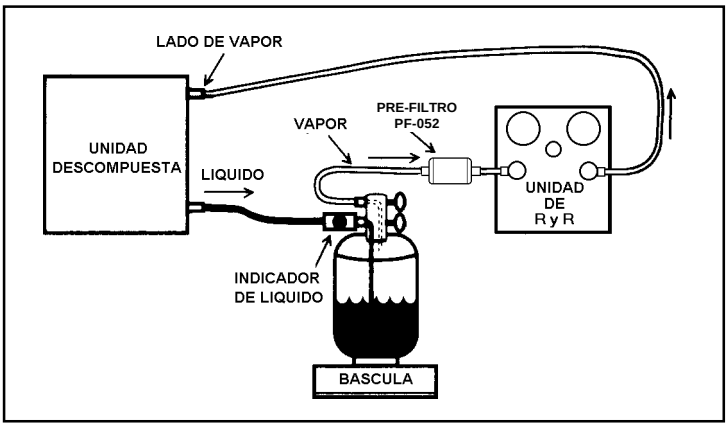


Figura 9.6 - Recuperación de refrigerante de un sistema utilizando un método de transferencia de líquido.

La recuperación es similar a la evacuación de un sistema con una bomba de vacío. Los procedimientos varían con cada fabricante. Básicamente, la manguera se conecta a un puerto de acceso en el lado de baja, hacia la válvula de succión de la unidad recuperadora. Una vez que la manguera de salida está conectada, el dispositivo de recuperación se arranca y comienza la recuperación. Algunas unidades tienen una señal para indicar cuando el proceso de recuperación ha terminado. Esto significa que el equipo de recuperación no está procesando más vapor. En algunas ocasiones, el dispositivo de recuperación cierra automáticamente el sistema de vacío.

Cuando se ha completado la recuperación, se cierra la válvula del lado de baja. El sistema deberá asentarse por lo menos 5 minutos. Si la presión se eleva a 10 psig o más, puede significar que quedaron bolsas de refrigerante líquido frío a través del sistema, y puede ser necesario reiniciar el proceso de recuperación.

Puesto que es mucho más rápido recuperar el refrigerante en fase líquida, que en fase vapor, el técnico puede preferir una máquina que remueva el refrigerante líquido. Muchas máquinas son diseñadas para llevar a cabo este proceso usando cilindros para refrigerante normales. Algunas unidades de transferencia pequeñas, utilizan cilindros de

recuperación especiales, que permiten al técnico remover refrigerante líquido y vapor.

En la figura 9.6, se muestra un procedimiento para remover refrigerante mediante el concepto de transferencia de líquido. Este tipo de unidad de recuperación, requiere un cilindro con válvula de dos puertos.

La unidad de transferencia bombea el vapor de refrigerante de la parte superior del cilindro, y presuriza la unidad de refrigeración. La diferencia de presión entre el cilindro y la unidad, transfiere el refrigerante líquido hacia el cilindro. Una vez que se ha removido el líquido, el vapor restante es removido al cambiar las conexiones.

Se recomienda cambiar el aceite del compresor de la unidad de recuperación, después de la recuperación de un sistema quemado, o antes de la recuperación de un refrigerante diferente. También se recomienda que el filtro deshidratador se reemplace, y que las mangueras se purguen, antes de transferir un refrigerante diferente.

El técnico deberá asegurarse que no se sobrellene el cilindro. Lo normal es llenarlo al 80% de su capacidad. Conforme se va llenando el cilindro, deberá observarse la presión. Si la unidad de recuperación cuenta con indicador de líquido y humedad, deberá notarse cualquier cambio que ocurra.

Si el técnico utiliza un sistema que sólo recupera el refrigerante, la recarga puede llevarse a cabo de muchas maneras.

Equipo para Reciclar Refrigerante

En el pasado, para hacerle servicio a un sistema, lo típico era descargar el refrigerante a la atmósfera. Ahora, el refrigerante puede ser recuperado y reciclado mediante el uso de tecnología moderna. Sin embargo, los clorofluorocarbonos viejos o dañados, no pueden ser reutilizados simplemente por el hecho de removerlos de un sistema y comprimirlos. El vapor, para ser reutilizado, debe estar limpio. Las máquinas de recuperación /reciclado, como la que aparece en la figura 9.7, están diseñadas para recuperar y limpiar el refrigerante en el sitio de trabajo o en el taller de servicio. El reciclado como se realiza por la mayoría de las máquinas en el mercado actualmente, reduce los contaminantes a través de la separación del aceite y la filtración. Esto limpia el refrigerante, pero no necesariamente a las especificaciones de pureza originales del fabricante. El equipo que se muestra en la figura 9.7, es un sistema capaz de manejar los refrigerantes R-12, R-22, R-500 y R-502.

Muchas de estas unidades, conocidas como unidades de transferencias de refrigerante, están diseñadas para evacuar el sistema. Esto proporciona una máquina recicladora, capaz de regresar los refrigerantes reciclados a un mismo sistema. Algunas unidades tienen equipo para separar el aceite y el ácido, y para medir la cantidad de aceite en el vapor. El refrigerante usado puede reciclarse mediante la máquina recicladora, utilizando filtros deshidratadores recargables de piedras, y otros dispositivos que reduzcan la humedad, partículas, acidez, etc. La separación de aceite del refrigerante usado, se lleva a cabo circulándolo una o varias veces a través de la unidad. La máquina recicladora de un solo paso, procesa el refrigerante a través de un filtro deshidratador o mediante el proceso de destilación. Lo pasa sólo una vez por el proceso de reciclado a través de la máquina, para luego transferirlo al cilindro de almacenamiento. La máquina de pasos múltiples, recircula varias veces el refrigerante a través del filtro deshidratador. Después de un período de tiempo determinado, o un cierto número de ciclos, el refrigerante es transferido hacia el cilindro de almacenamiento.

La unidad que se muestra en la figura 9.7, es una unidad portátil, pesa aproximadamente 39 kilos, y tiene una capacidad de almacenamiento interna de 3.6 kg. Su capacidad de almacenamiento externo es ilimitada. Opera como una unidad de recuperación / reciclado, y cuenta con un compresor de 1/2 caballo. Su capacidad de recuperación es de aproximadamente 900 g/min. de cualquiera de los refrigerantes.

Figura 9.7 - Equipo para recuperación y reciclado de refrigerantes 12, 22, 500 y 502.

En la parte del frente, tiene los manómetros de alta y baja presión, así como los puertos de acceso, válvulas, interruptores, selectores, luces indicadoras y el indicador de líquido y humedad. En la parte baja tienen los filtros deshidratadores.

En algunos equipos se puede recuperar refrigerante por ambos lados, baja y alta, al mismo tiempo. Este procedimiento evita restricciones a través de la válvula de expansión o tubo capilar. Si el técnico recupera solamente por uno de los lados, el resultado puede ser un tiempo excesivo de recuperación o una recuperación incompleta. Por lo tanto, las mangueras se conectan a los lados de alta y baja del sistema de recuperación, y luego a través del lado de alta y baja del sistema de refrigeración. Por ningún motivo deberá removerse líquido del sistema en forma contínua. La unidad está diseñada para recuperar vapor. La recuperación inicial de refrigerante del lado de alta presión, será de aproximadamente 200 psig.

Al operar la unidad y llevar a cabo la recuperación de vapor, se alcanzará un punto cuando se haya completado la recuperación, lo cual será indicado al encenderse una lámpara.

Procedimiento para el Reproceso del Refrigerante

Como se definió anteriormente, reprocesar un refrigerante, es llevarlo a las especificaciones originales de producción, verificándolo mediante análisis químicos. Para poder llevar esto a cabo, ésta máquina debe cumplir con las normas SAE y remover 100% la humedad y partículas de aceite. Muchas máquinas de recuperación / reciclado, no pueden garantizar que el refrigerante será restaurado a sus especificaciones originales.

Una estación de reciclado para el sitio de trabajo, deberá ser capaz de remover el aceite, ácido, humedad, contaminantes sólidos y aire, para poder limpiar el refrigerante utilizado.

Este tipo de unidades las hay disponibles para usarse con refrigerantes R-12, R-22, R-500 y R-502, y están diseñadas para el uso continuo que requiere un procedimiento prolongado de recuperación / reciclado.

Este tipo de sistema puede describirse mejor como sigue:

1. El refrigerante es aceptado en el sistema, ya sea como vapor o líquido.
2. El refrigerante hierve violentamente a una temperatura alta, y bajo una presión *extremadamente alta*.
3. El refrigerante entra entonces a una cámara separadora grande única, donde la velocidad es reducida radicalmente. Esto permite que el vapor a alta temperatura suba. Durante esta fase, los contaminantes tales como las partículas de cobre, carbón, aceite, ácido y todos los demás, caen al fondo del separador para ser removidos durante la operación de "salida del aceite".
4. El vapor destilado pasa al condensador enfriado por aire, donde es convertido a líquido.
5. El líquido pasa hacia la cámara de almacenamiento. Dentro de la cámara, un ensamble de evaporador disminuye la temperatura del líquido, de aproximadamente 38°C, a una temperatura subenfriada de entre 3° y 4°C.
6. En este circuito, un filtro deshidratador recargable remueve la humedad, al mismo tiempo que continúa el proceso de limpieza para remover los contaminantes microscópicos.
7. Enfriar el refrigerante también facilita transferirlo a cualquier cilindro externo, aunque esté a la temperatura ambiente.

Muchos fabricantes de refrigerante y otros, han dispuesto servicios de recuperación / reproceso de refrigerante, que ofrece a los técnicos de recuperación y aire acondicionado, una forma de deshacerse del refrigerante usado y obtener reemplazos puros como los necesiten. El técnico de servicio debe usar cilindros retornables aprobados, con etiquetas adecuadas. Los cilindros normales son de una capacidad aproximada de 45 kg. de refrigerante usado y aceite, aunque otros contenedores andarán en el rango de 18 kg hasta 1 tonelada.

La máquina de aire comprimido de desplazamiento positivo, remueve tanto líquido como vapor. El refrigerante es reprocesado a las especificaciones de pureza designadas.

En instalaciones comerciales de gran tamaño, al técnico de servicio se le proporcionan cilindros muestra que son regresados a un centro de reproceso. Esto es a fin de obtener análisis de contaminantes de refrigerante, antes de su evacuación.

Una vez aprobado para reprocesarlo, el refrigerante es removido. Los técnicos llevan entonces el refrigerante al centro de servicio, donde es embarcado a la compañía y procesado de conformidad, para regresarlo para venta futura como refrigerante usado. El reproceso puede utilizarse para refrigerantes de baja (R-11 y R-113) y de alta presión (R-12, R-22, R-114, R-500 Y R-502).

Las normas de cada compañía varían con respecto al tipo de recipiente usado, para transportar el refrigerante del área de servicio al fabricante. Algunos aceptan cantidades mínimas de 200 lts, 38 lts, etc. Cada fabricante tiene su propio procedimiento, mismo que debe seguirse, y cada compañía requiere de cierto número de documentos.

Las compañías de reproceso también proporcionan soluciones para el desecho de refrigerantes no deseados.

El desecho de refrigerantes sólo se puede llevar a cabo por incineración a 650°C. Actualmente existen aproximadamente 5 plantas en los Estados Unidos, que pueden realizar esto.

Normas de Seguridad para la Recuperación / Reciclado / Reproceso de los CFC's

Comúnmente, diferentes organizaciones ofrecen talleres para lograr un mejor entendimiento de los requerimientos sobre la recuperación y reproceso de los CFC's, tal como lo establecen los reglamentos de la EPA. Los mayores tópicos que se abarcan son el manejo, almacenamiento, transportación, procedimientos y equipos de recuperación, reglamentaciones para el almacenamiento y manejo de desechos peligrosos. También, es esencial que el técnico de servicio tenga un completo entendimiento, sobre la seguridad que involucra el manejo y almacenamiento de los refrigerantes. También se ofrecen programas de certificación aprobados por la EPA. Otras áreas que cubren la mayoría de estos cursos de capacitación, son los procedimientos para la remoción, pruebas básicas en el campo sobre la pureza de refrigerantes, aislamiento de los componentes del sistema para evitar que se escape el refrigerante, detección, aislamiento y reparación de fugas.

Es responsabilidad del técnico seguir los procedimientos de las prácticas de seguridad. Esto incluye el reemplazo de los filtros deshidratadores de líquido y succión. Si el

sistema sólo tiene uno, instale otro en el lado opuesto. Esto ayudará al proceso de purificación del refrigerante.

Los refrigerantes reciclados siguen una norma establecida por ARI (Air Conditioning and Refrigeration Institute), la norma ARI - 700.

Aire Acondicionado Automotriz

La sección 609 de la Ley para un Aire Puro de los Estados Unidos, establece los requerimientos con respecto a los acondicionadores de aire automotriz. Esta ley estableció que a partir del 1 de enero de 1992, ninguna persona que repare o dé servicio a vehículos automotores, podrá dar servicio a equipos de aire acondicionado automotriz, sin el uso adecuado de equipo aprobado para el reciclado de gas refrigerante.

Asimismo, ninguna persona podrá realizar tal servicio, a menos que haya sido adecuadamente entrenado y certificado para hacerlo. Para establecimientos que demuestren que realizaron tales servicios en menos de 100 vehículos en 1990, dicho requerimiento se hizo efectivo hasta el 1 de enero de 1993.

Precauciones al Utilizar Equipo de Recuperación y Reciclado

Todas las máquinas de recuperación vienen con un instructivo o manual de operación, donde aparecen las instrucciones sobre cómo operarlas. Sin embargo, aportan muy poco acerca de cómo aplicarlas e integrarlas.

Aplicar una máquina para recuperación y reproceso (R y R) es proceder de manera justa. Sin embargo, la otra opción, recuperar y recargar, debe considerarse muy cuidadosamente.

El primer punto que debe reconocerse es que los objetivos son:

1. Remover el refrigerante en el tiempo más corto posible.
2. Usar prácticas de servicio para proteger el sistema de contaminación potencial.

La contaminación potencial es con mucho, la parte de la operación más crítica y la más descuidada. La gran amenaza es el riesgo potencial de contaminar el refrigerante de una unidad a otra.

A menos que se apliquen adecuadamente, el mal uso de los equipos para R y R, puede volverse para la industria de la refrigeración, lo que las agujas hipodérmicas sucias serían a la profesión médica.

La contaminación cruzada puede ocurrir cada que se hace la recuperación en un sistema, utilizando otro sistema refrigerante y recargándolo con el mismo gas. Sin embargo, utilizando un poco de precaución, el problema puede evitarse.

Los Filtros Ayudan

La práctica de instalar filtros en cada sistema que se abra, ayudará a evitar algo de contaminación. Pero la mejor defensa es reconocer cómo se puede propagar la contaminación, y cómo detenerla antes que suceda.

En las máquinas de R y R pueden ocurrir dos tipos de contaminación cruzada .

1. La mezcla de refrigerantes, lo cual puede ocurrir cuando un equipo de recuperación se usa con dos diferentes refrigerantes, sin una limpieza o preparación adecuada.
2. La introducción de ácidos u otros contaminantes al sistema. Esto puede originarse de un sistema diferente, de la misma máquina de R y R, o de sus tanques que actúan como campos de cultivo.

En ambos casos, el culpable principal en la contaminación cruzada es el aceite para refrigeración; ya sea el utilizado en la máquina de R y R, o el que deja en el tanque el refrigerante recuperado.

El problema y la solución yacen en la afinidad del aceite hacia los refrigerantes. A temperaturas normales, la única manera de separar el aceite es evaporando el refrigerante, y dejar el aceite y todo lo que pueda estar acarreando. También, el refrigerante es un solvente perfecto que acarrea el aceite de un lugar a otro.

Mezcla de Gases Diferentes

En el primer tipo de contaminación, la mezcla de refrigerantes, la manera más fácil de evitar esto es utilizando máquinas designadas (una para cada refrigerante).

Desafortunadamente, esto no siempre es posible. Si se va a utilizar la misma máquina sobre diferentes gases, se debe asegurar de que haya sido cuidadosamente limpiada, antes de usarla con un nuevo gas.

La mejor manera es cambiar el aceite (y filtros) antes de seguir adelante con otro gas.

Algunos fabricantes dicen que solamente se requiere hacer vacío antes de recuperar un gas diferente. Pero, si se hace esto, se recomienda que el vacío sea profundo y prolongado; ya que un vacío rápido, no necesariamente remueve todo el refrigerante disuelto en el aceite.

El otro tipo de contaminación cruzada, la introducción de contaminantes, es por mucho la peor de las dos, puesto que los ácidos pueden "crecer" dentro del sistema. La fuente de contaminantes más obvia, es la misma máquina de R y R. El lugar donde con más frecuencia puede ocurrir la contaminación, es en los tanques de recuperación, los cuales almacenan el gas mientras se hace la reparación.

Sobreviviendo a las Reprocesadoras

Algunas de las máquinas reprocesadoras son bastante buenas, no hay razón para dudar de su funcionamiento. Sin embargo, no todas han sobrevivido a sus reprocesos. Su potencial para acarrear o generar contaminantes surge de cuatro situaciones diferentes:

1. Debido a las altas relaciones de compresión y a las temperaturas generadas por los refrigerantes de alta presión, como el HCFC-22. Los separadores de aceite

de retorno sobre los cuales dependen algunas máquinas, pueden fallar, y dejar pasar vapor de aceite caliente hacia el tanque. .
Para revisar su máquina, simplemente purgue algo de los no condensables del tanque inmediatamente después de la recuperación, poniendo al mismo tiempo un trapo frente a la válvula de purga. Si el separador de aceite ha trabajado bien, no quedará señal de aceite. En este caso, deberá inspeccionarse rutinariamente el nivel de aceite en el compresor, para asegurarse que no esté bajo. El nivel bajo de aceite acorta la vida útil de la unidad, y puede causar calor excesivo.

2. Puesto que una máquina de R y R, es por naturaleza un sistema de refrigeración, tiene el potencial de generar sus propios ácidos. Debido al desgaste que se genera en el compresor de la máquina de R y R, pueden romperse los devanados y también formarse ácido dentro del mismo compresor.
La mayor parte del destilado o de la separación de aceite ocurren antes de llegar a este punto; así que, cualquier contaminante generado por el dispositivo puede pasar al tanque, y entonces recargarse a la unidad. Esto puede controlarse mediante una bitácora de mantenimiento estricta, donde el aceite sea cambiado consistentemente.

3. Las máquinas de recuperación también pueden producir contaminantes cruzados, a partir de los vacíos que habitualmente propone la EPA (Agencia de Protección Ambiental).
Debido a las muchas uniones mecánicas y vibraciones a las que están expuestas las máquinas de R y R, existe la posibilidad de fugas. Esto succionará humedad y aire, afectando directamente la pureza del aceite dentro del compresor de la máquina, dando como resultado una potencial contaminación en el tanque. El lado de baja de la máquina, nunca deberá trabajarse en vacío. Siempre deberá desviarse una carga positiva de refrigerante del lado de alta hacia el lado de baja, para evitar que entre aire al sistema de recuperación. Durante el mantenimiento, la máquina deberá probarse contra fugas.

4. La máquina de R y R tiene el más alto potencial para la contaminación cruzada, a menos que se le dé mantenimiento regularmente. Los filtros completamente cargados, se derramarán al cambiar las temperaturas alrededor de los mismos.
Cuando se trate de filtros, vaya a la segura. Debe evaluar un cambio de filtro y de aceite con cada servicio. Aunque no se requiera, por lo menos lo protege.

Problemas de Vibración

Otro problema es que, debido a que algunas de estas máquinas son extremadamente ligeras, las vibraciones que generan cuando están trabajando, pueden ocasionar fugas excesivas, puesto que no hay suficiente masa para abatir esa vibración.

Tales fugas, pueden provocar que cantidades excesivas de no condensables, sean atraídas con los contaminantes.

La contaminación también puede extenderse a otros sistemas a partir de los tanques de recuperación. Los peores casos ocurrirán durante la recarga, desde tanques llenados por máquinas que sólo recuperan, ajustadas para desplazar primero líquido directamente hacia el tanque.

Es importante darse cuenta que este líquido contiene aceite, directamente del sistema al que se le está dando servicio; aceite que contiene una muestra de los contaminantes que pueda haber en el sistema.

El uso de pre-filtros ayudará de alguna manera. Pero es necesario darse cuenta que con filtros de pasos múltiples, una sola pasada no removerá todos los contaminantes, y conforme se vaya saturando el filtro, se volverá menos eficiente.

El peor escenario es, cuando el técnico que recupera de un sistema, hace la reparación necesaria, hace vacío al sistema, y entonces, después de dejar que la mitad de la carga sea transferida al sistema, utilizando el mismo vacío, arranca la unidad y recarga por el lado de baja usando vapor.

¿Es ésta la manera correcta de hacerlo? No.

Era la manera correcta cuando se usaba refrigerante nuevo para recargar el sistema. Esto no se aplica al refrigerante recuperado que contiene aceite.

El problema es que cuando se carga vapor de un tanque de recuperación, en el tanque se queda el aceite y todo lo que éste contiene. La primera vez que se usa un tanque, no habrá problema, pero la segunda vez, sí lo habrá.

El refrigerante líquido que entre al tanque del siguiente sistema a que se le vaya a dar servicio, se mezclará ahora completamente con el aceite y con todo lo que éste contiene, más lo que haya quedado en el tanque de la primera recuperación.

Ahora, cuando se cargue el líquido recuperado hacia el sistema reparado, parte de esta mezcla de aceite es arrastrada con el líquido hacia el sistema.

Cuando se vaya a cargar en vapor desde el tanque, la parte restante de ésta nueva mezcla, se quedará en espera de la siguiente carga de refrigerante que sea recuperado. Es difícil encontrar un mejor ejemplo de contaminación cruzada.

Reemplazando el Aceite

La solución es utilizar el mismo refrigerante para reemplazar todo el aceite que se haya removido de un sistema. Recargando totalmente con líquido, se puede evitar este problema del tanque contaminado, usando el mismo refrigerante como un solvente para limpiar el tanque.

Sin embargo, antes de hacerlo, veamos las mejores opciones para hacer esto.

La manera más segura para cargar con líquido, es con el compresor apagado. Se vuelve entonces importante apren-

der cómo sacar el mayor provecho del vacío hacia donde se está cargando.

Primero, verifique que el ventilador del evaporador esté apagado, especialmente en una unidad separada (split). Si se recarga con el ventilador encendido, todo lo que se hace es forzar calor adicional hacia el sistema, provocando que se evapore más líquido y se llene el sistema con gas, antes de que pueda entrar todo el líquido.

Hay que recordar que si está cargando líquido de su tanque con una manguera solamente, no es bueno dividir en dos mangueras su manifold. En realidad, se pierde algo de habilidad para cargar líquido, puesto que el cambio en volumen de una a dos mangueras, causa que cierta cantidad se evapore, desplazando el volumen del líquido que pudo haber tomado el sistema.

Para mejores resultados, siempre cargue líquido con una sola manguera hacia el condensador.

Ahora viene la parte difícil, cómo cargar líquido hacia un sistema en operación.

La mejor manera es a través del evaporador. Si se toma el tiempo para instalar una válvula de acceso adelante de la válvula del condensador o recibidor, mientras el sistema está abierto y se está reparando, el cargar líquido se vuelve extremadamente rápido y fácil.

Para cargar el líquido restante del tanque, empiece simplemente por cerrar la válvula, y deje que el diferencial de presión succione el líquido y aceite restantes del tanque. El líquido se evaporará completamente al pasar a través del evaporador.

La siguiente opción para cargar líquido a un sistema en operación, es midiéndolo. La manera más segura es comprar un dispositivo de carga de líquido a vapor.

Si cree que puede medirlo usted mismo cerrando ligeramente la válvula, se recomienda que por lo menos se ponga una mirilla en la línea, para verificar que no se está introduciendo líquido hacia el compresor.

Un beneficio adicional al cargar en forma líquida, es que permite purgar completamente los gases no condensables del tanque de recuperación, con menos de un 1% de pérdida.

Para hacer esto, simplemente se instala una mirilla en la línea del tanque, y se purga solamente después de que se ha ido el líquido. Realmente, la mejor manera de purgar los no condensables, es cuando no hay líquido presente.

Purgar el aire que pudiera haber pasado hacia el tanque de recuperación mientras hay líquido presente, es un esfuerzo en vano. La idea de que todo el aire está en la parte superior, es verdad solamente mientras el gas dentro del tanque está estancado. En el momento que se libera la presión al empezar a purgar el tanque, se crea una turbulencia que mezcla el vapor del refrigerante con el aire.

Adicional a este efecto, es el hecho de que la superficie del refrigerante comienza a vaporizar , debido a la baja de presión. El mito común de que solamente se necesita purgar la parte superior del tanque, mientras se sostiene un detector de fugas frente a él, es ridículo.

Aún la costumbre de comparar temperatura contra presión, es riesgoso, puesto que está basado en la suposición de que el tanque del refrigerante puede tomar calor adecuadamente, en una proporción lo suficientemente rápida para mantener las lecturas exactas.

Con el nivel de vacíos propuesto por la EPA, la manera más segura para evitar que los no condensables se vuelvan a recargar, es manteniéndolos en el cilindro de recuperación, donde pueden ser tratados después que el líquido se haya ido.

Esto reduce grandemente la pérdida de refrigerante al purgar, puesto que no hay líquido que hierva que cause que se mezcle refrigerante extra con los no condensables al ser purgados.

La manera final de evitar la contaminación cruzada a través de los tanques, es tener un buen método de mantener los tanques organizados y limpios.

Cada vez que se remueva refrigerante de un sitio de trabajo, los refrigerantes deben ser consolidados en cilindros retornables con doble válvula, Esto permite recuperar y recargar, puesto que siempre se tiene la seguridad que el tanque en su camioneta está vacío.

La mejor manera para consolidar o vaciar un tanque de recuperación, es por gravedad. Esto permite vaciar el líquido del tanque, y al mismo tiempo, retener una carga de vapor dentro del mismo tanque. Para hacer esto, se debe construir un colgador que permita suspender el tanque de recuperación en forma invertida, por arriba del nivel del cilindro de reproceso.

Enseguida, conecte una manguera sin restricciones en el acceso del tanque de reproceso, marcado "líquido", y el otro extremo de la manguera al acceso del tanque de recuperación invertido, marcado "vapor".

Entonces se conecta una segunda manguera sin restricciones, entre el acceso del tanque de reproceso marcado "vapor", y el acceso del tanque de recuperación invertido, marcado "líquido". Se purgan las mangueras y se abren todas las válvulas. El líquido drenará hacia el cilindro de reproceso en una proporción de aproximadamente medio kilo por minuto, sacando todo el aceite y contaminantes del cilindro de recuperación. El líquido que sale del cilindro de recuperación invertido, es reemplazado por el vapor que viene de la parte superior del cilindro de reproceso.

La habilidad al recuperar refrigerante y luego recargarlo en la misma unidad, es una pieza importante en el problema de los CFC's.

Sin embargo, reconocer el potencial de los problemas, y establecer luego los procedimientos adecuados para evitarlos, es un buen primer paso en el tratamiento de estos.

Capítulo 10

ACEITES PARA REFRIGERACION

Introducción

El compresor en un sistema de refrigeración mecánico, debe ser lubricado para reducir la fricción y evitar el desgaste. El tipo especial de lubricante utilizado en los sistemas de refrigeración, se llama aceite para refrigeración. Este aceite debe cumplir ciertos requerimientos especiales, que le permiten realizar su función lubricante, sin importar los efectos del refrigerante y las amplias variaciones de temperatura y presión.

La comprensión de los aceites para refrigeración y su relación con los refrigerantes, le ayudará a mantener y dar servicio de manera efectiva, a equipos de refrigeración y aire acondicionado.

En este capítulo, se estudiarán las clasificaciones generales de los aceites, incluyendo las principales diferencias entre uno y otro. También se estudiarán las cualidades de los aceites lubricantes, que son importantes para refrigeración.

Los aceites lubricantes de compresores para refrigeración, son productos especializados, y como tales, requieren consideración por separado de otros lubricantes. Antes de hacer esta consideración, hablaremos brevemente de los aceites en general.

Clasificación General

En cuanto a su procedencia, los aceites se clasifican en tres principales grupos: animales, vegetales y minerales.

Los aceites de origen animal y vegetal se conocen también como aceites fijos; esto, porque no pueden ser refinados por destilación, como los aceites minerales, debido a que se descomponen. Son inestables, tienden a formar ácidos y gomas, y además, se congelan fácilmente; por lo tanto, no son adecuados para refrigeración.

Por lo anterior, los aceites lubricantes para refrigeración, se obtienen a partir de los aceites de origen mineral.

Aceites Minerales

Los aceites minerales son derivados del petróleo y se pueden clasificar en tres tipos, de acuerdo al crudo de que se obtienen.

Con base parafínica.
Con base nafténica.
Con base aromática.

La experiencia ha demostrado que los aceites de base nafténica, son los más adecuados para refrigeración, por las siguientes razones.

a) Fluyen mejor a bajas temperaturas.
b) Conservan mejor su viscosidad que los aromáticos.
c) Hay menos depósitos de cera a bajas temperaturas, ya que contienen menos parafina, que los de base parafínica.
d) Los depósitos de carbón formados por estos aceites son ligeros, y se eliminan fácilmente.
e) Son más estables térmica y químicamente, que los aromáticos.
f) Tienen excelente capacidad dieléctrica.

Los aceites parafínicos en la actualidad, no se utilizan en refrigeración. Los aceites nafténicos son sometidos a un proceso de ultra-desparafinado, y en la actualidad , son los más adecuados para refrigeración. Los aromáticos, derivados del dodecil-benceno, tienden a disminuir su uso.

Aceites Sintéticos

Aunque los aceites sintéticos para refrigeración, existen desde hace más de 25 años, en nuestro país han tenido un uso muy limitado. Los aceites sintéticos tienen características muy superiores a los minerales.

A diferencia de los aceites minerales, los cuales son productos destilados directamente del petróleo crudo, los aceites sintéticos se obtienen a partir de reacciones químicas específicas. Por esta razón, su calidad no depende de la calidad de ningún petróleo crudo, y su composición es consistente todo el tiempo, ya que los componentes son siempre iguales.

De lo anterior, se desprende que los aceites sintéticos, son lubricantes que se podría decir que están "hechos a la medida", ya que estos materiales pueden ser modificados de acuerdo a las necesidades de una aplicación particular. En el caso de los aceites sintéticos para refrigeración, estos materiales se fabrican enfatizando las propiedades de miscibilidad con los refrigerantes, resistencia a bajas y

a altas temperaturas, excelente poder lubricante, 100% libres de cera.

Existen varios tipos de aceites sintéticos, pero los que mejor resultado dan en refrigeración son los de polialquilenglicol (PAG) y los de poliol éster (POE).

En la actualidad, con la desaparición de algunos refrigerantes clorofluorocarbonados (CFC's), y la aparición de sus sustitutos, es necesario el uso de aceites sintéticos, ya que algunos de estos nuevos refrigerantes como el R-134a, no son miscibles con los aceites minerales nafténicos ni aromáticos. El R-134a inclusive, ha mostrado poca solubilidad con los aceites sintéticos de alquilbenceno; en cambio, ha mostrado buena solubilidad con los lubricantes de éster, de los cuales hay varios tipos.

Por otra parte, los lubricantes sintéticos de PAG, no son compatibles con los clorofluorocarbonos (CFC's), como el R-12. Específicamente, el cloro contenido en estos refrigerantes, puede reaccionar con el aceite sintético y causarle una degradación.

Propósito del Aceite para Refrigeración

El aceite para refrigeración es necesario para una operación adecuada del compresor, en un sistema de refrigeración mecánica. Además de lubricar las partes móviles del compresor, el aceite realiza las siguientes funciones: a) remueve el calor de los cojinetes y lo transfiere al exterior, b) ayuda a formar un sello más positivo, cuando están cerradas las válvulas de succión y descarga, y c) amortigua el ruido generado por las partes móviles dentro del compresor. En los compresores abiertos, el aceite también evita que el sello de la flecha se seque y se deteriore. En compresores rotativos y de tornillo, el aceite forma un sello entre el rotor y las paredes internas de la cámara de compresión, para retener el vapor de refrigerante mientras está siendo comprimido.

El aceite para refrigeración es un mal necesario, se necesita para la operación adecuada del compresor, pero inevitablemente, se va con el refrigerante y puede causar varios problemas en el sistema, como se describe en el capítulo 4. Debido a que se mezcla y viaja con el refrigerante, el aceite debe cumplir con algunos requerimientos especiales para realizar sus funciones en el compresor, sin crear problemas que no puedan resolverse en otras partes del sistema. Para un mantenimiento efectivo, se requiere una total comprensión de dichos requerimientos especiales.

Requerimientos del Aceite para Refrigeración

El conocimiento de las características de los aceites para refrigeración, incumbe principalmente a los fabricantes de equipo. Sin embargo, es importante para los técnicos y mecánicos en refrigeración, comprender los principios básicos de selección de aceites, para que puedan resolver los problemas que pudieran resultar, por no usar los aceites adecuados en las instalaciones de refrigeración.

Un buen aceite para refrigeración debe reunir las cualidades que a continuación se enlistan.

1. Mantener su viscosidad a altas temperaturas.
2. Mantener buena fluidez a bajas temperaturas.
3. Ser miscible con los refrigerantes a las temperaturas de trabajo.
4. Tener buena (alta) capacidad dieléctrica.
5. No tener materia en suspensión.
6. No debe contener ácidos corrosivos o compuestos de azufre.
7. No formar depósitos de cera (flóculos) a las bajas temperaturas del sistema.
8. No dejar depósitos de carbón al entrar en contacto con superficies calientes dentro del sistema.
9. No contener humedad.
10. No formar espuma.
11. Ser química y térmicamente estable en presencia de refrigerantes, metales, aislamientos, empaques, oxígeno, humedad y otros contaminantes.

Tal aceite para refrigeración sería perfecto para todos los sistemas, pero no existe. Por lo tanto, se seleccionará el aceite que más se acerque a estas propiedades y que cubra las necesidades específicas del sistema.

Propiedades de los Aceites Lubricantes

La lubricación es la separación de partes en movimiento por una película de aceite, mientras más cercanas están estas partes unas de otras, más importante se vuelve la lubricación.

El aceite circula a través del sistema con el refrigerante. Los aceites para refrigeración deben tener ciertas propiedades, porque se mezclan con los refrigerantes. El aceite entra en contacto directo con los devanados calientes del motor, en unidades herméticas y semiherméticas; por lo que debe ser capaz de soportar temperaturas extremas, y no ser dañino al refrigerante y al equipo. Además, debe mantener viscosidad suficiente, para permitir una lubricación adecuada. Asimismo, el aceite se enfría a la más baja temperatura del sistema, y debe permanecer fluido en todas las partes.

La fluidez de la mezcla aceite - refrigerante, es determinada por el refrigerante utilizado, las temperaturas, las propiedades del aceite y su miscibilidad con el refrigerante.

Todos los compresores requieren lubricación. Los fabricantes de compresores, generalmente recomiendan el tipo de lubricante y la viscosidad que debe usarse, para asegurar una operación adecuada y la durabilidad del equipo. Esta recomendación se basa en varios criterios, tales como la lubricidad, compatibilidad con los materiales de construcción, estabilidad térmica y miscibilidad con el refrigerante. Para asegurar una operación eficiente, es importante seguir las recomendaciones del fabricante.

Al respecto, muchos técnicos dicen: "Todos los aceites lubrican, así que, ¿cuál es la diferencia entre uno y otro?

Hay una gran diferencia. Como se mencionó anteriormente, los aceites para refrigeración son fluidos sumamente especializados, para cumplir con un trabajo adecuado en la lubricación de los compresores para refrigeración. Estos aceites, por lo tanto, tienen características muy especiales llamadas propiedades, las cuales se describen por número para dar un valor exacto.

A continuación, se examinarán cada una de esas propiedades y se verá: a) que es, b) ¿por qué es importante? y c) cuales son sus valores. El orden no necesariamente significa su importancia.

Viscosidad

Es la resistencia a fluir que tienen los líquidos. La viscosidad nos indica qué tanto puede fluir un aceite a una temperatura dada. Los aceites se vuelven menos viscosos al aumentar la temperatura, y más viscosos a bajas temperaturas. Esto es muy importante, ya que en el evaporador, se tienen las temperaturas más bajas del sistema; y si un aceite es demasiado viscoso, se espesará y no fluirá a través del evaporador, acumulándose dentro de éste y disminuyendo la transferencia de calor.

El propósito del aceite, como ya se mencionó, es lubricar las partes móviles del compresor. Si el aceite es demasiado ligero (baja viscosidad), no permanecerá entre las superficies de estas partes, sino que se saldrá, dejándolas sin película protectora. Si el aceite es demasiado viscoso, causará una excesiva resistencia, pérdida de fuerza y puede no ser capaz de fluir entre las partes móviles.

La viscosidad de los aceites para refrigeración, también se ve afectada por su miscibilidad con los refrigerantes (ver capítulo 4). Esta miscibilidad del aceite con los refrigerantes, varía desde no ser miscibles, como con el amoníaco, hasta ser completamente miscibles, como en el caso del R-12.

Hay varias maneras y unidades para expresar la viscosidad de los fluidos, según el método que se utilice para determinarla:

Viscosidad absoluta _____ Poises.
Viscosidad cinemática _____ centiStokes (cSt).
Viscosidad Saybolt _____ Segundos Saybolt Universales (SUS).

En la actualidad, la Organización Internacional de Estandarización ISO (International Standardization Organization), ha determinado que la viscosidad de los aceites industriales, se exprese en centiStokes a una temperatura de 40°C. Sin embargo, algunos fabricantes de aceites aún utilizan las unidades en SUS. En la tabla 10.1 se muestra una comparación de los valores de las viscosidades en centiStokes y en SUS.

ACTUAL		OBSOLETA
VISCOSIDAD ISO EN cSt		VISCOSIDAD EN SUS A 40°C
40°C	100°C	
32	5.6	150
46	7.5	200
68	9.4	300
100	11.3	500

Tabla 10.1 - Relación de las viscosidades entre centiStokes y SUS.

Figura 10.2 - Aparato utilizado para determinar la viscosidad cinemática.

La importancia de la viscosidad, está en seleccionar un aceite que proporcione lubricación adecuada, bajo las diferentes condiciones de trabajo, considerando inclusive, el efecto de dilusión del refrigerante. Los fabricantes de aceite, pueden satisfacer diferentes viscosidades para cumplir con cualquier especificación. Cuando se tenga duda de cuál viscosidad usar, se deben consultar las recomendaciones del fabricante del equipo. Si no se dispone de ellas, se puede utilizar la tabla 10.3 como una

CONDICION DEL SERVICIO	REFRIG.	VISCOSIDAD	
		cSt	SUS
Temp. del Compresor:			
Normal	Todos	32	150
Alta	Halogenados	68	300
	Amoniaco	68	300
Temp. del Evaporador:			
Hasta -18°C (0°F)	Halogenados	32	150
	Amoniaco	68	300
De -18°C a -40°C (0°F a -40°F)	Halogenados	32	150
	Amoniaco	32	150
Abajo de -40°C (-40°F)	Halogenados	32	150
	Amoniaco	32	150
Aire Acondicionado Automotriz:			
	Halogenados	100	500
Compresores Rotativos:			
	Todos	100	500
Compresores Centrífugos:			

Tabla 10.3 - Viscosidades de aceites recomendadas para diferentes condiciones y refrigerantes.

guía para seleccionar la viscosidad adecuada. Esta tabla sirve para la mayoría de las aplicaciones. Los aceites deben seleccionarse de acuerdo a la temperatura del compresor, la temperatura del evaporador y el tipo de refrigerante utilizado.

Punto de Escurrimiento

Es la temperatura más baja a la cual fluirá un aceite. Por definición, el punto de escurrimiento es 3°C mayor que la temperatura a la cual el aceite cesará totalmente de fluir; es decir, el punto de escurrimiento es 3°C, arriba de la temperatura de congelación del aceite.

El punto de escurrimiento en los aceites para refrigeración, explícitamente, dependen del contenido de cera y de la viscosidad. En el caso de aceites de la misma viscosidad, este valor va en relación del contenido de cera.

Con todos los refrigerantes, algo de aceite se pasa al evaporador. Por poco que sea, este aceite debe retornar al compresor, pero para que esto suceda, debe ser capaz de circular por todo el sistema.

El punto de escurrimiento de un aceite es muy importante, cuando se usa con refrigerantes que no son miscibles o que son parcialmente miscibles; tal es el caso, cuando se usa R-22 o amoníaco, en sistemas con evaporador tipo inundado. Si el punto de escurrimiento del aceite empleado es alto, se formará una capa viscosa de aceite sobre la superficie del evaporador. Esto trae como consecuencia, una seria pérdida de eficiencia, y en algunos casos, problemas de falta de lubricación, porque el aceite no retorna adecuadamente al compresor.

Para determinar los puntos de escurrimiento y de congelación, se utiliza el aparato que se muestra en la figura 10.4. Consiste en un tubo de vidrio de fondo plano, donde se coloca la muestra de aceite, se tapa y se pone un termómetro. Se sumerge el tubo en un baño frío, y cada que su temperatura disminuye 5°F (3°C), se verifica su fluidez. El punto de escurrimiento es 3°C arriba de la temperatura a la cual el aceite ya no fluye.

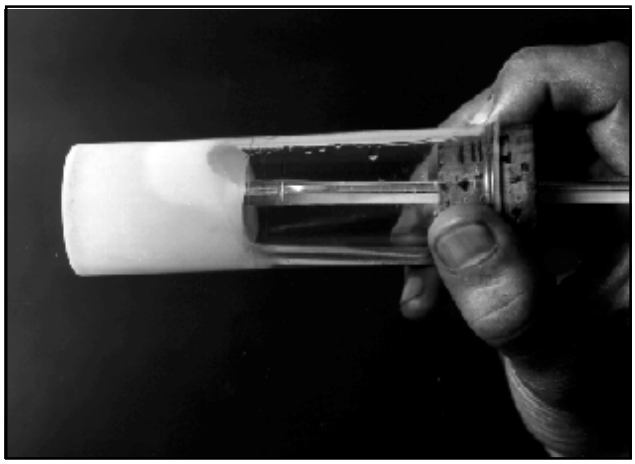


Figura 10.4 - Aparato utilizado para determinar el punto de escurrimiento.

Los valores recomendados de punto de escurrimiento de aceites para refrigeración son:

32 cSt (150 SUS)		68 cSt (300 SUS)	
Minerales	Sintéticos	Minerales	Sintéticos
menos de -35°C	menos de -55°C	menos de -30°C	menos de -35°C

Punto de Floculación

Es la temperatura a la cual un aceite empieza a flocular (formar depósitos de cera). Un buen aceite para refrigeración, no debe flocular al ser expuesto a las más bajas temperaturas, que normalmente se encuentran en los sistemas de refrigeración.

Todos los aceites para refrigeración contienen algo de cera parafínica, algunos más que otros. La solubilidad de esta cera disminuye con la temperatura. Cuando a una mezcla de aceite y refrigerante se le disminuye su temperatura, la solubilidad de la cera en el aceite disminuye, hasta que a cierta temperatura, el aceite no puede mantener disuelta toda la cera, y parte de la misma se separa y se precipita.

La cera libre que se forma al enfriarse un aceite para refrigeración, se depositará en las partes más frías del sistema, tales como el evaporador y el dispositivo de control. En el evaporador causará algo de pérdida de transferencia de calor, pero en la válvula de termo expansión o el tubo capilar, puede causar restricciones o hasta una obstrucción completa.

Los aceites para refrigeración que no sufren separación de cera, cuando se mezclan con refrigerante a bajas temperaturas, se les denomina "libres de cera".

La tendencia de la cera a separarse de un aceite, puede determinarse en el laboratorio por medio de la prueba del punto de floculación, para la cual se utiliza el aparato que aparece en la figura 10.5.

Una mezcla de 10% de aceite y 90% de R-12 (% en volumen) es enfriada en un recipiente transparente, sumergiendo éste en un baño frío. Al bajar la temperatura, la mezcla se enturbia, y si continúa el enfriamiento, se formarán pequeños grumos de cera flotando en la mezcla. La temperatura a la cual comienzan a observarse a simple vista estos pequeños grumos, se toma como el punto de floculación. Esta prueba hace posible predecir, cuales aceites son más propensos a causar más problemas de cera. Debe seleccionarse un aceite con un bajo punto de floculación, para no tener problemas de cera en el sistema y al mismo tiempo, reducir las dificultades de escurrimiento; puesto que un bajo punto de escurrimiento, acompaña a un bajo punto de floculación.

Los aceites para refrigeración deben tener puntos de floculación bajos. Los valores recomendados son:

-51°C o menor para aceites utilizados con HCFC y HFC. Para aceites utilizados con amoníaco, no se exige esta prueba.

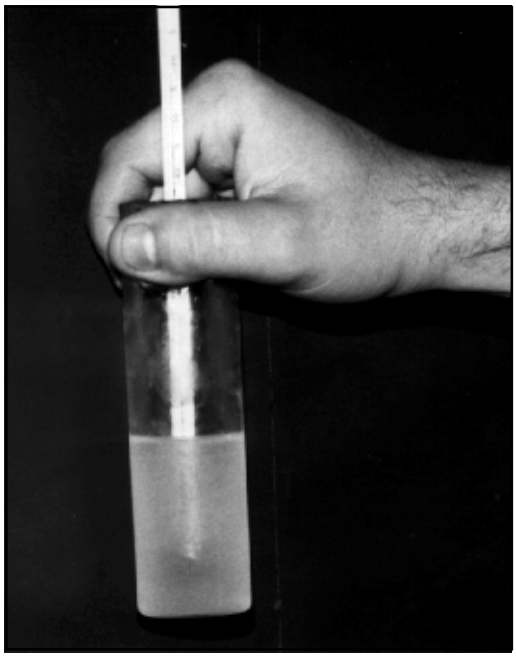


Figura 10.5 - Procedimiento para determinar el punto de floculación.

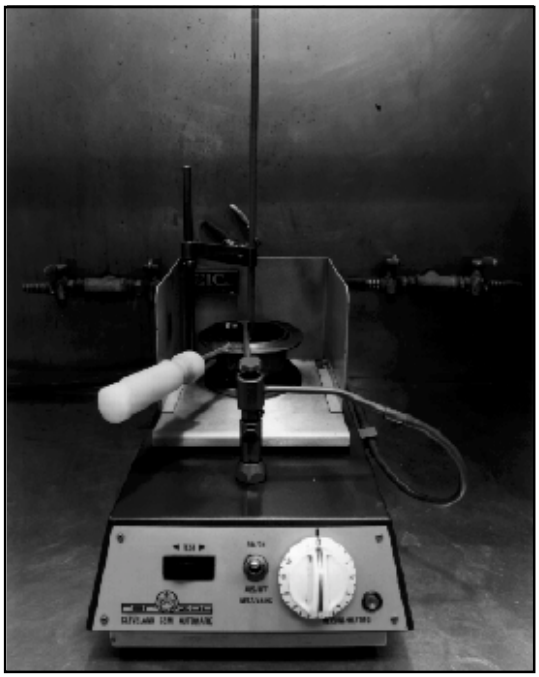


Figura 10.6 - Aparato utilizado para determinar los puntos de inflamación y de ignición en los aceites.

Punto de Inflamación y Punto de Ignición

Estos valores son de poco significado en sistemas de refrigeración, excepto con refrigerantes como amoníaco, bióxido de azufre y cloruro de metilo.

Si un aceite tiene puntos de inflamación y de ignición altos, es la mejor indicación de que no contiene volátiles. Es posible mezclar una pequeña cantidad de aceite de gran viscosidad, con una cantidad mayor de aceite de baja viscosidad, y obtener una viscosidad aceptable. Cuando realmente el aceite de baja viscosidad es inferior, se incendiará bajo uso normal a bajas temperaturas. Así, un aceite con valor alto de estas características, es un medio de evitar mezclas de inferior calidad. Afortunadamente, esto puede descubrirse fácilmente, mediante la prueba de los puntos de inflamación e ignición.

El **punto de inflamación** de un aceite es la temperatura más baja, a la cual el vapor de aceite existente sobre la superficie se inflama al ser expuesto a una flama, pero se apaga inmediatamente. Esta temperatura no es lo suficientemente alta para mantener al aceite ardiendo.

El **punto de ignición** es la temperatura a la cual un aceite arde y continúa quemándose, cuando menos durante 5 segundos, al ser expuesto a una flama.

Estos puntos se determinan utilizando el aparato que se muestra en la figura 10.6. En la taza se coloca la muestra de aceite y se calienta, mientras una pequeña flama de gas se hace pasar periódicamente sobre la superficie del aceite. Dentro del aceite hay un termómetro. La temperatura a la cual se inflama el vapor, pero se extingue inmediatamente, es el punto de inflamación. El aparato continúa calentando al aceite hasta que éste comienza a arder en forma continua. La temperatura a la que esto ocurre, es el punto de ignición.

Las temperaturas que se tienen en un sistema normal de refrigeración, nunca alcanzan el punto de inflamación. Las pruebas se efectúan para descubrir mezclas de inferior calidad.

	Punto de Inflamación	***Punto de Ignición***
Viscosidad 32 (150 SSU)	arriba de 163°C	arriba de182°C
Viscosidad 68 (300 SSU)	arriba de 171°C	arriba de193°C

Rigidez Dieléctrica

Es la medida de la resistencia de un aceite al paso de la corriente eléctrica. Se expresa en kilovoltios (kV = miles de voltios) de electricidad requeridos para saltar una distancia de una décima (1/10) de pulgada de ancho, entre dos polos sumergidos en el aceite. En la figura 10.7, se muestra el aparato utilizado para efectuar esta prueba. En la celda se coloca el aceite y en los polos se aplica voltaje, el cual se va incrementando gradualmente, hasta que se llega a un voltaje que vence la resistencia dieléctrica del aceite, y salta una chispa de un polo a otro. El aceite debe estar a una temperatura de 25°C.

Un buen aceite para refrigeración debe tener una rigidez dieléctrica de 25 kV, o mayor, para todas las viscosidades. Este valor es importante, ya que es una medida de impurezas en el aceite tales como humedad, metales disueltos o suciedad. Si el aceite está libre de materias extrañas, tendrá un valor de rigidez dieléctrica alto. Si el

Figura 10.7 - Aparato utilizado para medir la rigidez dieléctrica de un aceite.

aceite contiene impurezas, su resistencia al paso de la corriente eléctrica será baja.

La presencia de materias extrañas en un sistema de refrigeración es, de por sí, razón suficiente para considerar está prueba importante. Además, con el creciente uso de compresores herméticos y semiherméticos, es una absoluta necesidad que un aceite para refrigeración tenga un valor alto de rigidez dieléctrica, puesto que, un aceite con baja resistencia eléctrica, sería un factor que contribuiría a ocasionar cortos circuitos en los devanados.

Número de Neutralización

Es una medida del ácido mineral contenido en un aceite. Casi todos los aceites lubricantes contienen materiales de composición química incierta y diversa, los cuales reaccionan con sustancias alcalinas. A estas sustancias se les denomina como "ácidos orgánicos", que normalmente son inofensivos, y no deberán confundirse con los "ácidos minerales", los cuales sí son muy dañinos y corrosivos. La presencia de ácidos minerales en los aceites lubricantes, se debe a una mala refinación.

Estos ácidos son perjudiciales para la estabilidad del aceite. Su presencia en los sistemas de refrigeración es nociva, ya que corroen las partes interiores, y pueden provocar una rápida descomposición del aceite.

Si en un aceite para refrigeración hay ácidos presentes, ya sean orgánicos o minerales, estos se detectan con la prueba de número de neutralización. Un número de neutralización baja, significa que el aceite ha sido refinado adecuadamente, y que el contenido de ácidos minerales es muy bajo. De aquí que un número de neutralización bajo, significa que el aceite es altamente estable, y por lo tanto, es una propiedad deseable en un aceite para refrigeración.

El valor de número de neutralización recomendado para los aceites de refrigeración nuevos, debe ser menor de 0.05 miligramos de hidróxido de potasio por gramo de aceite (mg KOH/gr), para todas las viscosidades.

Figura 10.8 - Procedimiento para determinar el contenido de ácido en el aceite.

Carbonización

Todos los aceites para refrigeración pueden ser descompuestos por el calor. Cuando esto sucede, queda un residuo de carbón. Esta propiedad se determina con un aparato llamado "aparato de carbón Conradson".

La muestra de aceite se calienta a una temperatura tan alta, que se descompone, y los vapores arden hasta que sólo quedan residuos de carbón en el recipiente. La relación del peso del residuo de carbón, con el peso de la muestra original de aceite, multiplicado por 100, es el valor de carbón Conradson expresado en porcentaje.

Aparentemente, este valor sólo servirá para identificar el tipo de crudo del cual se obtuvo el aceite; ya que los aceites de base parafínica forman residuos de carbón duro y pegajoso. Los aceites de base nafténica formarán un carbón ligero y esponjoso, que no es tan perjudicial como el otro, pero no deja de ser un contaminante, por lo que ninguno de los dos tipos de residuos de carbón es deseable.

Está comprobado que hay una relación definida entre el residuo de carbón, y la tendencia del aceite a reaccionar con el refrigerante, formando lodos y cobrizado.

Un buen aceite para refrigeración, no deberá carbonizarse al entrar en contacto con superficies calientes en el sistema, durante su funcionamiento normal. Un buen aceite para refrigeración, deberá tener un valor bajo de carbón Conradson. El valor recomendado para todas las viscosidades es de 0.03% o menor.

Peso Específico

El peso específico, principalmente sirve para fines de obtener el peso de un litro de aceite, sin necesidad de pesarlo. También puede ser una indicación del tipo de crudo del cual fue refinado. El peso específico se determina con un hidrómetro, el cual se introduce en el aceite que previamente se tiene en una probeta grande. En la escala del hidrómetro, se lee directamente el valor del peso específico a la temperatura de la muestra. El valor real se obtiene de tablas, convirtiéndolo a la temperatura de 15°C. Los aceites que han sido derivados de diferentes tipos de crudos, poseen diferentes pesos específicos, pero esto no necesariamente tiene relación con la calidad del aceite.

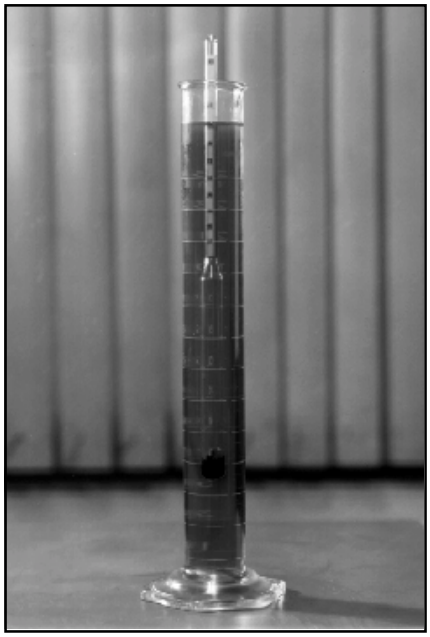


Figura 10.9 - Determinación del peso específico.

Tendencia a la Corrosión

La tendencia a la corrosión de un aceite para refrigeración, es una medida sobre la presencia de los indeseables compuestos de azufre, los cuales causan corrosión a las superficies metálicas internas.

Este valor se determina mediante la prueba de corrosión de la lámina de cobre.

Una tira de cobre pulida, de aproximadamente 1.5 x 8 cms., es sumergida en la muestra de aceite contenido en un tubo de vidrio, tal como se muestra en la figura 10.10. Este tubo se tapa y se mete a un líquido caliente o a un horno, durante tres horas a 100°C. Se saca la tira de cobre, se enjuaga con solvente, y se examina para ver si sufrió decoloración, si se manchó o esta picada, o si muestra cualquier otra evidencia de corrosión. Si el cobre está ennegrecido, es indicación de la presencia de azufre elemental o suelto. Si el cobre está definitivamente manchado o café, es indicativo de la presencia de aditivos con contenido de azufre. Si esto sucede, es indicio de que hay

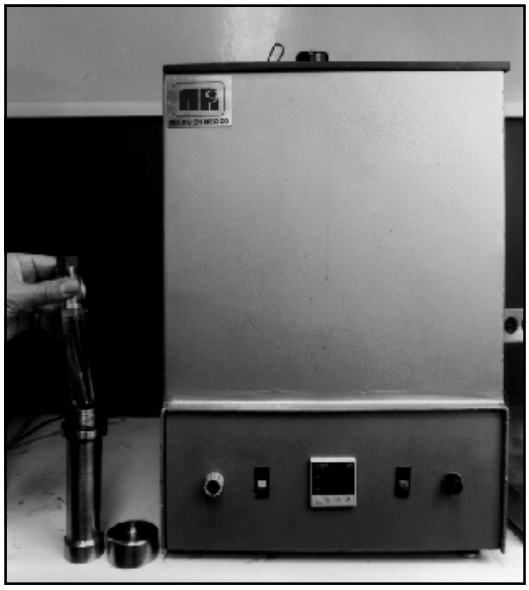


Figura 10.10 - Equipo para determinar el % de azufre en el aceite mediante la corrosión de una tira de cobre.

azufre en el aceite, como consecuencia de una mala refinación. Los aceites bien refinados, no causan mas que un ligero manchado del cobre en esta prueba, y no deben contener azufre en cantidades que puedan causar corrosión. El azufre sólo es nocivo para los aceites que se utilizan para refrigeración, y en presencia de humedad, forma ácidos, causando lodos y serios problemas mecánicos.

Oxidación Acelerada

La estabilidad a la oxidación es la capacidad de un aceite para refrigeración, a permanecer estable en presencia de oxígeno.

Esta prueba se realiza, con el propósito de predecir la cantidad de problemas que presentará el aceite durante la operación, relacionados con la formación de lodos o ácidos.

La combinación de aire, humedad y aceite, con las altas temperaturas del compresor, producirá ácidos y lodos. Si el aceite tiene un número alto de oxidación acelerada, es casi seguro que formará lentamente estos contaminantes.

La prueba consiste en calentar aceite a 205°C durante 2-1/2 horas, en una atmósfera de oxígeno. Los lodos formados se pesan, siendo el resultado el valor de la oxidación acelerada. El valor recomendado es menor de 20 para todas las viscosidades.

El valor de esta prueba es relativo, ya que en un buen sistema no debe haber aire ni humedad.

Humedad

Se comprende claramente que la humedad, en cualquier forma, es el principal enemigo de los sistemas de refrigeración. La humedad contribuye a formar ácidos, lodos y a congelarse dentro del sistema.

Ningún aceite para refrigeración debe contener humedad suficiente como para afectar al sistema. Un aceite debe ser tan seco, como sea posible.

La cantidad de humedad que contiene un aceite, se expresa en partes por millón (ppm). Un aceite para refrigeración cuando sale de la fábrica, normalmente tiene como máximo 30 ppm de agua. Esta cantidad puede incrementarse durante el envasado, traslado y almacenamiento, por lo que se deben tomar todo tipo de precauciones para no dejar el aceite expuesto al medio ambiente; ya que los aceites son higroscópicos. Esto significa, que tienen la habilidad de absorber la humedad del aire.

Al respecto, cabe mencionar que los aceites sintéticos a base de poliol éster (POE), son aproximadamente 10 veces más higroscópicos que los aceites minerales o de alquil benceno (AB). Los aceites de poliol éster pueden absorber hasta 2,000 ppm, mientras que los minerales absorben 200 ppm. La principal razón es, que los aceites de POE se hacen mezclando un alcohol y un ácido orgánico de éster, y el producto de esta reacción es un lubricante POE y agua. Se elimina el agua y queda el lubricante sólo, pero esta reacción es reversible; es decir, si el lubricante POE se expone a la humedad, se lleva a cabo la reacción inversa y se producen alcohol y ácido. Por esta razón, los lubricantes sintéticos de POE se envasan en recipientes metálicos (latas), bajo un sofisticado método que utiliza vacío y nitrógeno. Si se utilizan envases de plástico, con el paso del tiempo, la humedad atraviesa el plástico y se combina con el lubricante.

Una forma para detectar la humedad en aceites, es el método de Karl Fischer.

Color

El color del aceite para refrigeración se determina por medio de luz transmitida, y se expresa por un valor numérico, basado en una comparación con una serie de colores estándar. El color apropiado que debería tener un aceite para refrigeración, fue materia de discusión durante mucho tiempo. Sin embargo, el consenso general se ha inclinado más hacia los aceites de colores más claros, casi tan claros como el agua.

Si un aceite se refina en exceso, tomará un color casi tan claro como el agua, pero su cualidad lubricante será muy baja. Si no se refina lo suficiente, el aceite tendrá un color oscuro, debido al alto contenido de hidrocarburos insaturados. Por lo tanto, el aceite se debe refinar lo suficiente para eliminar estos hidrocarburos, pero no tanto como para destruir sus cualidades lubricantes.

Trabajos recientes han demostrado que los aceites de colores más claros, poseen mayor estabilidad que los oscuros, al entrar en contacto con el refrigerante de un sistema en operación.

El aceite para refrigeración de buena calidad, debe tener un valor inferior a 2.0 de color ASTM.

Figura 10.11 - Colorímetro utilizado para determinar el color ASTM.

Punto de Anilina

Esta prueba nos determina el tipo de base mineral utilizada en el aceite para refrigeración. Los valores de estos puntos son como sigue:

Menores de 65°C	:	Aceites aromáticos.
Entre 66 y 80°C	:	Aceites predominantemente nafténicos.
Entre 81 y 90°C	:	Aceites nafténicos - parafínicos.
Mayores de 90°C	:	Aceites de base parafínica.

La prueba para determinar este valor consiste en colocar en un tubo de prueba, cantidades específicas del aceite a probar y de anilina. Las sustancias dentro del tubo se calientan gradualmente, agitándolas mecánicamente, hasta que se mezclan formando una sola fase. Posteriormente, se enfría la mezcla de manera gradual, hasta que ocurre la separación en dos fases. La temperatura a la que se separan es el punto de anilina.

Figura 10.12 - Determinación del punto de anilina.

Estabilidad Térmica

Dentro de un sistema de refrigeración, las reacciones entre el aceite y el refrigerante a altas temperaturas, pueden causar problemas tales como: formación de lodos, ácidos, gomas, lacas, barnices y cobrizado. Estos depósitos afectan las válvulas de descarga, aceleran el desgaste, tapan los conductos del aceite y en los compresores herméticos, interfieren con la operación del motor.

Una prueba para evaluar la estabilidad del aceite en sistemas que operan con refrigerantes halogenados, consiste en colocar partes iguales de aceite y R-12 en un tubo de vidrio, en presencia de materiales de prueba como acero y cobre. El tubo se sella para excluir el oxígeno y la humedad atmosférica. Se coloca el tubo en un horno y se calienta. Las condiciones típicas son 175°C, durante 14 días.

Esta prueba reproduce las condiciones encontradas en un sistema de refrigeración, pero incrementa en forma drástica las condiciones que pueden causar la descomposición del aceite y el refrigerante, formando los productos ya mencionados. Esta prueba es capaz de discriminar perfectamente, entre el aceite de buena calidad y uno malo.

Bajo estas condiciones, el cobre y el acero actúan como catalizadores, acelerando la reacción. El R-12 tiende a reaccionar con el aceite para formar R-22, además de otros productos. La formación del R-22 es una guía de la reacción.

Después de 14 días, el contenido del tubo es analizado. Una medida cualitativa de la reactividad, es el color del aceite después del calentamiento: si está oscuro, es indicación de una estabilidad pobre.

Una técnica más cuantitativa, es analizar la cantidad de R-12 que se ha descompuesto. La medición del porcentaje de R-22 formado, indica qué tan lejos llegó la reacción. Mientras más R-22, mayor reacción y menos estable el aceite.

En sistemas que operan con amoníaco, se lleva a cabo una reacción diferente: el aceite puede oxidarse y formar ácidos orgánicos, los cuales pueden reaccionar con el amoníaco y formar lodos. Uno de los métodos más simples para probar la estabilidad del aceite en sistemas de amoníaco, es calentarlo en un vaso a 115°C, durante 4 días. La medición cualitativa es el color del aceite: mientras más oscuro, menos estable.

Nota: Esta prueba de estabilidad en tubo sellado, fue desarrollada para imponer la estabilidad térmica de los refrigerantes. La industria de la refrigeración la ha adoptado en forma modificada, para determinar la estabilidad térmica de los aceites con los nuevos refrigerantes HFC.

Compatibilidad con Otros Materiales

En diferentes partes del sistema se tienen elastómeros, expuestos tanto al refrigerante como al aceite. La mezcla de refrigerante-aceite, puede causar que estos elastómeros se encojan o se hinchen, debilitándolos; no permitiendo que sellen, y aun hasta ocurra una extrusión de su posición original.

Los elastómeros, aunque se comercializan bajo ciertos nombres específicos, tales como VITON - A, BUNA - N, etc., las muestras pueden variar significativamente de un fabricante a otro; por lo que se deben correr pruebas comparativas en muestras del mismo lote.

La prueba consiste en pesar o medir una muestra del elastómero, y después sumergirla en una mezcla de aceite-refrigerante por un cierto tiempo y a una cierta temperatura. Se registra el porcentaje que cambia en peso o en dimensiones.

Los aceites sintéticos y minerales, tienen casi el mismo efecto en elastómeros y plásticos, y en general, son compatibles con la mayoría de estos materiales.

	% en peso ganado en 4 meses a 66°C	
MATERIAL	**ACEITE MINERAL**	**ACEITE SINTETICO**
Neopreno W	13	10
Nylon 6-6	-1	-1
"Mylar"	0	0
Buna N	2	0
"Vitón" A	0	0
Polipropileno	12	10

Tabla 10.13 - Efecto sobre materiales de aceites de viscosidad 32 cSt.

Capítulo 11

PROCEDIMIENTOS DE LIMPIEZA DESPUES DE LA QUEMADURA DEL MOTOCOMPRESOR

Introducción

Uno de los problemas más difíciles a los que se enfrenta un técnico de servicio en la actualidad es, cómo limpiar un sistema de refrigeración después que ha ocurrido una quemadura del motocompresor (compresor hermético o semihermético). En este capítulo, se mencionan los diferentes métodos empleados para los diversos tamaños de equipos, y se describe el método más práctico, seguro y económico, para asegurar un servicio prolongado y confiable, sin que se vuelva a repetir la quemadura.

Mucho se ha escrito sobre el tema de cómo limpiar un sistema de refrigeración, después que se ha quemado el motocompresor. La mayoría de estos escritos, se han hecho con fines comerciales, por compañías que venden productos utilizados en el proceso de limpieza.

La información aquí presentada, está libre de presiones externas. A pesar de esto, no se intenta establecer específicamente cómo se debe limpiar un sistema en particular. En lugar de esto, presentaremos las posibles causas, problemas relacionados, hechos, factores a considerar y posibles métodos de limpieza, con el fin de mejorar el criterio del técnico de servicio, para que decida cuál procedimiento utilizar.

El alcance de estos procedimientos se limita a motocompresores de desplazamiento positivo (reciprocantes y rotativos). Los sistemas con compresores centrífugos son altamente especializados, y deberán ser limpiados de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

¿Ha Ocurrido una Quemadura?

Antes de emitir el diagnóstico de que el motocompresor está quemado, se debe tener la plena seguridad de que efectivamente lo está. Sólo porque el motocompresor dejó de trabajar, no significa que está quemado. Puede suceder que se trate sólo de una falla eléctrica. Será necesario revisar todos los componentes y factores eléctricos, desde si hay energía eléctrica, la continuidad, el tablero de control, etc. Y aunque la mayoría de los técnicos saben esto, la experiencia de los fabricantes de motocompresores, indica que muchos motocompresores que les han sido devueltos como quemados, están en perfectas condiciones de operación, excepto por algún componente eléctrico simple como un fusible, un relevador, un capacitor, etc...

Para revisar el voltaje adecuado, primero desconecte el interruptor principal para cortar la energía eléctrica. Quite los cables del compresor del lado del arrancador. Después, conecte el interruptor principal para energizar el circuito de control, y revise el voltaje en todas las líneas por ambos lados del arrancador.

Antes de revisar el motor del compresor, asegúrese que el compresor no esté caliente; de otra manera, se puede obtener una indicación errática, debido a que las protecciones internas están abiertas.

Revise el motor del compresor, para ver si eléctricamente está abierto o aterrizado. Para esta prueba, se puede usar un megaóhmetro de 500. Si no se encuentra ninguna falla y si se conocen los valores normales de la resistencia del devanado, se deberá revisar la resistencia del motor con un óhmetro de precisión, para determinar si existen cortos circuitos entre vuelta y vuelta. La resistencia del devanado variará 2.25% por cada 5°C de diferencia, desde los 25°C a los cuales se publican generalmente los valores.

Antes de asumir que el motocompresor está dañado, deberá investigarse la posibilidad de que existe un circuito abierto o aterrizado en los cables exteriores, desde el arrancador hasta el compresor, en las terminales del compresor o en los cables internos del estator.

Si se llevan a cabo todas la pruebas eléctricas recomendadas por el fabricante del equipo, se localizará el punto exacto del problema. Si la falla se debe a un defecto de alguno de los componentes eléctricos, el problema se corregirá reemplazando una parte relativamente barata, en lugar de todo el compresor.

Tipo y Grado de Quemadura

Antes de mencionar los diferentes tipos y grados de quemaduras, conviene conocer las diferentes clases de motocompresores.

Existen tres tipos básicos de motocompresores:

* Herméticos (sellados).
* Semiherméticos de motor no reemplazable.
* Semiherméticos de motor reemplazable.

El procedimiento de limpieza varía en detalle para estos tres tipos. A continuación, se da una breve descripción de cada uno de estos motocompresores:

Herméticos. Como el nombre lo indica, todo el ensamble está soldado, no atornillado; por lo que cuando ocurre una quemadura, es imperativo cambiar el motocompresor completo. Esto hace imposible inspeccionar el devanado del motor para determinar las causas y tipo de quemadura. La única manera de juzgar la severidad de la quemadura, es liberar una pequeña cantidad de gas del compresor y olerla. También deberá revisarse una muestra del aceite en lo que se refiere al color y contenido de ácido; si el aceite está limpio y claro, y el olor a quemado es ligero, la quemadura es leve. Si el aceite está obscuro o negro, con un fuerte olor a quemado, la quemadura es severa.

Los compresores herméticos están generalmente limitados a los sistemas pequeños, y en muchos casos no tienen válvulas de servicio, ni válvulas para drenar el aceite.

Semiherméticos de motor no reemplazable. Esto significa que en el caso de una quemadura, deberá cambiarse la unidad completa. Sin embargo, tiene una ventaja con relación a los herméticos: que se les puede quitar la tapa acampanada del lado del motor para inspeccionar el devanado, y determinar las causas y tipo de quemadura.

Los tamaños de estos motocompresores son generalmente menores a 20 HP, y todos cuentan con válvulas de servicio.

Semiherméticos de motor reemplazable. Esto significa que en caso de una quemadura, aunque se puede reemplazar todo el motocompresor, la práctica normal y la recomendación del fabricante es cambiar solamente el motor y limpiar mecánicamente el compresor.

En este tipo de motocompresores es muy sencillo determinar el tipo de quemadura, procediendo de la misma manera con el olor y una muestra de aceite. Los tamaños de estos motocompresores van de 20 HP en adelante.

NOTA: Es importante mencionar en cuanto a toma de muestras de aceite se refiere, las precauciones que se deben tener. Cuando se quema un motocompresor, es sorprendente la cantidad de ácido que se puede formar. Dependiendo de la severidad de la quemadura, se puede producir ácido clorhídrico (HCl) y ácido fluorhídrico (HF). Ambos son muy corrosivos con los metales y atacan el barniz aislante del motor, y además pueden hacer lo mismo con la piel, los ojos, la ropa, etc. Si se toca el aceite pueden resultar graves quemaduras. Si es necesario entrar en contacto con el aceite o con las partes contaminadas, se recomienda usar guantes de hule y si es posible, también lentes de seguridad.

Es posible clasificar las quemaduras por el tipo de contaminantes que producen. Las quemadura pueden ser desde muy leves, hasta muy severas, y el "grado de severidad" puede usarse como una guía para determinar qué procedimiento de limpieza se va a seguir.

En quemaduras leves, el aceite del compresor puede variar de claro a obscuro, como se muestra en la figura 11.1. El color oscuro se debe principalmente a pequeñísimas partículas de carbón suspendidas. Cabe mencionar que un aceite sucio, no necesariamente contiene ácido; sin embargo, el aceite que contiene ácido casi siempre está sucio. Así que, si se cambia el aceite cuando está sucio, esto es una buena medida de seguridad.

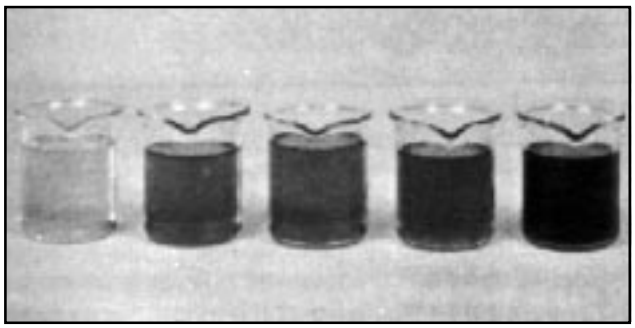


Figura 11.1 - Muestras de aceite tomadas de motocompresores con quemaduras leves.

Una manera práctica para saber si el contenido de ácido en el aceite es peligroso, es introducir la esquina de una franela roja y seca, la cual se decolorará hasta ponerse blanca, cuando el contenido de ácido es alto. Pero el mejor método para determinar la severidad de la quemadura, es analizar una pequeña muestra de aceite con un "probador de acidez". Estos productos son comerciales y se consiguen con los distribuidores de refrigeración. Están calibrados para cambiar de color cuando el número ácido es mayor de 0.05; lo que para un sistema de refrigeración se considera dañino. Cuando el contenido de ácido es mayor de 0.05, la quemadura se considera severa.

Más adelante se explicará por qué se analiza el contenido de ácido en una muestra de aceite.

Además del contenido de ácido en el aceite, otras indicaciones de la severidad de la quemadura son el olor del gas refrigerante, el cual es característico y muy fuerte cuando la quemadura es severa. También, si se encuentran depósitos de carbón al inspeccionar los filtros deshidratadores de las líneas de líquido y succión, puede considerarse la quemadura como severa.

Por la forma en que se manifiesta la quemadura en el motor del compresor, hay dos tipos principales de quemaduras, cada uno fácilmente reconocible, y cada uno con sus propias causas específicas. Los dos tipos de quemadura son:

"Quemaduras parciales"
"Quemaduras completas"

En la figura 11.2, se muestra un ejemplo de lo que es una quemadura parcial. Nótese que la carbonización está confinada a una área relativamente pequeña, y el resto del devanado aparenta estar brillante y limpio.

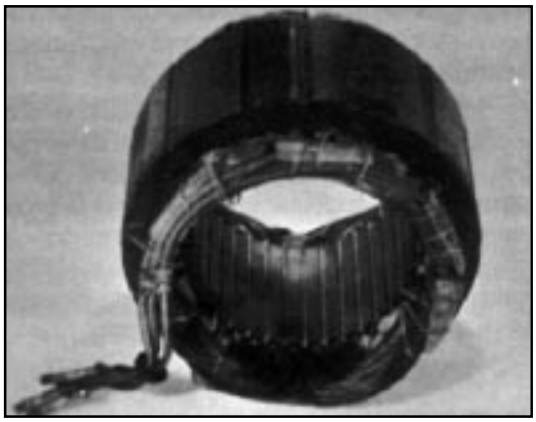


Figura 11.2 - Motor de un compresor semihermético que sufrió una quemadura parcial.

Este motor es de un compresor semihermético del tipo desarmable, en los que se puede quitar la tapa con uno de los extremos para inspeccionar el devanado.

Si se toma una muestra de aceite y se revisa su color, probando luego el contenido de ácido con un probador de acidez, este tipo de quemadura sólo tendrá un ligero olor a quemado, con poca o ninguna decoloración del aceite y deberá pasar la prueba de acidez.

En la figura 11.3, se muestra un motor que sufrió una quemadura completa, donde prácticamente todo el devanado está carbonizado. Nótese que en la parte baja del devanado, la cual estaba sumergida en aceite, no está decolorada. El aceite enfrió esta porción y evitó que se carbonizara.

Una muestra de aceite de este compresor, al revisarla, revelará un fuerte olor a quemado y una gran decoloración. Al efectuar la prueba de acidez, el contenido de ácido será mayor de 0.05

En quemaduras severas, se forma también lodo, el cual alcanza a llegar a los serpentines y a la tubería. Con frecuencia, el aceite carbonizado se presenta como un polvo negro, seco y ligero; parecido al hollín, que se esparce por todo el sistema. En casos muy severos, el aceite carbonizado se endurece y adhiere a las paredes del sistema, de manera similar a como sucede con las cabezas de un motor de automóvil. Este tipo de quemadura, ocurre generalmente en equipos grandes, y debe ser limpiado de una manera similar a como se hace en los motores de automóvil; esto es, por medios mecánicos tallando o con abrasivos.

Figura 11.3 - Motor de un compresor semihermético que sufrió una quemadura completa.

Causas de la Quemadura

Una vez establecido el hecho de que realmente ocurrió una quemadura, antes de reemplazar el motocompresor quemado, se debe hacer todo un esfuerzo para determinar la causa de la quemadura, analizarla y corregirla. Ciertamente, lo que menos se desea es que se repita la quemadura, después de algunos días o algunas horas de haber cambiado el motocompresor.

Cualquiera que haya sido la causa de la quemadura, el motocompresor sufrió un sobrecalentamiento, lo que condujo finalmente a un "corto circuito eléctrico" dentro del motocompresor.

En primer lugar, una quemadura parcial puede ocurrir por tres causas: defecto en el aislamiento, daños por raspaduras y daño a causa de la instalación.

El defecto en el aislamiento del alambre del estator, generalmente, se debe a la falta de uniformidad en el barniz, lo que dejaría partes más delgadas causando un corto entre vuelta y vuelta. Este tipo de defecto puede ocurrir en el alambre ranurado o en las vueltas del devanado.

Cada vez que arranca el motor, el empuje del rotor parado, tiende a realmente mover y flexionar las vueltas del devanado. Cuando la flexión es suficiente, el aislamiento tiende a desgastarse y ocasionar un corto.

En todo proceso donde interviene el elemento humano, existe la tendencia a cometerse errores ocasionalmente. Tal es el caso con los daños de instalación. Aún con cuidados extremos, un devanado de motor puede ser ligeramente raspado, al momento de instalarse en el compresor. Este daño puede no ser lo suficientemente serio, y el motor pasará la prueba de sobrevoltaje después del ensamble, pero sí puede acortar la vida del motor.

Aunque los defectos de aislamiento, daños por raspaduras y los daños de instalación son puntos débiles que se localizan en el devanado del motor, la falla final puede verse acelerada por los paros y arranques repetitivos, así como por arranques inundados del motocompresor.

Los paros y arranques contínuos provocan flexión en las vueltas, aumentan la abrasión, y finalmente la falla. Los motores inundados con refrigerante líquido, al arrancar, tienen menos resistencia a tierra, pudiendo eso también acelerar la falla.

Una quemadura completa, es indicación de un sobrecalentamiento severo en todo el motor, hasta un punto donde el aislamiento no resiste y se rompe. Básicamente, hay

una sola causa para este tipo de quemadura, y esa es, una falla en el sistema de protección para desconectar al motor antes de que se sobrecaliente.

a) Si la protección es interna, instalada de fábrica, debe revisarse si los contactos en el dispositivo de protección están "soldados", al igual que los contactores.
b) Si la protección es externa, ver si el protector es de mayor tamaño o si el contactor está "soldado".
c) Ya sea que los protectores sean internos o externos, asegúrese que no hayan sido "puenteados" o desactivados de alguna otra manera.

Debe evitarse restablecer constantemente los dispositivos de seguridad. No hay que restablecer los protectores de sobrecarga ni los termostatos, hasta que la unidad haya sido revisada adecuadamente, para encontrar la causa inicial por la que se dispararon.

Si se restablecen indiscriminadamente estos dispositivos, sin antes ver la causa, puede ocurrir que si hay una quemadura parcial, se convierta en quemadura total, lo que implicará un costo más alto de reparación y se requerirá más tiempo para la limpieza.

Antes de proceder a limpiar cualquier sistema, debe hacerse un esfuerzo para determinar las causas y corregirlas. Debe observarse más allá de los protectores térmicos y contactores, para encontrar lo que realmente causó la alta temperatura en el devanado del motor.

El calor excesivo es la causa principal de quemaduras en motocompresores. Aunque es en el compresor donde normalmente se tiene la temperatura más alta del sistema, ésta tiene un límite, y por eso se instalan diferentes dispositivos de seguridad. Algunas de las causas por las que aumenta la temperatura del motor arriba de la normal, y que pueden provocar una quemadura son:

1. Condensadores sucios, falta de ventilación y/o condensador de menor tamaño. Cualquiera de estas causas provocará que el sistema tenga una alta presión de descarga, con lo que se tendrá también una alta temperatura. La relación de compresión aumenta y el motor absorbe más corriente.
2. Sobrecalentamiento excesivo del gas de succión. Cuando la temperatura del gas refrigerante que llega al compresor es excesiva, aumenta la temperatura de descarga. Hay que recordar también, que muchos motocompresores se enfrían con el gas refrigerante de succión, y si éste viene con un sobrecalentamiento excesivo, el devanado del motor también se sobrecalentará.
3. Bajo voltaje. De acuerdo a la ley de Ohm, al disminuir el voltaje, aumenta el amperaje; por tal motivo, un motor con corriente excesiva se sobrecalentará.
4. Alto voltaje. Cuando la carga es ligera, la eficiencia del motor es pobre, al igual que el enfriamiento.
5. Falta de refrigerante. El devanado del motor se sobrecalentará al no haber suficiente vapor de refrigerante para enfriarlo.
6. Refrigerante equivocado. Si se cargó el sistema con otro refrigerante que no es el adecuado, causará una excesiva sobrecarga del motor.

Quizá la segunda causa más importante de quemaduras, es la contaminación. Como se mencionó en el tema de contaminantes (ver capítulo 1), la estabilidad química de un sistema se ve grandemente afectada por la presencia de contaminantes, los cuales en combinación con la temperatura, descomponen químicamente el refrigerante y el aceite. Algunos de los principales contaminantes que conducen a problemas de quemaduras son:

1. Aire y humedad. Son los enemigos más ofensivos; pueden reaccionar con el refrigerante y el aceite, formando ácido y lodo, entre otros productos.
2. Suciedad y partículas metálicas. Causan doble problema; además de obstruir la válvula de termo expansión y alterar el ciclo de refrigeración, pueden causar rupturas en el aislamiento del devanado del motor al salir de la línea de succión y chocar contra el motor que está girando a alta velocidad. De esta manera se crean las condiciones que favorecen un corto circuito.
3. Fundentes. Son compuestos químicos altamente corrosivos, por lo que se deben usar con moderación.
4. Anticongelantes. Aún en pequeñas cantidades, pueden descomponer al aceite formando lodo.

La tercera causa, aunque la menos frecuente, son las fallas mecánicas del compresor. Existen algunas partes asociadas con el compresor, las cuales ocasionalmente fallan produciendo una quemadura. A continuación, se da una lista de piezas mecánicas que al fallar, pueden ocasionar problemas:

- Cojinetes.
- Válvulas.
- Partes desgastadas.
- Controles defectuosos.
- Falta de lubricación.

No muchas quemaduras pueden atribuirse realmente a fallas mecánicas de los compresores. El calor excesivo es la causa principal de quemaduras de motocompresores.

Productos de la Quemadura

Cuando se quema un motocompresor, no solamente se tiene que tratar con los contaminantes que ya había en el sistema, sino también con los producidos por la quemadura. La cantidad y tipo de contaminantes formados por la quemadura, dependen de la severidad de ésta. Los más serios son los siguientes:

- Humedad.
- Acido.
- Carbón suave (hollín).
- Carbón duro.
- Barniz.

La humedad es un producto muy normal. Tal como se mencionó anteriormente, si no se remueve del sistema, puede causar más contaminantes.

El ácido clorhídrico y el ácido fluorhídrico se generan en una quemadura. Ambos son altamente corrosivos y el fluorhídrico, es el único ácido que ataca el vidrio. La presencia de estos ácidos en el sistema, causa corrosión en los metales y ataca el aislamiento del motor. Por lo tanto, para evitar que se repita la quemadura, el ácido deberá ser removido.

El carbón suave u hollín, es causado por la carbonización del aceite y el aislamiento. No se adhiere fuertemente a las superficies, por lo que se puede aflojar fácilmente y puede removerse por filtración.

El carbón duro y el barniz, son los contaminantes más persistentes de todos y los más difíciles de eliminar. Son causados por un proceso de carbonización a alta temperatura.

Un dato muy importante para el técnico, es saber si la quemadura ocurrió al arrancar el compresor o estando éste en operación. Esto influirá grandemente al determinar qué procedimiento de limpieza deberá seguirse. Si la quemadura ocurrió estando el motor parado, la mayor parte de los contaminantes estarán en el aceite, lo cual se explicará más delante. Si la quemadura sucedió lentamente estando el motor en operación, entonces los contaminantes pasan del compresor a los demás componentes del sistema, haciendo más difícil la operación de limpieza.

Debido a la alta temperatura que prevalece en el compresor en el momento de la quemadura, la mayor parte del carbón, barniz y ácido se quedan en el compresor. Cuando se reemplaza el motocompresor completo, los contaminantes no representan un gran problema. Pero en compresores más grandes, donde sólo se cambia el motor, es un problema remover los depósitos de carbón y barniz. Aquí, la única solución es la limpieza manual.

El punto importante que hay que tener siempre en mente es éste: si no se hace una limpieza adecuada, la quemadura se vuelve a repetir. La experiencia en el campo ha demostrado que si sólo se cambia o se repara el motocompresor, y se dejan todos los contaminantes en el sistema, el nuevo compresor se quemará en un lapso no mayor a un año. Si la siguiente vez se procede igual, ocurrirá una tercera quemadura en menos de dos meses, una cuarta quemadura en dos semanas, y así sucesivamente. La razón es que si cada que se quema el motocompresor, no se limpia el sistema o la limpieza no es adecuada, la concentración de contaminantes va en aumento.

Aceite y Refrigerante como Limpiadores

No debe subestimarse la acción limpiadora del refrigerante y del aceite. La mayoría de los fabricantes de compresores conocen que la circulación normal del refrigerante y aceite en el sistema, "arrastra" todo material extraño, tal es el caso de la arena de fundición y fundente, de manera muy rápida. Por esta razón, prácticamente cada compresor está equipado con algún tipo de filtro de aceite.

Por ejemplo, un sistema de 3 toneladas circulará aproximadamente 250 kg de R-22 por hora, junto con 5 kg de aceite. Y aunque no se nota, un sistema de refrigeración mientras trabaja se autolimpia cada hora que opera.

Aun el barniz, que es difícil de remover y que esté depositado fuera del compresor, no es problema para el refrigerante y aceite. Con tres cosas a su favor, habilidad limpiadora, temperatura y tiempo, la mezcla de refrigerante y aceite disolverá y barrerá el barniz.

¿Qué sucede con todo el material extraño aflojado por el refrigerante y el aceite? ¿A dónde va y dónde se puede atrapar? Hay varios lugares donde puede atraparse, pero primero hablaremos del aceite en el cárter del compresor.

El aceite tiene una afinidad natural con los contaminantes. Los contaminantes tienden a colectarse en el aceite y éste tiende a absorber mucho más del ácido formado en una quemadura, que lo que absorbe el refrigerante. De hecho, más del 75% del ácido generado, será atrapado por el aceite del compresor y removido del sistema, cuando se cambie el compresor o la carga de aceite. El aceite retendrá como dos terceras partes de humedad de la que puede retener el R-22, y el carbón y barniz disueltos, tenderán a emigrar hacia el aceite.

De la misma manera que el aceite de un motor de automóvil, generalmente está negro y sucio, porque acarrea todos los contaminantes de la máquina, de hecho, se puede limpiar el motor de un automóvil cambiando frecuentemente el aceite. Esto mismo es cierto para el aceite en un sistema de refrigeración.

Puesto que el aceite es una trampa tan efectiva para los contaminantes, por lo tanto, también es un buen indicador de la contaminación en el sistema. Como se mencionó anteriormente, la mayor parte del ácido en un sistema se acumula en el aceite; así que, una prueba de acidez del aceite, dará una buena indicación de la contaminación del sistema.

En la figura 11.4, se muestra un producto comercial para efectuar la prueba de acidez en el aceite.

Figura 11.4 - Probador de acidez para aceites de refrigeración.

El Refrigerante puede Salvarse

Datos de trabajos reales efectuados en el campo, han probado que el refrigerante de un sistema que sufrió una quemadura del motocompresor, puede ser recuperado de una manera segura, sin importar la severidad de la quemadura. La cantidad de refrigerante en el sistema, es lo que va a determinar si se desecha o se recupera. En equipos pequeños con cargas menores de 5 kg., es probable que el cambio de aceite extra que se necesitaría hacer para salvar al refrigerante, sea más costoso que la misma carga de refrigerante, especialmente si se requiere mucha mano de obra.

Aunque en la actualidad, ya se dispone comercialmente de equipos compactos, para la recuperación y reciclado de refrigerantes halogenados, con los que se puede recuperar cualquier cantidad de cualquier tamaño de sistema. Estos equipos como el que se muestra en la figura 11.5, cada vez tienen más aplicación, no sólo por su bajo costo de operación, sino también por la participación que cada individuo puede tener en la conservación del medio ambiente, especialmente ahora, que está confirmado el hecho de que los refrigerantes clorofluorocarbonados (CFC) destruyen la capa de ozono en la atmósfera.

Figura 11.5 - Equipo para recircular y reciclar refrigerante.

En instalaciones grandes, no hay que dudar mucho de la conveniencia de recuperarlo. Hay muchos casos probados que demuestran, que reutilizar el refrigerante no es ningún riesgo, desde el punto de vista de que se pueda repetir la quemadura. Químicamente, al refrigerante no le pasa nada con la quemadura. Hay que recordar que el refrigerante retiene muy poco ácido, la mayor parte se va con el aceite que se desecha.

Métodos de Limpieza

Básicamente, existen dos métodos para limpiar un sistema donde se quemó el motocompresor. Estos son:

- Método de lavado con R-11.
- Método con filtros deshidratadores de piedra.

El método de lavado con R-11 es siempre el mismo, sin importar el tamaño o la severidad de la quemadura, si el sistema contaba con filtros deshidratadores en el momento de la quemadura.

El procedimiento usado con el método de filtros deshidratadores, es algo diferente, si el sistema estaba equipado con un filtro en la línea de líquido en el momento de la quemadura, ya que esto simplifica el trabajo de limpieza.

El método de lavado con R-11, aunque es efectivo, en la actualidad es obsoleto, por dos principales razones: a) es costoso y tardado, b) el R-11 es uno de los refrigerantes con mayor potencial de deterioro del ozono, por lo que su producción está regulada hasta que desaparezca totalmente, antes del año 2000.

Método de Lavado con R-11

Aunque VALYCONTROL, S.A. DE C.V. no recomienda éste método, se describirá brevemente el proceso. Primero, se debe tener un equipo de recirculación de R-11, que consta de una bomba de diafragma, un tambor de R-11, dos filtros deshidratadores recargables de bloques desecantes y un conjunto de accesorios como válvulas de paso, manómetros, indicador de líquido y mangueras. Todo esto interconectado y montado en un carrito para transportarlo.

Para hacer el lavado del sistema, se debe primero descargar el refrigerante, retirar el compresor quemado, así como todos los accesorios que puedan restringir la circulación del R-11, tales como el capilar o la válvula de termo expansión, filtros deshidratadores, válvulas reguladoras, etc... En su lugar, se instalan mangueras de plástico para interconectar el circuito. Las mangueras del equipo de lavado, se conectan al sistema por las líneas de succión y de descarga (donde estaba conectado el compresor), de tal forma que el R-11 circule en sentido contrario al flujo normal del sistema. El R-11 es un excelente solvente, y como su temperatura de ebullición es alta (23°C), se puede tener en forma líquida circulando por todo el sistema.

Después que recorre todo el sistema, arrastrando los contaminantes, regresa al equipo de limpieza, pasa por los filtros deshidratadores donde se le quitan todos los contaminantes y las impurezas, y regresa al tambor, limpio y listo para usarse de nuevo.

Al inicio de la operación, se puede observar a través del indicador de líquido el paso del refrigerante contaminado, el cual se va aclarando poco a poco.

El tiempo y la cantidad de refrigerante requeridos para completar la limpieza, depende del tamaño del sistema y de la severidad de la quemadura. Algunas veces, la recirculación debe continuar por lo menos 24 horas, y en el caso de quemaduras severas, se requieren períodos más largos. Una indicación de que la limpieza se ha completado, es cuando el R-11 regresa al equipo libre de contaminantes. Al R-11 se le puede efectuar la prueba de acidez con los mismos productos que se utilizan para el aceite. Cuando el sistema está muy contaminado, es necesario cambiar los bloques desecantes de los filtros

deshidratadores del equipo de limpieza; lo cual se va a observar por la presión en el manómetro.

Cuando se ha completado el proceso de limpieza, el R-11 que aún permanece en el sistema debe ser forzado a regresar al tambor. Para esto, es necesario sopletear el sistema con R-12 o R-22 o si es posible, con nitrógeno.

El sistema está ahora listo para ser ensamblado de nuevo. Para esto se retiran las mangueras de plástico, se instala el compresor nuevo con su carga limpia de aceite, se instalan todos los demás componentes y accesorios y el siguiente paso es hacer la prueba contra fugas; para lo cual se requiere presurizar un poco el sistema con refrigerante. Cuando se tiene la seguridad de que no existen fugas, el siguiente paso es evacuar el sistema con una buena bomba de vacío. Esto es para eliminar el R-11 residual en el sistema, lo cual se lleva a cabo con rapidez. La importancia real de hacer un buen vacío, es para asegurarse también que se eliminen completamente los gases no condensables y la humedad. El vacío que se recomienda es de 200 micrones (0.2 mm. Hg.).

Una vez que el sistema se ha evacuado completamente, se rompe el vacío con el refrigerante con que va a trabajar el sistema, hasta completar la carga de acuerdo a la recomendación del fabricante; y finalmente, se pone a operar el sistema.

Este método de limpieza tiene varias desventajas básicas:

1. Generalmente, es necesario desechar la carga del sistema.
2. Se requiere una labor considerable para quitar los accesorios y poner en su lugar mangueras.
3. El equipo de limpieza es costoso, y requiere de personal especializado.
4. El R-11 usado en la limpieza se tiene que desechar y esto implica otro costo; además hay que recordar que el R-11 por su alto contenido de cloro, es uno de los compuestos que más deterioran la capa de ozono.
5. Todo el tiempo que dura la limpieza con este método es tiempo muerto, ya que el sistema está fuera de operación.

Método con Filtros Deshidratadores de Piedra

Este método es aplicable tanto a sistemas pequeños, como a sistemas de gran tonelaje. Es un método simple, rápido y económico; ya que representa una reducción drástica en lo que se refiere a trabajo y costo, comparado con el método de lavado con R-11.

El método con filtros deshidratadores de piedra ha sido usado extensivamente en miles de casos en los últimos años, y su éxito ha sido bien probado en el campo. Cuando se ha seguido adecuadamente, no se ha sabido de un caso donde se haya repetido la quemadura.

No existe un solo procedimiento que sea aplicable a todos los sistemas donde se quema el motocompresor; ya que el grado de contaminación difiere entre uno y otro, dependiendo de las circunstancias.

El procedimiento de limpieza deberá ser bien planeado, de acuerdo al tamaño y tipo del sistema. Los principales factores que determinan qué procedimiento seguir son: el tamaño del sistema, la severidad de la quemadura, si el compresor tiene válvulas de servicio o no, y si el sistema tenía filtro deshidratador en la línea de líquido o en la de succión cuando ocurrió la quemadura. La cantidad de los productos involucrados en la quemadura, es la que lo guiará a seleccionar el procedimiento. No hay una regla específica para guiarse, la decisión la debe tomar el técnico mismo.

A continuación se sugieren algunos procedimientos:

Sistemas Pequeños

En equipos pequeños como refrigeradores domésticos, unidades de ventana de aire acondicionado, etc., los cuales generalmente tienen compresores herméticos fraccionarios, el procedimiento de limpieza puede considerarse siempre el mismo, indistintamente de la severidad de la quemadura. Pero, como se mencionó antes, en este tipo de compresores no se puede saber el grado de la quemadura, sino hasta que se analiza una muestra del aceite, y para tomar dicha muestra, se tiene que abrir el sistema.

Es importante recordar las precauciones que se deben tener con el aceite al manejar un compresor quemado.

El procedimiento de limpieza recomendado es el siguiente:

1. La cantidad de refrigerante con que trabajan estos equipos, por lo regular es muy pequeña, de unos cuantos gramos, y no justifica la labor de recuperarlo; por lo que se debe desechar adecuadamente en un lugar ventilado. Pero si desea recuperarse, se recomienda el uso de una máquina de recuperación / reciclado aprobada por ARI, la cual lo recupera en fase líquida. Para hacer esto, es necesario adaptar antes unas válvulas de acceso del tipo perforadora, una en la línea de succión y otra en la línea de descarga. Estas válvulas es conveniente instalarlas, aun cuando no se recupere el refrigerante, ya que van a servir para otras operaciones.

2. Se retira el compresor quemado. Para esto, se procede como sigue: se desconecta el circuito eléctrico y se desconectan las líneas de succión y descarga, cortándolas con pinzas o corta tubo. Si el compresor tiene enfriador de aceite, las líneas deberán sellarse para luego cortarlas y doblarlas, evitando así un derrame de aceite. También deberán sellarse los tubos de succión y descarga del compresor quemado, pero antes, se debe tomar una muestra del aceite para analizarlo.

3. Se quita el filtro deshidratador y el tubo capilar o la válvula de termo expansión, si la hay.

4. Se lava el sistema con refrigerante, de preferencia del mismo refrigerante con que trabaja el sistema. Para hacer esto, se deben instalar conexiones "flare" en los extremos de las líneas de succión y descarga, donde estaba insta-

lado el compresor. El refrigerante debe hacerse circular en forma líquida, en contraflujo; es decir, debe entrar al sistema por la línea de succión y salir por el condensador. Esto se puede hacer con la misma máquina de recuperación y reciclado. Si no se dispone de esta máquina, se puede hacer un arreglo con cilindros (uno lleno y otro vacío para recibir el refrigerante), mangueras y filtros deshidratadores. Esta operación continúa hasta que se haya completado la limpieza.

5. Instale el compresor nuevo, el cual debe ser un repuesto exacto del original y con la misma capacidad. Para instalarlo, primero debe retirar las conexiones "flare" de las líneas de succión y descarga , y cortar el extremo abocinado con un cortatubo. Limpiar cuidadosamente los extremos de los tubos del sistema y del compresor, aproximadamente unos 5 cms. Soldar las líneas de succión y descarga al nuevo compresor, utilizando tan poco fundente como sea posible. Si el compresor tiene enfriador de aceite, se deberá proceder de una manera similar para soldar las líneas.

6. Instale un filtro deshidratador de la capacidad adecuada, de preferencia que tenga válvula de carga. Igualmente, se debe instalar un tubo capilar del diámetro y longitud exactos al que se tenía. Siempre que se quema un compresor, se recomienda cambiar también el capilar; es menos costoso que tratar de limpiar el original. Si el sistema tenía válvula de termo expansión en lugar de capilar, el técnico deberá juzgar si se limpia y se vuelve a usar o si se reemplaza.

7. Conecte el múltiple a las válvulas de acceso, y por la manguera de servicio, presurice el sistema con refrigerante, hasta aproximadamente 25 psig (275 kPa). Mediante el método de su preferencia, revise por si hay fugas; si las hay, es necesario corregirlas.

8. Quite el tanque de refrigerante de la manguera de servicio, y en su lugar, conecte una bomba de vacío para evacuar del sistema el aire y la humedad. Existen dos métodos diferentes para hacer ésto:

Método 1 - Alto vacío. Se hace un vacío absoluto, de por lo menos 500 micrones (29.9 pulg. de mercurio), hasta expulsar totalmente la humedad u otros gases del sistema. Para esto, se requiere una buena bomba de vacío y un vacuómetro de precisión. Los manómetros comunes no dan lecturas precisas y confiables, a nivel de micrones

Método 2 - Triple evacuación. Este método consiste en hacer primero un vacío de 710 mm, Hg manométricos (28 pulg. de mercurio). Después, se rompe el vacío con refrigerante, hasta una presión positiva de aproximadamente 115 kPa (2 psig). Se deja así por aproximadamente una hora y se repite la operación. Se hace vacío por tercera ocasión, hasta 710 mm Hg manométricos (28 pulg. de Hg). Después del tercer vacío, el sistema queda listo para cargarse.

9. Haciendo uso del múltiple, cargue el sistema con la cantidad correcta de refrigerante. Se recomienda mejor sobrecargar ligeramente el sistema, para luego evacuar el excedente.

10. Cierre las válvulas del múltiple, reconecte el circuito eléctrico y arranque el sistema. Retire el múltiple y coloque tapones en las válvulas de acceso.

Quemaduras Leves

A continuación, describiremos el procedimiento para limpiar un sistema de cualquier tamaño, cuando la quemadura ha sido leve. En estos casos, también es necesario realizar las pruebas de acidez y color del aceite. Aunado a lo anterior, también es necesario determinar las causas de la quemadura, y efectuar las correcciones respectivas.

Cuando la quemadura es leve, la mayor parte de los contaminantes se remueven con el cambio de aceite (o compresor); los restantes se eliminan al cambiar el filtro deshidratador de la línea de líquido, o instalando uno si no se tenía. Los procedimientos a seguir son dos, dependiendo si el compresor cuenta con válvulas de servicio o no.

A. Si el compresor no tiene válvulas de servicio. Esto sucede cuando el sistema es pequeño, con compresor hermético, y la cantidad de refrigerante generalmente no justifica el costo del proceso de recuperación. Siga el procedimiento recomendado para sistemas pequeños.

A1. Si se desea salvar el refrigerante, se puede transferir éste a un cilindro frío y vacío, por diferencia de presión. Se debe instalar un deshidratador en la manguera con la que se va a transferir al cilindro. También, si se tiene la facilidad, se puede emplear una máquina de recuperación y reciclado aprobada por ARI y UL, para recuperar la mezcla de aceite y refrigerante. Si no se requiere salvar el refrigerante, deberá descargarse adecuadamente en forma líquida en un lugar ventilado.

NOTA: Cualquiera que sea la elección de los tres casos antes mencionados, si el sistema tiene condensador enfriado por agua, ésta deberá estar circulando cuando se esté descargando el refrigerante, o deberá drenarse totalmente antes de descargar el refrigerante. Esto es con el objeto de evitar que se congele dentro de los tubos y los rompa.

A2. Si el sistema tenía filtro deshidratador, éste deberá retirarse, y en su lugar, deberá instalarse uno nuevo sobredimensionado; es decir, de una capacidad mayor. Si el sistema no tenía filtro deshidratador, deberá instalarse uno en la línea de líquido. En sistemas un poco más grandes, también se deberá instalar un filtro en la línea de succión, cerca del compresor. La válvula de acceso permitirá revisar la caída de presión.

A3. Inspeccione todos los dispositivos de control, tales como válvulas de termo expansión, solenoides, reversibles, retención, tubo capilar, indicador de líquido, etc. Límpielos completamente o reemplácelos, según sea necesario.

A4. Sopleteé el evaporador y el condensador, utilizando nitrógeno. Para el sopleteo, no utilice refrigerante.

A5. Retire el compresor quemado e instale el nuevo. Este deberá ser un repuesto exactamente como el original y con la misma capacidad del que se quemó. Se recomienda instalarle válvulas de acceso en la succión y descarga, las cuales servirán tanto para hacer vacío, cargar refrigerante y medir las presiones. Haga una revisión eléctrica completa.

A6. Presurice ligeramente el sistema con refrigerante y revise que no haya fugas, utilizando para esto un buen detector, ya sea una lámpara de haluro o un detector electrónico. Si no se cuenta con ninguno de estos dos aparatos, la prueba con jabonadura es satisfactoria.

A7. Evacúe el sistema de acuerdo a las recomendaciones del fabricante del equipo. Si no se dispone de ésta, se recomienda el método de la triple evacuación. El compresor nuevo nunca deberá usarse para hacer vacío. Puede emplearse cualquiera de los dos métodos descritos en el punto 8 de sistemas pequeños.

A8. Cargue el sistema con refrigerante de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Es importante instalar un filtro deshidratador en las mangueras, para a través del mismo cargar el refrigerante evacuado del sistema. Si se instaló un filtro deshidratador en la línea de succión, se puede cargar el refrigerante a través del mismo. Agregue el refrigerante adicional que sea necesario.

A9. Ponga el sistema en operación. En sistemas pequeños, la limpieza se lleva a cabo durante la operación y generalmente hasta este paso es suficiente; pero, por seguridad, se recomienda medir la caída de presión a través del filtro deshidratador de la línea de líquido, después de cuatro horas de operación, sin que ésta llegue a rebasar los valores de la tabla 1.17 del capítulo 1. Si la caída de presión está dentro del límite, se deja operar el sistema otras 48 horas y se cambia el filtro deshidratador por el de la medida original, mismo que va a quedar instalado permanentemente.

En sistemas poco más grandes, donde se haya instalado un filtro deshidratador en la línea de succión, además del de la línea de líquido, se revisa la caída de presión a través de ambos, y si ésta no excede los valores recomendados, se deja operar otras 48 horas. Generalmente, se puede considerar que hasta este punto la limpieza se ha completado, por lo que deben cambiarse los filtros deshidratadores por unos nuevos, de la misma capacidad que normalmente use el sistema.

A10. Después de terminado el procedimiento de limpieza, se recomienda revisar nuevamente el sistema en dos semanas, para asegurarse que las condiciones de operación son satisfactorias.

B. Si el compresor tiene válvulas de servicio. El mismo procedimiento que con compresores un poco más grandes, tanto herméticos como semiherméticos, lo cual facilitará más la labor de limpieza.

B1. Si se desea salvar el refrigerante, que es lo más usual, el procedimiento es cerrar las válvulas de servicio del compresor y aislar el refrigerante en el sistema. Retire el compresor quemado.

B2. Instale el compresor nuevo de la misma capacidad que el original y conéctelo eléctricamente. Si es un compresor semihermético y sólo se va a reemplazar el motor, el compresor deberá limpiarse completamente antes de instalar el motor nuevo 31%. Si es posible, instale un filtro deshidratador en la línea de succión, antes del compresor.

B3. Mediante una bomba adecuada, haga vacío únicamente al compresor y al filtro, para evacuar el aire. Se recomienda utilizar el método de la triple evacuación, punto 8 del procedimiento para sistemas pequeños.

B4. Abra las válvulas de servicio del compresor, cierre la válvula de servicio de salida del tanque recibidor, si lo hay, si no, cierre la válvula de paso de la línea de líquido. Esto es con el objeto de recolectar todo el refrigerante en el recibidor (pump down). Como estamos hablando de una quemadura leve, los posibles contaminantes no podrán dañar el compresor durante el breve período que dura esta operación.

B5. Una vez recolectado todo el refrigerante, quedarán en vacío la línea de líquido (desde la válvula cerrada), el evaporador y la línea de succión; con lo que se facilitará la inspección y limpieza o cambio de accesorios, como filtros deshidratadores, el indicador de líquido, la válvula de termoexpansión, válvulas solenoides, de retención, etc.

Los filtros deshidratadores deberán cambiarse, instalando uno sobredimensionado, es decir, de mayor capacidad que el original.

B6. Haga vacío únicamente en la sección que se abrió para cambiar accesorios, utilizando el método de la triple evacuación.

B7. Abra la válvula de paso de la línea de líquido o la del tanque recibidor, y ponga a operar el sistema. La limpieza del sistema se lleva a cabo durante la operación y los contaminantes, si los hay, son removidos por el filtro deshidratador. Observe la caída de presión a través del filtro deshidratador, por un mínimo de 4 horas. Si la caída de presión no excede los valores recomendados en la tabla 1.17 del capítulo 1, deje operar el sistema por 48 horas más, y con esto se considera que la limpieza se ha completado. Cambie el filtro deshidratador de la línea de líquido por uno nuevo del tamaño original, para dejarlo instalado permanentemente.

B8. Después de haber terminado el procedimiento de limpieza, se recomienda revisar nuevamente el sistema en dos semanas, para asegurarse que las condiciones de operación son totalmente satisfactorias.

Quemaduras Severas

Es necesario estar completamente seguro de que se trata de una quemadura severa. Para esto, será necesario haber efectuado las pruebas de olor y color del aceite del

compresor quemado. En quemaduras severas, como ya mencionamos en la sección "Productos de la Quemadura", se genera gran cantidad de contaminantes, por lo que el sistema deberá ser limpiado completamente.

El procedimiento de limpieza a seguir tendrá que adaptarse a cada sistema particular, dependiendo de las circunstancias bajo las cuales haya ocurrido la quemadura. Hay que recordar que si la quemadura sucedió al arrancar el compresor, la mayor parte de los contaminantes quedan dentro del mismo. Si ocurrió lentamente, estando el sistema en operación, entonces los contaminantes pasan a otros componentes. Por otro lado, si el sistema no estaba equipado con filtro deshidratador, los contaminantes fluyen libremente a través del sistema. Si había instalado un filtro deshidratador en la línea de líquido, éste limita la contaminación al compresor, la línea de descarga, el condensador, recibidor y la línea de líquido, facilitando todo ello el trabajo de limpieza.

Otra variable que influye también en la planeación del procedimiento de limpieza, es el tonelaje del sistema. En sistemas de hasta 40 toneladas, la carga de refrigerante es relativamente pequeña; en sistemas de más de 40 toneladas, la carga de refrigerante es grande. Mientras menos carga de refrigerante, menos se diluyen los contaminantes; y como resultado, hay una mayor necesidad de aislar el motocompresor nuevo de todos los materiales dañinos solubles e insolubles, que pudieran causar que se repita la quemadura. En los sistemas grandes, los contaminantes se diluyen en el refrigerante y el aceite, y esto facilita la limpieza. La mayor parte de los contaminantes son atrapados o disueltos por el aceite, por lo que el aceite, se vuelve el principal punto de ataque.

Debido a todas las variantes antes mencionadas, a continuación se recomiendan dos procedimientos generales de limpieza, los cuales van a tener que adaptarse al sistema en particular con que usted tenga que tratar. Las quemaduras severas ocurren comúnmente en motocompresores grandes; por lo que se considera que todos cuentan con válvulas de servicio.

C. Sistemas de pequeño tonelaje. Para sistemas hasta de 40 toneladas, donde la carga de refrigerante es relativamente pequeña, el procedimiento recomendado es el siguiente:

C1. Recupere el refrigerante utilizando una máquina de recuperación y reciclado aprobada por ARI, y recolecte el refrigerante en cilindros limpios y vacíos. Estas máquinas están diseñadas para recuperar y limpiar el refrigerante de cualquier contaminante, dejándolo listo para ser utilizado nuevamente. Todos los contaminantes sólidos, la humedad, el ácido, etc., serán retenidos por los filtros deshidratadores que tienen integrados estas máquinas.

Si el sistema tiene condensador enfriado por agua, o se utiliza para enfriar líquido (chiller), el agua deberá estar circulando en el momento que se esté descargando el refrigerante; o bien, deberá drenarse toda el agua antes de descargar el refrigerante. Esto es con el objeto de evitar que el agua se congele dentro de los tubos y los reviente.

C2. Quite el compresor quemado, teniendo cuidado de no tocar el aceite o el lodo con las manos. Evite inhalar los vapores del ácido.

C3. Retire todos los accesorios tales como: filtros deshidratadores, indicadores de líquido y humedad, válvula de termoexpansión, válvulas solenoides, válvulas de retención, válvulas de paso, etc. Los filtros deshidratadores y el indicador de líquido deben desecharse. Las válvulas deben inspeccionarse, para decidir si se reemplazan o se limpian y se vuelven a usar.

Si los filtros deshidratadores son del tipo recargable, deseche únicamente los bloques desecantes.

C4. Sopleteé las tuberías, el condensador y el evaporador con nitrógeno o aire comprimido. No debe utilizarse refrigerante para este procedimiento.

C5. Instale las válvulas y dispositivos de control, ya sea nuevos o los mismos, después de haberlos limpiados perfectamente.

C6. Instale filtros deshidratadores nuevos en la línea de líquido y en la línea de succión. El de la línea de líquido debe ser sobredimensionado; es decir, de una medida mayor que el original , y de preferencia lo más grande que se pueda, tanto como lo permitan el espacio y el diámetro de la línea. El de la línea de succión puede ser del tamaño recomendado, y debe instalarse tan cerca como sea posible del compresor. Si son de tipo recargable, únicamente cambie los bloques desecantes.

Los materiales desecantes de los filtros retienen todo tipo de contaminantes, tanto solubles como insolubles. El filtro de succión evitará que lleguen al compresor partículas mayores de 5 micrones, que estén aun en el sistema, y además, ayudará a completar la limpieza de una sola vez.

También, deberá instalarse un buen indicador de líquido y humedad, inmediatamente después del filtro deshidratador de la línea de líquido. Este indicará si el filtro deshidratador o los bloques desecantes deberán cambiarse, para reducir el contenido de humedad del sistema.

C7. Si el sistema cuenta con separador de aceite, lo más probable es que el aceite que contenga este contaminado, y que sus partes estén impregnadas de carbón, lodo barniz, etc.

Si el separador de aceite es del tipo desarmable, deberá destaparse y lavarse perfectamente. Si es de tipo sellado, deberá cambiarse por uno nuevo de la misma capacidad. En cualquiera de los dos casos, se le deberá de agregar su carga inicial de aceite limpio, de acuerdo al instructivo.

C8. Instale el compresor nuevo . Este motor de reemplazo deberá ser de la misma capacidad del original. Si es semihermético de motor reemplazable, el compresor deberá limpiarse perfectamente, antes de instalar el motor nuevo. Esto significa no solamente quitar los depósitos de carbón y otros residuos de la quemadura del compartimiento del motor, sino que también se deben limpiar las cabezas y las válvulas de los cilindros; así como pistones, anillos y cojinetes.

No existen solventes de acción rápida para eliminar los depósitos de carbón, goma y barnices. La única solución es la limpieza mecánica o el cambio de partes. Recuerde que la verdadera limpieza, viene después de poner el sistema de nuevo en operación.

Conecte eléctricamente el motocompresor y haga una revisión completa de todos los componentes eléctricos.

C9. Es conveniente colocar una pequeña trampa de aceite, para obtener muestras fácilmente y hacer evaluaciones posteriores. Una forma de hacer una trampa en la línea de succión es utilizando una "T" y una válvula de acceso en el fondo. Otro método es, construir una trampa con un tubito de cobre de 4 cm de largo, válvulas y conexiones para mangueras, de tal forma que el vapor de la descarga pase a través de ésta y regrese a la succión del compresor. En ambas trampas se colectará, en muy poco tiempo, suficiente aceite para efectuar el análisis requerido. Para efectuar la prueba de acidez, se requieren aproximadamente 15 ml de aceite.

C10. Conecte un múltiple a las válvulas de servicio del compresor, y a través de la manguera de servicio, presurice el sistema hasta aproximadamente 30 psig (310 kPa); revise que no haya fugas. Si no se encontraron fugas, entonces se prueba de nuevo, pero ahora a la presión normal de condensación del sistema; por ejemplo, a 135 psig (1,030 kPa) cuando se usa R-12. Si no se conoce la presión de condensación, nunca presurice a más de 170 psig (1,275 kPa).

Si se va a probar contra fugas con un detector electrónico o con una lámpara de haluro, entonces hay que presurizar el sistema con refrigerante o con una mezcla de refrigerante y nitrógeno (o bióxido de carbono). Si la prueba de fugas se va a efectuar con jabón, entonces se puede utilizar únicamente nitrógeno o bióxido de carbono.

NOTA: Estos gases deberán usarse solamente con un regulador de presión y una válvula de seguridad ajustada a 1,300 kPa (175 psig).

C11. Una vez que se tiene la seguridad de que no existen fugas, el siguiente paso es hacer un buen vacío en el sistema completo, empleando para ello una buena bomba de vacío. Nunca debe emplearse el compresor para hacer vacío.

Con la evacuación del sistema se eliminan todos los gases no condensables y la humedad. Normalmente, se utiliza uno de los dos métodos recomendados para este propósito.

Estos métodos son: el de alto vacío y el de triple evacuación. A continuación, se describen brevemente cada uno de estos métodos.

Método de Alto Vacío

Para hacer un alto vacío, se requiere una bomba para alto vacío o de doble etapa, y un vacuómetro de precisión. Se conecta la bomba a la manguera de servicio del múltiple, y el vacuómetro a la bomba de vacío; se abren las dos válvulas para hacer vacío simultáneamente por los lados de alta y baja, y se arranca. Se deja trabajando varias horas hasta que se alcance una presión absoluta de 500 micrones (0.07 kPa). En un manómetro común, ésta presión equivale a 29.9 pulgadas de mercurio.

A esta presión se han eliminado todos los gases y casi toda la humedad en forma de vapor. Se cierran las válvulas del múltiple, se apaga la bomba de vacío y se retira. Si se desea comprobar la hermeticidad del sistema, se puede dejar así en vacío por algunas horas con el vacuómetro conectado, sin que haya variación en la presión.

Método de Triple Evacuación.

Este método se emplea cuando no se tiene una bomba de doble etapa, solamente de una etapa.

Se hace un vacío a una presión absoluta de por lo menos 74,200 micrones (9.8 kPa), que en un manómetro común equivale a 27 pulgadas de mercurio. Se rompe el vacío con vapor de refrigerante hasta una presión positiva de 115 KPa (2 psig), y se deja aproximadamente una hora. Después de esto, se repite toda la operación y luego se hace vacío por tercera y última vez, pero en esta ocasión al romper el vacío, es para hacer la carga completa de refrigerante.

C12 Cargue el sistema con el refrigerante adecuado, conforme a las instrucciones del fabricante. Si no se dispone de las instrucciones, puede emplearse cualquier método que asegure la carga exacta de refrigerante.

Si se va a usar el refrigerante recuperado, cárguelo al sistema a través del filtro deshidratador.

C13. Arranque el compresor y comience a operar el sistema. Espere unos minutos a que se estabilice, y después, verifique el sobrecalentamiento de la válvula de termo expansión y los controles. Ajuste si es necesario.

Registre la caída de presión inicial a través de los filtros deshidratadores. Esto es de suma importancia, ya que la caída de presión dará la pauta para el cambio de los filtros deshidratadores o de los bloques desecantes. La caída inicial de presión no debe sufrir incremento, hasta que los bloques desecantes estén cargados en más del 50% con contaminantes.

La limpieza del sistema se lleva a cabo durante la operación del mismo. La acción solvente del refrigerante y la afinidad del aceite por los contaminantes, atraparán toda la suciedad y limpiarán las partes incrustadas con carbón, lodo, barniz y otros productos de la quemadura. Al pasar el aceite y el refrigerante por los filtros deshidratadores, se limpian dejando toda la contaminación en ellos. La acumulación gradual de estos contaminantes provoca que vaya aumentando la caída de presión a través de los filtros deshidratadores. Esta caída de presión debe ser monitoreada durante las primeras 4 horas de operación. Cuando la caída de presión rebase los valores máximos que se muestran en la tabla 1.17 del capítulo 1, debe cambiarse el filtro deshidratador o los bloques desecantes.

C14. Muchos técnicos consideran que hasta este punto, la limpieza se ha completado; sin embargo, para hacer el mejor trabajo posible, se debe continuar hasta asegurarse que el sistema está limpio.

Entre las 8 y 24 horas de operación, tome una muestra de aceite y analícela, con un probador de acidez observando el color. Si el aceite está limpio y libre de ácido, la limpieza se ha completado. Si el aceite está sucio o ácido, cambie los filtros deshidratadores o los bloques desecantes. Si se considera necesario, puede también cambiarse el aceite del compresor; aunque la recomendación es que cada que se cambie el filtro deshidratador (o los bloques desecantes) de la línea de succión, también se cambie el aceite.

Después de otras 24 horas de operación, deberá tomarse otra muestra del aceite y analizarla, para asegurarse que el nivel de ácido ha disminuido abajo de 0.05.

Cuando se haga el último cambio de filtros deshidratadores, deberán instalarse los del tamaño que normalmente usa el sistema, dejándolos instalados permanentemente.

NOTA: Las muestras de aceite que se tomen para analizarlas, deben ser representativas del aceite circulando en el sistema, por lo que puede ser necesario desechar la primer muestra de aceite que se saque de la trampa.

C15. Simultáneamente a las revisiones de caídas de presión y de nivel de ácido, también deberá revisarse el contenido de humedad del sistema; ya que es otro parámetro para determinar el cambio de filtros deshidratadores o bloques desecantes.

C16. Hasta este punto, se puede tener la seguridad de que el sistema está completamente limpio. Para asegurarse que las condiciones de operación son satisfactorias, se recomienda revisar el sistema nuevamente en dos semanas.

D. Sistemas de Gran Tonelaje. En sistemas arriba de 40 toneladas, la cantidad de refrigerante es grande y amerita su recuperación. Si el refrigerante se va a recuperar utilizando una máquina de recuperación y reciclado, entonces el procedimiento de limpieza que deberá seguirse es el anterior (de C1 a C16). Si no se va a utilizar la máquina de recuperación y reciclado para recuperar el refrigerante del sistema, entonces el procedimiento a seguir es el siguiente:

D1. Cierre las válvulas de servicio del motocompresor quemado, para aislar el refrigerante dentro del sistema.

D2. Retire el motocompresor quemado e instale el nuevo. Tenga cuidado de no tocar el aceite o el lodo con las manos y evite inhalar los vapores de ácido. Este motocompresor de reemplazo deberá ser de la misma capacidad del original. Si es semihermético de motor reemplazable, el compresor deberá limpiarse perfectamente antes de instalar el motor nuevo. Esto significa no solamente quitar los depósitos de carbón y otros residuos de la quemadura del compartimiento del motor, sino que también se deben limpiar las cabezas y las válvulas de los cilindros, así como pistones, anillos y cojinetes.

No hay solventes de acción rápida para eliminar los depósitos de carbón, goma y barnices. La única solución es la limpieza mecánica o el cambio de partes. Recuerde que la verdadera limpieza, viene después de poner el sistema nuevamente en operación.

Conecte eléctricamente el motocompresor y haga una revisión completa de todos los componentes eléctricos.

D3. Instale un múltiple en las conexiones de servicio de las válvulas de succión y descarga del compresor. Conecte la manguera de servicio del múltiple a una bomba de vacío, abra las dos válvulas del múltiple y arranque la bomba. De esta manera, se hará vacío únicamente en el compresor, eliminándole todo el aire y la humedad. Es conveniente utilizar el método de la triple evacuación, rompiendo el vacío en cada ocasión con el mismo refrigerante que hay en el sistema, a una presión positiva de 115 KPa (2 psig). Es importante recordar que se debe agregar la cantidad correcta de aceite limpio al motocompresor nuevo. Esto se puede hacer por medio de una bomba para cargar aceite, o succionándolo en una de las ocasiones que se haga vacío al compresor, a través de la manguera de servicio del múltiple.

D4. El siguiente paso es recolectar todo el refrigerante del sistema en el tanque recibidor y el condensador (pump down). Para esto, se cierran las válvulas del múltiple, se abren las válvulas de servicio del compresor y se arranca. Posteriormente, se cierra la válvula de paso de la línea de líquido, la que está antes del filtro deshidratador. Si el sistema no cuenta con filtro deshidratador en la línea de líquido ni válvula de paso, entonces se cierra la válvula de servicio a la salida del tanque recibidor. De esta manera, el compresor vaciará (succionará) todo el refrigerante contenido en la parte del sistema, comprendida desde la válvula que se cerró en la línea de líquido, hasta la válvula de succión del compresor.

Los contaminantes que existan en esta parte del sistema que se están vaciando, no dañarán el compresor ya que esta operación de vaciado (pump down) sólo dura unos minutos.

D5. Una vez hecho lo anterior, se podrá con toda facilidad instalar filtros deshidratadores en la línea de líquido y en la de succión, si es que no los había. Si ya existen, deben desecharse cambiándolos por nuevos. En cualquier caso, el filtro deshidratador que se instale en la línea de líquido debe ser sobredimensionado, es decir, de mayor tamaño que el lleva normalmente, tan grande como sea posible. En la línea de succión se debe instalar uno de la capacidad que normalmente requiere ese sistema.

Si los filtros deshidratadores que tiene originalmente el sistema son del tipo recargable, entonces deberán cambiarse únicamente los bloques desecantes.

D6. Deben revisarse también todos los demás accesorios tales como la válvula de termo expansión, válvulas solenoi-

des, etc.; si están en buen estado, deben de limpiarse y volver a instalarse. Si están dañados, deben ser cambiados. En el caso del indicador de líquido, puesto que se trata de una quemadura severa, el ácido daña el elemento indicador, por lo que se debe desechar e instalar uno nuevo.

D7. Es conveniente colocar una pequeña trampa de aceite, para obtener muestras fácilmente y hacer evaluaciones posteriores. Una forma de hacer una trampa en la línea de succión es utilizando una "T" y una válvula de acceso en el fondo. Otro método es, construir una trampa con un tubito de cobre de 4 cms de largo, válvulas y conexiones para mangueras, de tal forma que el vapor de la descarga pase a través de ésta y regrese a la succión del compresor. En ambas trampas se colectará, en muy poco tiempo, suficiente aceite para efectuar el análisis requerido. Para efectuar la prueba de acidez, se requieren aproximadamente 15 ml de aceite.

D8. Abra la válvula de la línea de líquido. Arranque el compresor y comience a operar el sistema. Espere unos minutos a que se estabilice, y después verifique el sobrecalentamiento de la válvula de termoexpansión y los controles. Ajuste si es necesario.

Registre la caída de presión inicial a través de los filtros deshidratadores o de los bloques desecantes. No debe haber incremento en la caída de presión inicial, hasta que los bloques desecantes estén cargados en más del 50% con contaminantes.

La limpieza del sistema se lleva a cabo durante la operación del mismo. La acción solvente del refrigerante y la afinidad del aceite por los contaminantes, atraparán toda la suciedad y limpiarán las partes incrustadas con carbón, lodo, barniz y otros residuos de la quemadura. Al pasar el aceite y el refrigerante por los filtros deshidratadores, se limpian dejando toda la contaminación en ellos. La acumulación gradual de estos contaminantes provoca que vaya aumentando la caída de presión a través de los filtros deshidratadores. Esta caída de presión debe ser monitoreada durante las primeras 4 horas de operación. Cuando la caída de presión rebase los valores máximos mostrados en la tabla 1.17 del capítulo 1, se debe reemplazar el filtro deshidratador o los bloques desecantes.

D9. Si el sistema cuenta con separador de aceite, lo más probable es que el aceite que contiene esté contaminado y que sus partes estén impregnadas de carbón, lodo barniz, etc.

Si el separador de aceite es del tipo desarmable, se deberá destapar y lavar perfectamente. Si es del tipo sellado, deberá reemplazarse por uno nuevo de la misma capacidad. En cualquiera de los dos casos, se le deberá de agregar su carga inicial de aceite limpio de acuerdo al instructivo.

D10. Muchos técnicos consideran que hasta este punto la limpieza se ha completado; sin embargo, para hacer el mejor trabajo posible, se debe continuar hasta asegurarse que el sistema está limpio.

Entre las 8 y 24 horas de operación, tome una muestra de aceite y analícela con un probador de acidez observando el color. Si el aceite está limpio y libre de ácido, la limpieza se ha completado. Si el aceite está sucio o ácido, cambie los filtros deshidratadores o los bloques desecantes. Si se considera necesario, puede también cambiarse el aceite del compresor; aunque la recomendación es que cada que se cambie el filtro deshidratador (o los bloques desecantes) de la línea de succión, también se cambie el aceite.

Después de otras 24 horas de operación, deberá tomarse otra muestra del aceite y analizarla, para asegurarse que el nivel de ácido ha disminuido abajo de 0.05.

Cuando se haga el último cambio de filtros deshidratadores, deberán instalarse los del tamaño que normalmente usa el sistema, dejándololos instalados permanentemente.

NOTA: Las muestras de aceite que se tomen para analizarlas, deben ser representativas del aceite circulando en el sistema, por lo que puede ser necesario desechar la primer muestra de aceite que se saque de la trampa.

D11. Simultáneamente a las revisiones de caídas de presión y de nivel de ácido, también deberá revisarse el contenido de humedad del sistema; ya que es otro parámetro para determinar el cambio de filtros deshidratadores o bloques desecantes.

D12. Hasta este punto, se puede tener la seguridad de que el sistema está completamente limpio. Para asegurarse que las condiciones de operación son satisfactorias, se recomienda revisar el sistema nuevamente en dos semanas.

Capítulo 12

REFRIGERANTES

Introducción

En este capítulo, se aprenderá cómo analizar las propiedades de un refrigerante para transportar el calor. Existe una cantidad grande de refrigerantes actualmente utilizados en aplicaciones comerciales e industriales. Cada refrigerante tiene propiedades que difieren de otros, tales como: puntos de ebullición, calor específico, calor latente, densidad y otros factores que afectan la habilidad del refrigerante para transferir el calor.

El mantenimiento efectivo de cualquier sistema de refrigeración mecánica, depende grandemente de la comprensión que se tenga de las propiedades del refrigerante. La dificultad para resolver un problema, se torna más fácil, cuando se sabe cómo reacciona el refrigerante a los cambios de temperatura y de presión. El comportamiento del refrigerante frecuentemente es la clave para detectar el origen del problema.

Definición

De manera general, un refrigerante es cualquier cuerpo o substancia que actúe como agente de enfriamiento, absorbiendo calor de otro cuerpo o substancia. Desde el punto de vista de la refrigeración mecánica por evaporación de un líquido y la compresión de vapor, se puede definir al refrigerante como el medio para transportar calor desde donde lo absorbe por ebullición, a baja temperatura y presión, hasta donde lo rechaza al condensarse a alta temperatura y presión.

Los refrigerantes son los fluidos vitales en cualquier sistema de refrigeración mecánica. Cualquier substancia que cambie de líquido a vapor y viceversa, puede funcionar como refrigerante, y dependiendo del rango de presiones y temperaturas a que haga estos cambios, va a tener una aplicación útil comercialmente.

Existe un número muy grande de fluidos refrigerantes fácilmente licuables; sin embargo, sólo unos cuantos son utilizados en la actualidad. Algunos se utilizaron mucho en el pasado, pero se eliminaron al incursionar otros con ciertas ventajas y características que los hacen más apropiados. Recientemente, se decidió descontinuar algunos de esos refrigerantes antes del año 2000, tales como el R-11, R-12, R-113, R-115, etc., debido al deterioro que causan a la capa de ozono en la estratósfera. En su lugar, se van a utilizar otros refrigerantes como el R-123, el R-134a y algunas mezclas ternarias (ver capítulo 9). Los grandes fabricantes de refrigerantes, siguen trabajando en el desarrollo de nuevos productos.

Historia de los Refrigerantes

La práctica de la refrigeración, probablemente ha existido desde la época de las cavernas. Con frecuencia, en la historia se menciona el uso de hielo y nieve naturales para fines de enfriamiento. Los chinos, y después los romanos, los usaban para enfriar sus bebidas. En algunos lugares donde sólo tienen hielo en el invierno, lo almacenaban en fosos para usarlo en el verano. En lugares desérticos donde no disponían de hielo o nieve en ninguna época del año, como en Egipto, se utilizaba la evaporación del agua para el enfriamiento de bebidas, y hasta algunos dispositivos ingeniosos para hacer la estancia más confortable.

El agua fue el primer refrigerante, con una larga historia de uso, continuando hasta nuestra época. Con el paso del tiempo, se han hecho mejoras en cuanto a su manejo y almacenamiento, pero aún se utiliza el hielo natural por todo el mundo. El uso histórico y fundamental del hielo, ha sido reconocido en una unidad de refrigeración: la tonelada de refrigeración, la cual se define como la cantidad de calor que se requiere para fundir dos mil libras de hielo en 24 hrs.

En refrigeración se dio un gran paso adelante, allá por el año 1600, cuando se descubrió que una mezcla de hielo con sal, producía temperaturas más bajas que el hielo solo. En cierta manera, ésta fue la primer mejora sobre la naturaleza en el campo de la refrigeración.

Hacia finales del siglo XVIII, la inventiva del hombre se había dirigido hacia la producción de frío en el momento y tiempo que se deseara. Se desarrollaron máquinas para disminuir la presión del vapor del agua y acelerar su evaporación. También recibió considerable atención el

arte de producir frío por la liberación de aire comprimido. Durante la primera parte del siglo XIX, se desarrollaron máquinas para la compresión de vapor y se probaron muchos fluidos como refrigerantes, entre los que sobresalieron el amoníaco, bióxido de carbono, bióxido de azufre, cloruro de metilo y en cierta medida, algunos hidrocarburos. A finales del siglo, la refrigeración mecánica estaba firmemente establecida.

Por muchos años (desde 1876), al amoníaco se le han encontrado excelentes propiedades como refrigerante, y desde entonces, ha sido el refrigerante más utilizado comúnmente. Aún en la actualidad, ha demostrado ser satisfactorio, sobre todo en refrigeración industrial en grandes plantas.

En las décadas siguientes, la atención fue orientada hacia el mejoramiento del diseño mecánico y la operación de los equipos. A principios del siglo XX, se desarrollaron las unidades domésticas y los refrigerantes en uso en ese tiempo, padecían de una o más propiedades riesgosas. Algunos eran tóxicos, otros inflamables, y otros más operaban a muy altas presiones; por lo que para estos equipos más pequeños, los ingenieros se enfocaron al refrigerante de más baja presión de operación: el bióxido de azufre. Este refrigerante tiene algunas fallas serias, como la formación de ácido sulfuroso cuando se combina con el agua; es muy corrosivo y ataca las partes del sistema. Adicional a esto, cuando se fuga aún en pequeñísimas cantidades, causa tos violenta y ahogamiento. Estas cualidades indeseables, obligaron a los fabricantes a hacer las unidades menos propensas a fugas y a tener precaución de secarlas, logrando reducir los requerimientos de servicio hasta un punto, donde las desventajas del refrigerante no eran tan grandes. Literalmente, se construyeron millones de esas unidades que utilizaban bióxido de azufre, las cuales operaban satisfactoriamente.

En 1928, el vicepresidente de una importante compañía de automóviles, C.F. Kettering, decidió que la industria de la refrigeración, si quería llegar a alguna parte, necesitaba un nuevo refrigerante seguro y estable, que no fuera tóxico, corrosivo ni inflamable, y que tuviera las características necesarias para poder usarse en equipos compactos. Kettering solicitó a Thomas Midgely que explorara la posibilidad de desarrollar dicho producto. Un grupo de químicos se pusieron manos a la obra e iniciaron la búsqueda de tal refrigerante. Sabían que las combinaciones de flúor eran muy estables, así que, experimentaron con algunos de los compuestos químicos comunes de carbono, cloro e hidrógeno, sustituyendo átomos de cloro e hidrógeno por átomos de flúor, y en poco tiempo, lograron sintetizar el diclorodifluorometano. Demostraron que no era inflamable y que tenía una toxicidad inusualmente baja.

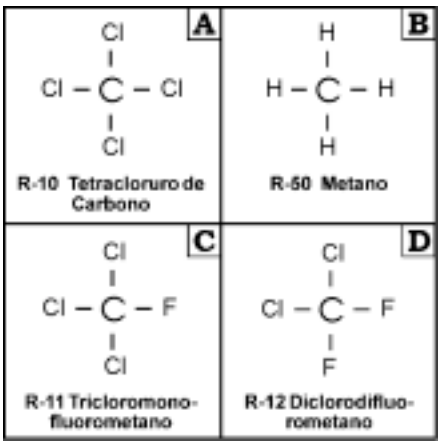


Figura 12.1 - Fórmulas estructurales del R10, R-50, R-11 y R-12.

Los experimentos consistieron en reordenar la molécula de tetracloruro de carbono. En la figura 12.1-A, se muestra la fórmula estructural de la molécula de tetracloruro de carbono, usada para fabricar algunos de los refrigerantes halogenados. Comparándola con la molécula de metano en la figura 12.1-B, se ve que las dos son similares, excepto que el metano tiene 4 átomos de hidrógeno y el tetracloruro tiene 4 átomos de cloro. Reemplazando un átomo de cloro por un átomo de flúor, se tiene otro compuesto más estable llamado tricloromonofluorometano o R-11, como se muestra en la figura 12.1-C. Si se reemplazan dos átomos de cloro por dos de flúor, se obtiene el diclorodifluorometano o R-12, como se muestra en la figura 12.1-D.

En 1929 se le solicitó a una compañía química, que ayudara a desarrollar un proceso comercial práctico para la fabricación del nuevo refrigerante. Con este desarrollo nació la industria de los refrigerantes halogenados, ninguno de los cuales existía antes. El primero de ellos fue el Freón 12, que durante muchos años, fue el más popular (ver figura 12.2). De allí siguieron el Freón 11, el Freón 21, el Freón 114, y el Freón 22, cada uno con sus características especiales.

Sin embargo, el desarrollo de los refrigerantes Freón no tuvo una recepción entusiasta. Las comisiones de seguridad eran prudentes en sus sanciones; los técnicos de servicio estaban inconformes respecto a las fugas, porque no los podían detectar con el olfato; los contratistas los rechazaban porque costaban más que el bióxido de azufre, y algunos de los fabricantes líderes, se rehusaban a diseñar el equipo de refrigeración que se ajustara a las propiedades termodinámicas de estos refrigerantes.

Gradualmente, surgieron diseños que usaban pequeñas cantidades de estos refrigerantes costosos. Se diseñaron compresores, evaporadores, condensadores e intercambiadores; se construyeron unidades paquete con un mínimo de uniones, y cada unión estaba cuidadosamente diseñada y fabricada para eliminar fugas. Se utilizaron nuevos materiales que no podían ser utilizados con seguridad con los antiguos refrigerantes, los técnicos se volvieron expertos en la detección de fugas, y el Freón arribó como un refrigerante aceptado. El resultado fue que los freones eran virtualmente la base de todas las unidades pequeñas, y era usado también en trabajos grandes de aire acondicionado.

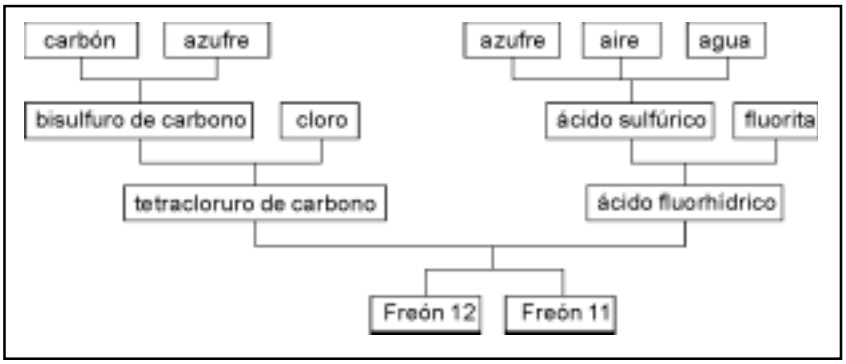


Figura 12.2 - Fabricación del Freón 12 y Freón 11.

Con el tiempo, se fueron desarrollando otros compuestos halogenados y creció la familia de los freones. Además de refrigerantes, se les encontraron otras aplicaciones, tales como propelentes, solventes, extinguidores de fuego, agentes espumantes y otros. Algunos años más tarde, otras compañías comenzaron a fabricar los compuestos halogenados con otros nombres comerciales.

Para la década de los setenta, ya había sospechas de que estos compuestos afectaban la capa de ozono de la atmósfera, pero no se podía demostrar, y tal aseveración no era aceptado por los fabricantes. Al principio de los ochenta, estudios hechos por científicos de la NASA por medio de satélites, descubrieron un "adelgazamiento" de la capa de ozono en la Antártida, y estudios posteriores, comprobaron que el deterioro del ozono estratosférico era debido a la emisión de compuestos halogenados, principalmente los que contienen bromo y cloro (ver capítulo 9).

Después de varios años de negociaciones, se llevó a cabo un acuerdo internacional en 1989 en la ciudad de Montreal, Canadá, por lo que se le conoce como el Protocolo de Montreal. Este protocolo es un esfuerzo unido de gobiernos, científicos, industrias y grupos ecologistas coordinados por la UNEP (Programa Ambiental de las Naciones Unidas). Este acuerdo consistió en regular la producción y uso de los clorofluorocarbonos (CFC) de manera gradual, hasta su total defasamiento antes del año 2000, partiendo de la base de los niveles de producción mundial que había en 1986.

Mientras tanto, los fabricantes de refrigerantes trabajaban en la búsqueda de productos nuevos para substituir los que iban a desaparecer. Rápidamente desarrollaron compuestos para substituir al R-11 y al R-12, que tienen propiedades termodinámicas muy similares, pero que no afectan la capa de ozono. Estos refrigerantes son el R-123 y el R-134a, que en la actualidad ya se están produciendo comercialmente, y algunos fabricantes de equipo original ya los están incluyendo en sus unidades. Dichos productos pueden utilizarse también en equipos usados que actualmente funcionan con R-11 o R-12, haciendo algunas modificaciones al compresor, tales como utilizar aceite sintético en lugar de aceite mineral y cambiar algunos sellos o empaques, por otros de diferente material.

Se desarrollaron también refrigerantes como el R-124 y el R-125, para substituir al R-114 y algunas aplicaciones del R-502, respectivamente. Otras alternativas aceptables para reemplazar al R-12 y al R-502 durante el período de transición, hasta el defasamiento total, son las mezclas ternarias. Las mezclas ternarias, son mezclas azeotrópicas de tres diferentes refrigerantes de entre los siguientes: 22, 124, 125, 134a, 152a y propano. Estas mezclas tienen características muy similares a los clorofluorocarbonos, pero con un impacto ambiental grandemente reducido y que requieren un mínimo de cambios en los equipos, comparados con otros refrigerantes alternos.

La historia se repite de manera similar, como a principios de la década de los años treinta, cuando se introdujo comercialmente el R-12. La introducción de los nuevos refrigerantes va a requerir de información y capacitación tanto de técnicos, contratistas y fabricantes de equipo original. Su costo actualmente es entre 2.5 y 4 veces más, pero a diferencia de la primera vez, en esta ocasión son la única alternativa, y además, existe la conciencia ecológica, lo que hace que tengan que aceptarse estos nuevos productos.

Para poder utilizar los en sistemas que actualmente están trabajando, va a ser necesario rehabilitar el compresor del sistema en lo que se refiere a cambiar algunos materiales como sellos o empaques, ya que los que son compatibles con el R-11 y el R-12, no lo son con el R-123 y el R-134a. Además, para estos refrigerantes sustitutos se tiene que utilizar aceites sintéticos a base de polialquilenglicol (PAG), de poliol-éster (POE), o de Alquil Benceno.

A continuación, se mencionan algunos hechos históricos en el desarrollo de los refrigerantes y la industria de la refrigeración.

1600 - Se encontró que una mezcla de nieve y sal, bajaba la temperatura del agua lo suficiente para congelarla.
1775 - Un profesor de la Universidad de Edinburgo, utilizó una bomba de aire para reducir la presión y bajar la temperatura de ebullición del agua.
1810 - Sir John Leslie, en Escocia, utilizó ácido sulfúrico para absorber vapor de agua y ayudar a mantener una baja presión baja.
1834 - La primer máquina refrigeradora práctica que usaba el ciclo de refrigeración, fue construida por Jacob Perkins, en Londres, utilizando éter como refrigerante.
1845 - Se usó la expansión de aire comprimido para congelar agua.
1850 - Se desarrolló una máquina de absorción práctica y pequeña por E. Carré, utilizando agua y ácido sulfúrico.

1857 - James Harrison aplicó con éxito la máquina de Perkins para producir refrigeración en cervecerías, y para enfriar carne y productos perecederos, usando éter como refrigerante.
1859 - Ferdinard Carré construyó un sistema de absorción con amoníaco y agua.
1869 - Por estas fechas ya había en existencia varias plantas de hielo.
1873 - El Dr. Carl Linde introdujo el compresor de vapor de amoníaco.
1876 - Raoul Pictet construyó un compresor de bióxido de azufre.
1876 - Para embarcar carne de Argentina a Francia, se utilizó éter de metilo.
1877 - Se iniciaron trabajos de desarrollo en maquinaria de refrigeración por aire, lo que condujo a los compresores Bell-Coleman.
1880/1890 - Se utilizaban exitosamente varios refrigerantes diferentes, principalmente el cloruro de metilo y bióxido de carbono.
1890 - Se desarrolló la demanda de unidades pequeñas para uso doméstico y comercial.
1900 - Apareció el motor eléctrico.
1930 - En una junta de la sociedad química americacana, Midgely y Henne anunciaron a un diario el desarrollo de los refrigerantes halogenados.
1931 - El freón 12 es lanzado como un refrigerante comercial.
1931 - El 24 de noviembre, la patente original de los refrigerantes halogenados fue expedida a Midgely, Henne y Mc Nary.
1932 - Introducción comercial del freón 11.
1933 - Introducción comercial del freón 114.
1934 - Introducción comercial del freón 113.
1936 - Introducción comercial del freón 22. Sin embargo, no se desarrolló a grande escala, sino hasta después de la segunda guerra mundial.
1939 - Introducción comercial del freón 21.
1943 - Se desarrolló el uso del freón 11 y 12, como propelentes de aerosol, por Goodhue y Sullivan.
1945 - Introducción comercial del freón 13.
1950 - Introducción comercial del R-500.
1952 - La empresa Allied Chemical Corp. inicia la fabricación de refrigerantes halogenados.
1955 - Introducción comercial del freón 14.
1956 - Du Pont publicó un sistema para la numeración de refrigerante de uso general.
1957 - Pennsalt Chemicals Corp. inició la fabricación de refrigerantes halogenados.
1958 - Union Carbide Corp. inició la fabricación de refrigerantes halogenados.
1961 - Introducción comercial del freón 502.
1961 - Introducción comercial del freón C-318 como propelente para alimentos, aunque ya había sido usado como refrigerantes unos años antes.
1963 - Kaiser Aluminum and Chemical Co., inició la fabricación de refrigerantes halogenados.
1965 - Racón Inc. inició la fabricación de refrigerantes halogenados.
1974 - Los científicos Molina y Rowland, presentaron la hipótesis de que algunos gases emanados desde la tierra deterioraban la capa de ozono; lo que fue confirmado años más tarde por la NASA.
1989 - Se llevó a cabo el Protocolo de Montreal, donde se decidió defasar los compuestos que deterioran la capa de ozono, entre ellos el R-11 y el R-12.
1989 - En plantas piloto a nivel experimental, los principales fabricantes de refrigerantes desarrollaron compuestos para substituir los refrigerantes que habrán de desaparecer. Entre los nuevos sustitutos estaban el R-134a, el R-123, el R-141b, el R-124 y el R-125.
1990 - Se desarrollaron mezclas zeotrópicas para utilizarlas como refrigerantes, en los equipos que estaban actualmente operando con R-12, R-500 y R-502.
1991 - Se introdujeron comercialmente los refrigerantes R-134a, R-123 y varias mezclas zeotrópicas.

Identificación de Refrigerantes

Los refrigerantes se identifican por números después de la letra R, que significa "refrigerante". El sistema de identificación ha sido estandarizado por la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). Es necesario estar familiarido con los números, así como con los nombres de los refrigerantes. En la tabla 12.3, aparecen los refrigerantes más comunes. Cabe mencionar que las mezclas zeotrópicas, son refrigerantes transitorios que se desarrollaron para substituir al R-22 y al R-502, aunque algunas de estas, van a permanecer como sustitutos de estos refrigerantes.

Requerimientos de los Refrigerantes

Para que un líquido pueda ser utilizado como refrigerante, debe reunir ciertas propiedades, tanto termodinámicas como físicas. El refrigerante ideal, sería aquél que fuera capaz de descargar en el condensador todo el calor que absorba del evaporador, la línea de succión y el compresor. Desafortunadamente, todos los refrigerantes regresan al evaporador arrastrando una cierta porción de calor, reduciendo la capacidad del refrigerante para absorber calor en el lado de baja.

Cuando se piensa cuidadosamente en este proceso, vienen a nuestra mente muchas preguntas: ¿Por qué los refrigerantes hierven a baja temperatura? ¿Cuánto calor se absorbe al hervir el refrigerante? ¿Qué hace realmente el compresor al refrigerante al aumentarle su presión y temperatura? ¿En cuánto se aumentan? ¿Qué causa realmente que el vapor se condense a una temperatura más alta? ¿Cómo es rechazado el calor? ¿Cuánto calor es rechazado?, y así sucesivamente.

Estas son la clase de preguntas a que se enfrenta uno en los trabajos de refrigeración. Si su trabajo es diseño de componentes y equipos, o mantener un sistema trabajando sin problemas, lo primero que debe saber es acerca del refrigerante dentro del sistema. Por ejemplo, un sistema

No.	NOMBRE QUIMICO	FORMULA QUIMICA
	Serie Metano	
10	Tetraclorometano (tetracloruro de carbono)	CCl_4
11	Tricloromonofluorometano	CCl_3F
12	Diclorodifluorometano	CCl_2F_2
13	Clorotrifluorometano	$CClF_3$
20	Triclorometano (cloroformo)	$CHCl_3$
21	Diclorofluorometano	$CHCl_2F$
22	Clorodifluorometano	$CHClF_2$
23	Trifluorometano	CHF_3
30	Diclorometano (cloruro de metileno)	CH_2Cl_2
40	Clorometano (cloruro de metilo)	CH_3Cl
50	Metano	CH_4
	Serie Etano	
110	Hexacloroetano	CCl_3CCl_3
113	1,1,2-triclorotrifluoroetano	CCl_2FCClF_2
115	Cloropentafluoroetano	$CClF_2CF_3$
123	2,2-Dicloro - 1,1,1-Trifluoroetano	$CHCl_2CF_3$
134a	1,1,1,2-Tetrafluoroetano	CH_2FCF_3
141b	1,1-Dicloro-1-fluoroetano	CH_3CCl_2F
150a	1,1-Dicloroetano	CH_3CHCl_2
152a	1,1-Difluoroetano	CH_3CHF_2
160	Cloroetano (cloruro de etilo)	CH_3CH_2Cl
170	Etano	CH_3CH_3
	Hidrocarburos	
290	Propano	$CH_3CH_2CH_3$
600	Butano	$CH_3CH_2CH_2CH_3$
600a	2-Metilpropano (isobutano)	$CH(CH_3)_3$
	Compuestos Inorgánicos	
702	Hidrógeno	H_2
704	Helio	He
717	Amoníaco	NH_3
718	Agua	H_2O
720	Neón	Ne
728	Nitrógeno	N_2
732	Oxígeno	O_2
744	Bióxido de Carbono	CO_2
764	Bióxido de Azufre	SO_2
	Mezclas Zeotrópicas	
400	R-12/114 (60/40)	
401A	R-22/152a/124 (53/13/34)	
401B	R-22/152a/124 (61/11/28)	
402A	R-22/125/290 (38/60/2)	
402B	R-22/125/290 (60/38/2)	
404A	R-125/143a/134a (44/52/4)	
407A	R-32/125/134a (20/40/40)	
407B	R-32/125/134A (10/70/20)	
407C	R-32/125/134a (23/25/52)	
408A	R-125/143a/22 (7/46/47)	
409A	R-22/124/142b (60/25/15)	
410A	R-32/125 (50/50)	
	Mezclas Azeotrópicas	
500	R-12/152a (73.8/26.2)	
502	R22/115 (48.8/51.2)	
503	R-223/13 (40.1/59.9)	
507	R-125/143a (50/50)	

Tabla 12.3 - Designación de números a los principales refrigerantes

Los números entre paréntesis indican el porciento de cada componente en la mezcla.

típico tiene muchos indicadores que le dicen la condición exacta del refrigerante en varios puntos del sistema, y muchos controles que le permiten hacer ajustes cuando surja la necesidad. Estos dispositivos son necesarios, para mantener las condiciones deseadas del refrigerante al demandar cambios la carga de enfriamiento. Pero si usted no sabe cómo responde el refrigerante a los cambios de temperatura y presión, los indicadores y los controles no le serán de mucha utilidad.

Para comprender los refrigerantes, es básica la relación entre presión y temperatura. Cómo absorbe, transporta y rechaza calor un refrigerante, al cambiar de líquido a vapor y volver a líquido, es igualmente importante entenderlo. Estas son las propiedades en que los refrigerantes difieren de uno a otro.

Un refrigerante ideal deberá reunir todas las propiedades siguientes.

Propiedades Termodinámicas

1. **Presión** - Debe operar con presiones positivas.
2. **Temperatura** - Debe tener una temperatura crítica por arriba de la temperatura de condensación. Debe tener una temperatura de congelación por debajo de la temperatura del evaporador. Debe tener una temperatura de ebullición baja.
3. **Volumen** - Debe tener un valor bajo de volumen específico en fase vapor, y un valor alto de volumen en fase líquida.
4. **Entalpia** - Debe tener un valor alto de calor latente de vaporización.
5. **Densidad**
6. **Entropia**

Propiedades Físicas y Químicas

7. No debe ser tóxico ni venenoso.
8. No debe ser explosivo ni inflamable.
9. No debe tener efecto sobre otros materiales.
10. Fácil de detectar cuando se fuga.
11. Debe ser miscible con el aceite.
12. No debe reaccionar con la humedad.
13. Debe ser un compuesto estable.

Fácilmente se comprende que ninguno de los refrigerantes conocidos reúne todas estas cualidades; es decir, no existe un refrigerante ideal, por lo que, en base a un balance de ventajas, deberá seleccionarse el que reúna el mayor número de estas características de acuerdo al diseño requerido.

A continuación, se estudiarán detenidamente cada una de estas propiedades, comparando los diferentes refrigerantes y, para fines de simplificación, de la tabla 12.3 se van a seleccionar los refrigerantes más conocidos. Para efectos de comparación, se han establecido las condiciones de temperaturas de operación siguientes: -15°C (5°F) en el evaporador y 30°C (86°F) en el condensador.

Propiedades Termodinámicas

Son aquellas que tienen relación con el movimiento del calor.

Estas propiedades se publican para cada refrigerante en forma de tablas. Estas tablas se dividen en dos secciones: Propiedades de Saturación de Líquido y Vapor, y Propiedades del Vapor Sobrecalentado. Las primeras se dan comúnmente a intervalos de temperatura, y las segundas, se dan tanto a intervalos de presión, como de temperatura.

Estas tablas son elaboradas por los fabricantes de refrigerantes y algunas asociaciones relacionadas con refrigeración, y se pueden encontrar en libros de texto, manuales o boletines técnicos. Las de mayor aplicación para resolver problemas de cálculos y diseño de equipos, son las tablas de propiedades termodinámicas de saturación.

Propiedades de Saturación. En la tabla 12.12, se muestra parcialmente las propiedades de saturación para el R-22. La primer columna es la temperatura en grados centígrados. Las siguientes dos columnas, son presiones absoluta y manométrica en kPa (o en psig). Las dos columnas siguientes son los valores del volumen, uno es la cantidad de litros que ocupa un kilogramo de refrigerante líquido, el otro, es la cantidad de m³ de vapor saturado de refrigerante que se necesita para hacer un kilogramo.

Enseguida del volumen están las columnas de los valores de la densidad, estas son los kilogramos de refrigerante líquido en un litro y los kilogramos de vapor de refrigerante saturado en un m³. Estos valores son los recíprocos de los valores del volumen.

Después, hay tres columnas del contenido de calor; la primera es el calor del líquido arriba de -40°C, la segunda es el calor latente, y la tercera es el calor total.

Las últimas dos columnas son de la entropia en fase líquida y en fase vapor del refrigerante.

A continuación, se describirán cada una de estas propiedades, aunque no necesariamente en ese mismo orden.

1. Presión

Las presiones que actúan en un sistema de refrigeración, son extremadamente importantes. En primer término, se debe operar con presiones positivas; es decir, las presiones tanto en el condensador como en el evaporador, deben ser superiores a la presión atmosférica. Si la presión en el evaporador es negativa, es decir, que se esté trabajando en vacío, hay riesgo de que por una fuga entre aire al sistema. Por esto, el refrigerante debe tener una presión de evaporación lo más baja posible, pero ligeramente superior a la presión atmosférica.

Por otra parte, la presión de condensación debe ser lo suficientemente baja, ya que esto determina la robustez del compresor y del condensador. Mientras más alta sea la presión, se requiere un equipo más robusto, y por lo tanto, más caro.

La tabla 12.4, nos muestra las presiones de operación para los refrigerantes seleccionados, a las condiciones fijadas de temperaturas.

Un ejemplo claro de alta presión de condensación es el R-170, para el cual se requiere un equipo extremadamente robusto para soportar presiones arriba de 4660 kPa (660 psig). Los refrigerante R-30 y R-123, trabajarían en vacío en el evaporador a esta temperatura.

REFRIG. N°	EVAPORADOR A -15°C		CONDENSADOR A 30°C	
	kPa	psig	kPa	psig
12	183	11.8	754	93.2
22	296	28.2	1,192	158.2
30	8	27.6*	69	9.5*
123	16	25.2*	110	1.2
134a	164	9.1	767	96.6
170	1627	221.3	4,660	661.1
500	214	16.4	880	113.4
502	348	35.9	1,319	176.6
717	236	19.6	1,167	154.5
718	0.8	29.7*	4.5	28.6*

Tabla 12.4 - Presiones de operación. Los valores presentados con asterisco, indican pulgadas de vacío.

El R-134a trabaja a presiones más próximas a lo ideal, ya que su presión de evaporación es muy baja, sin llegar al vacío, y su presión de condensación no es tan alta, por lo que no requiere un equipo muy robusto.

2. Temperatura

Hay tres temperaturas que son importantes para un refrigerante y que deben ser consideradas al hacer la selección. Estas son: la de ebullición, la crítica y la de congelación.

La temperatura de ebullición de un refrigerante, siempre es referida a la presión atmosférica normal de 101.3 kPa (0 psig). Se puede decir, que el punto de ebullición de cualquier líquido, es la temperatura a la cual su presión de vapor es igual a la atmosférica.

El punto de ebullición de un refrigerante debe ser bajo, para que aún operando a presiones positivas, se pueda tener una temperatura baja en el evaporador.

En la tabla 12.5, se muestran las temperaturas de ebullición de los refrigerantes escogidos para efectos de comparación. Obsérvese que el R-170 (etano), tiene la temperatura de ebullición más baja, -88.6°C y el R-718 (agua) tiene la más alta (100°C).

Como ya se sabe, existe una relación directa entre la temperatura de ebullición y la presión; es decir, el punto de ebullición se modifica al cambiar la presión. Si se selecciona una presión conocida, se llega a una temperatura deseada. Qué presión seleccionar, es lo que provoca que surjan muchos argumentos entre los diseñadores de eva-

REFRIG. N°	TEMPERATURAS EN °C		
	EBULLICION	CRITICA	CONGELACION
12	-29.8	112	-158
22	-40.7	96	-160
30	40.6	216.1	-97
123	27.9	---	-107
134a	-26.5	101.1	-103
170	-88.6	32.3	-172
502	-45.4	82.2	---
507	-46.7	71	---
717	-33.3	132.9	-78
718	100	374.5	0

Tabla 12.5 - Temperaturas a presión atmosférica.

	Temp. del Evaporador	Temp. de Ebullición
Enfriadores de Bebidas	4 °C	-2 °C
Aire Acondicionado	6 °C	0 °C
Gabinetes de Helados	-20 °C	-26 °C
Refrigeradores Domésticos	-15 °C	-20 °C
Exhibidores de Lácteos	2 °C	-4 °C
Cámara de Enfriamiento	3 °C	-3 °C
Cámara de Congelación	-26 °C	-32 °C

Tabla 12.6 - Temperaturas recomendadas para varias aplicaciones de refrigeración.

poradores y compresores. Para que opere eficientemente un compresor (pero no necesariamente el sistema completo), es deseable tener en el evaporador la presión más alta posible. Para los diseñadores de evaporadores, lo más deseable es que operen a la presión más baja posible, para aprovechar al máximo la unidad con un mínimo de tamaño y costo. Así que, para ambos, la presión adecuada para la ebullición del refrigerante, es un punto en el cual es necesario transigir. Si el evaporador es muy grande, la temperatura estará arriba de la normal; si el evaporador es muy pequeño, la temperatura estará abajo de la normal.

El evaporador debe tener una temperatura más baja, que la que se desea tener en el espacio refrigerado (se necesita una diferencia de temperaturas para que exista el flujo de calor).

Normalmente, cuando el sistema está en operación, la temperatura de ebullición del refrigerante líquido dentro del evaporador, es aproximadamente 6°C más baja que la temperatura del evaporador. En los ciclos de paro, el refrigerante y el evaporador igualarán sus temperaturas. Como una guía práctica, a continuación en la tabla 12.6, se dan algunas temperaturas de ebullición para varias aplicaciones:

Otra temperatura a considerar cuando se selecciona un refrigerante, es la temperatura crítica, sobre todo para el diseño del condensador, ya que ningún vapor se condensa a una temperatura mayor de la crítica, aunque la presión sea muy grande. En el caso de condensadores enfriados por aire, es conveniente que el refrigerante tenga una temperatura crítica mayor de 55°C. Como se puede ver en la tabla 12.5, todos los refrigerantes tienen temperaturas críticas arriba de 70°C, a excepción del R-170 (etano), que es de 32.3°C; por lo que, éste refrigerante no puede utilizarse en condensadores enfriados por aire, ya que la temperatura de condensación estaría siempre por arriba de la crítica.

Por otra parte, la temperatura de congelación de un refrigerante, debe ser más baja que la temperatura del evaporador. No se puede utilizar un refrigerante que se congele a la temperatura de trabajo del evaporador. Aunque esto no representa un problema, ya que la mayoría de los refrigerantes tienen temperaturas de congelación muy bajas, como se puede observar en la figura 12.5. La excepción es el R-718 (agua), la cual nunca se utiliza en el mecanismo de un ciclo de refrigeración por compresión.

Curvas de Presión - Temperatura

Sabemos que el agua hierve a 100°C en un recipiente abierto, a la presión atmosférica normal de 101.3 kPa (14.7 psia). En un recipiente cerrado, donde se puede controlar la presión, se puede cambiar el punto de ebullición. Si se incrementa la presión en el recipiente, también se incrementa el punto de ebullición. Si se disminuye la presión, se disminuye también la temperatura de ebullición del agua. Este mismo principio se aplica a todos los líquidos.

El trabajo de refrigeración se tiene que tratar con refrigerantes en sistemas cerrados, a presiones variables. Si se controlan estas presiones, se controlan las temperaturas del refrigerante en diferentes puntos del sistema. Por lo tanto, se puede lograr que hierva el refrigerante a baja temperatura en un punto (disminuyendo su presión), y que después, se condense a alta temperatura en otro punto (aumentando su presión).

Para cualquier líquido, la temperatura a la que se lleva a cabo la ebullición, se conoce como "temperatura de saturación", y su presión correspondiente, se conoce como "presión de saturación".

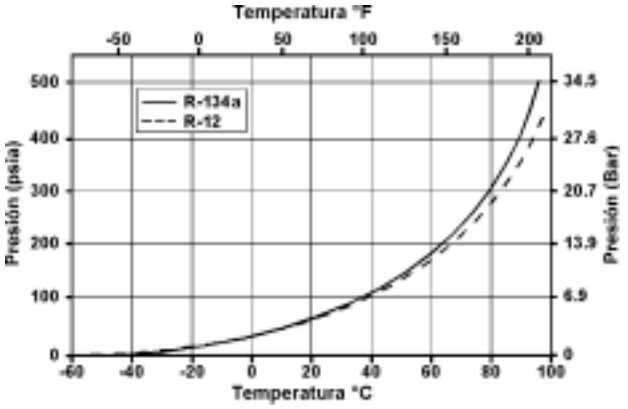


Figura 12.7 - Gráfica de P-T para el R-134a y R-12.

Las relaciones de presión y temperatura, se pueden graficar en escalas normales o en escalas logarítmicas. Estas últimas proporcionan una lectura con razonable precisión, tanto en bajas como a altas presiones.

En la figura 12.7, se muestra una gráfica de presión temperatura para el R-134a, y en la figura 12.8, se muestran las gráficas de presión y temperatura para varios refrigerantes comunes.

Estas gráficas son muy valiosas, para dar una imagen global de las relaciones de presión y temperatura de saturación, pero dependiendo del tamaño de la escala, va a ser la precisión de la lectura de los valores. Por lo tanto, algunas veces, estos valores se dan en forma de tabla, las cuales pueden dar presiones cada grado o cada 2 grados centígrados para las temperaturas de evaporación comunes. También, para temperaturas de evaporación menos comunes o temperaturas de condensación, se dan presiones cada 5°C.

También hay disponibles tablas que, además de la presión y temperatura, dan otra información, tal como el volumen de líquido y vapor, calor y otros. Estas tablas se verán más adelante en este mismo capítulo.

En la escala vertical se tiene la presión en kilopascales (o en psig), y en la escala horizontal se tiene la temperatura en grados centígrados (o en grados farenheit). Cualquier punto sobre la curva, representa el punto de ebullición del refrigerante. Cada punto también se puede llamar "punto de condensación". La razón es que, cualquier mezcla de líquido y vapor a la temperatura y presión de saturación, puede estar en cualquiera de las tres etapas: ebullición,

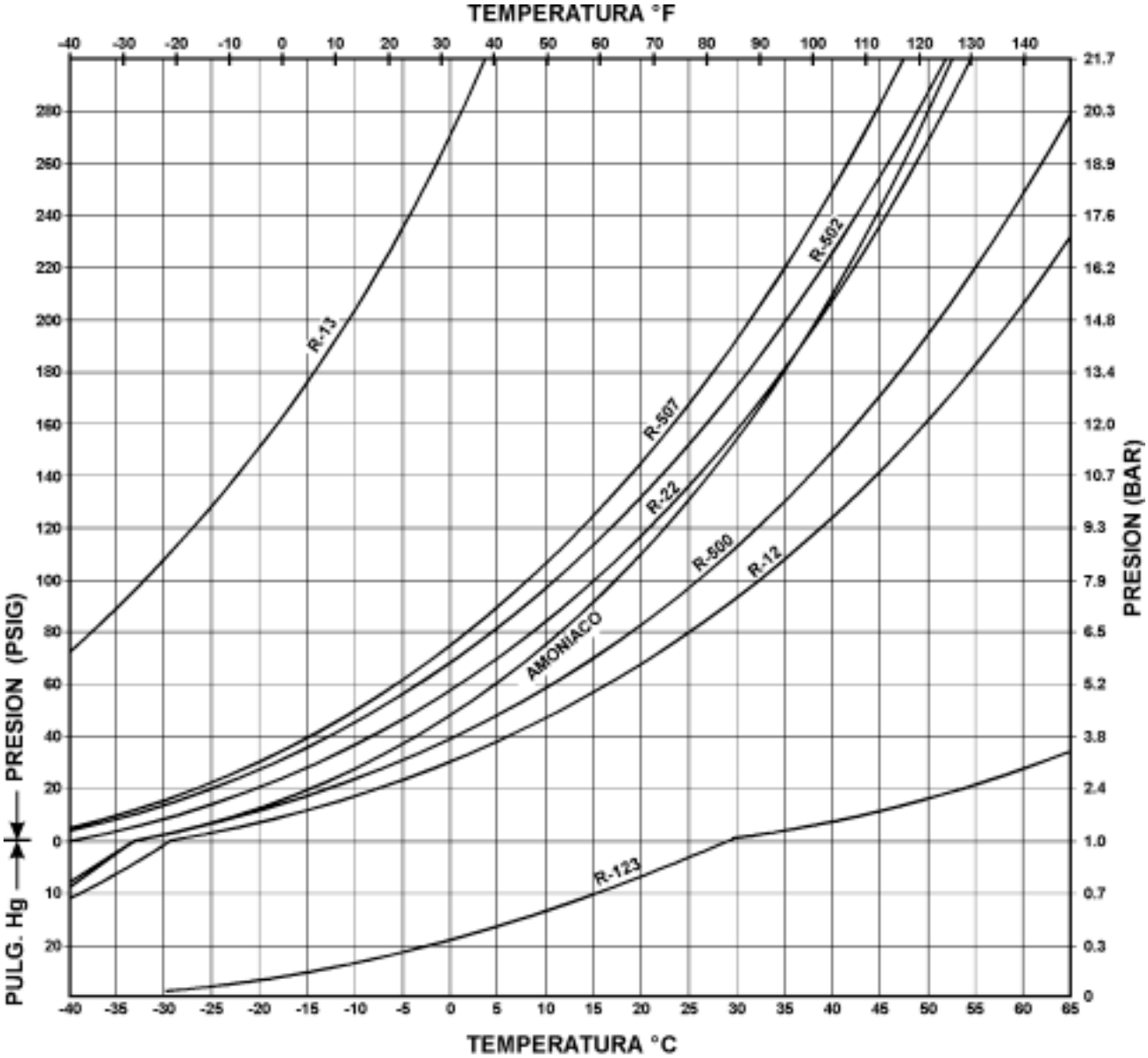


Figura 12.8 - Relaciones P-T para varios refrigerantes comunes.

condensación o equilibrio. Depende de la transferencia de calor que se esté llevando a cabo. Si se agrega calor, el líquido hierve; si se quita calor, el vapor se condensa y si no se agrega ni se quita calor, la mezcla permanece en equilibrio. Para encontrar la presión del refrigerante a una temperatura determinada, se lee verticalmente desde el valor de dicha temperatura, hasta tocar la curva; y luego, se mueve horizontalmente, hasta la escala de presión, donde se leerá la presión de saturación a esa temperatura.

Por ejemplo, la presión de vapor del R-507 a una temperatura de 10°C (50°F), es de 8.4 bar (107 psig). La temperatura es siempre la temperatura del refrigerante. La misma curva puede utilizarse para determinar presiones y temperaturas, tanto de evaporación como de condensación. Al utilizar estas gráficas, es necesario tener presente varias cosas:

1. La temperatura del refrigerante en el evaporador, es aproximadamente de 4 a 7°C más fría, que la del evaporador cuando está trabajando el compresor.

2. Cuando el compresor no está trabajando, la temperatura del refrigerante en el evaporador, es la misma que la del evaporador.

3. La temperatura del refrigerante en un condensador enfriado por aire, está entre 17 y 19°C más caliente que la temperatura ambiente.

4. La temperatura del refrigerante en un condensador enfriado por agua, es aproximadamente 10°C más caliente que el agua de la salida.

5. La temperatura del refrigerante en el condensador, será aproximadamente la misma que el medio de enfriamiento, después que la unidad haya sido apagada por 15 a 30 minutos.

En la tabla 12.9, se muestran las relaciones entre las presiones en kilopascales (kPa) y libras por pulgada cuadrada manométrica (psig), y las temperaturas en °C para los diferentes refrigerantes seleccionados para comparación. Los valores de la presión en el área sombreada, indican pulgadas de mercurio abajo de la presión atmosférica normal.

Las tablas de presión temperatura como la 12.9, son muy valiosas en lo que se refiere a los puntos de saturación, pero tienen sus limitaciones. Un líquido apartado de su vapor puede enfriarse abajo de su temperatura de saturación; tal líquido se denomina "sub-enfriado". Un vapor apartado de su líquido puede calentarse arriba de su temperatura de saturación; tal vapor denomina "sobrecalentado". Así, el agua a la presión atmosférica está sub-enfriada, si se encuentra a menos de 100°C, y está saturada, si está a 100°C. El vapor estaría saturado si se encuentra a 100°C, pero si se separa del agua y se calienta, se elevará su temperatura para formar vapor sobrecalentado.

Un líquido no puede sobrecalentarse, pues herviría; y un vapor no puede sub-enfriarse, ya que se condensaría.

Estas correspondencias de presión-temperatura de saturación, sólo son válidas cuando el líquido y el vapor están en contacto uno con otro. Esta condición existe en el evaporador y en el condensador. También existe en tanques de refrigerante que no están totalmente llenos de líquido. El vapor está, entonces, sobre el líquido.

El refrigerante líquido en el tanque recibidor o en la línea de líquido, puede o no estar sub-enfriado. El vapor de succión que entra al compresor debe estar sobrecalentado; esto es, más caliente que en el evaporador. La temperatura del gas en la descarga del compresor, está sobrecalentada, es decir, más caliente que la temperatura de condensación.

3. Volumen

Cuando se comparan densidades de gases, es común expresarlas en volumen específico. El volumen específico de un refrigerante en fase vapor, no es otra cosa, que el volumen en metros cúbicos (m^3) o en litros (l) que ocupará un kilogramo de refrigerante a condiciones normales; esto es, a una temperatura de 20°C y a la presión atmosférica de 101.3 kPa. (14.7 psia).

En la figura 12.10, se muestran los volúmenes específicos en las fases líquida y vapor, para los diferentes refrigerantes seleccionados, a una temperatura de -15°C (5°F). El R-718 (agua) está considerada a una temperatura de 4°C, ya que a la temperatura de -15°C estaría congelado.

En un sistema de refrigeración, al agregar calor al refrigerante, aumenta su temperatura y su volumen específico, pero su presión permanece constante; ya que, en el evaporador, en la línea de succión y en el condensador, la temperatura de saturación es lo que controla la presión del vapor sobrecalentado. Inversamente, si disminuye la temperatura del refrigerante, disminuye su volumen específico.

Como puede observarse en la figura 12.10, el volumen específico en fase líquida del R-718 (agua) es 1.0 l/kg, esto significa que un kilogramo de agua líquida ocupa un volumen de un litro. Por esta razón, el agua es el líquido que se usa como referencia para comparación con otros líquidos.

A excepción del R-170 y del R-717, los demás refrigerantes tienen un volumen específico en fase líquida menor a 1.0 l/kg; aunque este valor no tiene gran importancia. El valor que es de más utilidad en trabajos de refrigeración, es el volumen específico en fase vapor. Este valor, no es otra cosa, que el volumen en litros (o en metros cúbicos) que ocupa un kilogramo de refrigerante al pasar de líquido a vapor. Obviamente como es de esperarse, este valor debe ser lo más bajo posible, ya que de este valor dependerá el desplazamiento volumétrico del compresor.

Observando los valores de volumen específico en fase vapor de la figura 12.10, vemos que el R-30 y el R-123 tienen valores muy altos, por lo que estos refrigerantes no se recomienda usarlos con compresores reciprocantes, ya que se requerirá un compresor con gran desplazamien-

PRESION DE SATURACION		TEMPERATURA DE SATURACION (°C)								
kPa	psig	R-12	R-22	R-123	R-134a	R-170	R-404A	R-500	R-502	R-717
0	(29.9)	-102	-104	-73	---	---	---	---	---	---
17	(25)	-65	-73	-15	---	---	---	-68	---	-64
34	(20)	-53	-62	0.5	-47	---	---	-57	-67	-53
52	(15)	-45	-55	10	-40	-101	---	-48	-59	-46
69	(10)	-39	-49	17	-34	-96	---	-42	-54	-41
86	(5)	-34	-45	22	-29	-92	-49.4	-38	-49	-37
101.3	0	-29.8	-40.7	27.8	-26.1	-88.6	-46.1	-33.5	-45.4	-33.3
115	2	-26.7	-38	29.4	-22.8	-85.5	-43.3	-30.3	-42.6	-30.8
129	4	-23.9	-35.5	33.3	-20	-84	-40.5	-28.3	-40.1	-28.4
143	5	-22.8	-33.2	36.6	-17.8	-82	-39.4	-25.5	-37.8	-26.3
156	8	-19.0	-31.1	40.5	-15.5	-80.5	-36.1	-23	-35.6	-24.4
170	10	-16.8	-29	42.8	-13.8	-78.3	-34.4	-20.8	-33.6	-22.5
184	12	-14.7	-27.2	45.5	-11.6	-76.6	-32.8	-19.2	-31.8	-20.7
198	14	-12.8	-25.4	47.8	-10	-75	-30.6	-17.2	-30	-19.2
212	16	-10.9	-23.6	50	-8.3	-73.8	-28.9	-15.1	-28.3	-17.6
225	18	-9.2	-22.1	51.7	-6.6	-72.2	-27.8	-13.3	-26.6	-16.1
239	20	-7.5	-20.5	53.3	-5.5	-70.5	-26.1	-11.9	-25.1	-14.7
253	22	-5.9	-19	55.4	-3.9	-69.4	-24.4	-10.3	-23.7	-13.4
267	24	-4.2	-17.8	57.2	-2.2	-68.3	-23.3	-9	-22.3	-12.2
281	26	-3.1	-16.4	59	-1.1	-67.2	-22.2	-7.4	-21	-10.8
294	28	-1.3	-15	60.5	0.5	-66.1	-20.6	-5.9	-19.7	-9.7
308	30	0	-13.8	62	1.6	-64.8	-19.4	-4.6	-18.2	-8.6
322	32	1.3	-12.7	63.6	2.7	-64.1	-18.3	-3.3	-17.2	-7.5
336	34	2.5	-11.5	65.2	3.9	-63	-17.2	-2.2	-16.1	-6.4
350	36	3.9	-10.3	66.6	5	-62.2	-16.1	-1.1	-14.7	-5.3
363	38	5.3	-9.2	67.3	6.1	-60.9	-15	0	-13.6	-4.4
377	40	6.4	-8	69.4	7.2	-60.2	-13.9	1.4	-12.7	-3.4
391	42	7.5	-7.1	70.7	8.3	-58.9	-13.3	2.2	-11.7	-2.5
404	44	8.6	-5.8	72	9.4	-58.3	-12.2	3.3	-10.8	-1.6
418	46	9.7	-4.7	73.3	10.5	-57.5	-11.1	4.4	-9.8	-0.6
432	48	10.8	-4.2	74.5	11.6	-56.2	-10	5.6	-8.6	0.2
446	50	11.9	-3.3	75.7	12.2	-55.6	-8.9	6.8	-7.8	1
460	52	12.8	-2.3	77.2	13.1	-55	-8.3	7.4	-7	1.9
474	54	13.6	-1.4	78.6	14	-54.2	-7.2	8.4	-5.9	2.7
487	56	14.7	-0.8	80.0	14.8	-53.3	-6.7	9.6	-5.3	3.4
501	58	15.8	0.3	---	15.8	-52.3	-5.6	10.3	-4.2	4.3
515	60	16.6	1.2	---	16.6	-21.9	-5	11.1	-3.6	5
529	62	17.5	1.8	---	17.5	-51.1	-3.9	11.9	-2.5	5.7
543	64	18.5	2.5	---	18.4	-50.5	-3.3	12.8	-1.9	6.4
556	66	19.4	3.4	---	19.2	-49.8	-2.8	14.3	-0.9	6.9
570	68	20.2	4.2	---	19.8	-48.8	-1.7	14.5	-0.2	7.8
584	70	20.7	5	---	20.5	-48.2	-1.1	15.4	0.6	8.5

Tabla 12.9 - Relación de presión - temperatura para varios refrigerantes.

Continúa tabla página siguiente...

Presiones abajo de la atmosférica. *( ) Pulgadas de mercurio.*

PRESION DE SATURACION		TEMPERATURA DE SATURACION (°C)								
kPa	psig	R-12	R-22	R-123	R-134a	R-404A	R-170	R-500	R-502	R-717
598	72	21.9	5.7	88	21.4	0	-47.7	16.1	1.4	9.2
612	74	22.6	6.2	89	22.3	0.6	-46.7	17.2	2.1	9.8
625	76	23.5	7.2	90	23.1	0.8	-46.3	17.7	2.9	10.4
639	78	24.3	7.9	91	23.7	1.4	-45.7	18.4	3.5	11.1
653	80	25	8.6	92	24.4	2.8	-45	19.1	4.3	11.8
687	85	27	10	94	26	4	-44	21	6	13
722	90	29	12	---	28	6	-43	23	8	15
756	95	31	14	---	29	7	-41	24	9	16
791	100	32	15	---	31	9	-40	26	11	18
825	105	34	17	---	33	10	-38	28	13	19
860	110	36	18	---	34	11	-37	29	14	20
894	115	37	19	---	36	13	-35	31	15	21
929	120	39	21	---	37	14	-34	32	17	23
963	125	40	22	---	38	15	-33	34	18	24
998	130	42	23	---	39	16	-32	35	19	25
1,032	135	43	25	---	41	18	-31	36	20	26
1,067	140	44	26	---	42	19	-30	37	22	27
1,101	145	46	27	---	43	20	-39	39	23	28
1,136	150	47	28	---	44	21	-28	40	24	29
1,170	155	48	29	---	46	22	-27	41	25	30
1,204	160	50	30	---	47	23	-26	42	26	31
1,239	165	51	32	---	48	24	-25	44	27	32
1,273	170	52	33	---	49	26	-24	45	28	33
1,308	175	53	34	---	50	27	-23	46	30	34
1,342	180	54	35	---	51	28	-22	47	31	35
1,377	185	55	36	---	52	28	-21	49	32	36
1,411	190	57	37	---	53	29	-20	49	33	37
1,446	195	58	38	---	54	31	-19	50	34	37
1,480	200	59	39	---	55	31	-18	51	35	38
1,515	205	60	40	---	56	32	-18	52	36	39
1,549	210	61	40	---	56	33	-17	53	37	40
1,584	215	62	41	---	57	34	-16	54	38	41
1,618	220	63	42	---	58	35	-15	55	39	41
1,653	225	64	43	---	59	36	-14	56	39	42
1,687	230	65	44	---	60	37	-13	57	40	43
1,722	235	66	45	---	61	37	-13	58	41	44
1,756	240	67	46	---	62	38	-12	59	42	45
1,790	245	68	47	---	63	39	-11	60	43	45
1,825	250	69	47	---	64	40	-11	60	44	46
1,859	255	70	48	---	65	41	-10	61	45	47

Tabla 12.9 - Relación de presión - temperatura para varios refrigerantes.

Continúa tabla página siguiente...

PRESION DE SATURACION		TEMPERATURA DE SATURACION (°C)								
kPa	psig	R-12	R-22	R-123	R-134a	R-404A	R-170	R-500	R-502	R-717
1,894	260	72	49	---	66	42	-9	62	46	48
1,963	270	74	51	---	67	43	-8	63	47	49
2,032	280	75	52	---	68	44	-6	65	49	50
2,100	290	77	53	---	70	46	-5	67	50	51
2,170	300	79	55	---	71	47	-4	69	51	52
2,239	310	80	56	---	73	49	-3	70	53	54
2,308	320	82	58	---	74	50	-1	---	54	55
2,377	330	---	59	---	76	51	0	---	56	57
2,446	340	---	60	---	77	52	1	---	57	58
2,514	350	---	62	---	78	54	2	---	58	---
2,583	360	---	63	---	79	55	3	---	60	---
2,652	370	---	64	---	80	57	4	---	61	---
2,721	380	---	65	---	81	---	5	---	62	---
2,790	390	---	67	---	82	---	7	---	63	---
2,859	400	---	68	---	83	---	8	---	65	---

Tabla 12.9 - Relación de presión - temperatura para varios refrigerantes.

to volumétrico, debido a la gran cantidad de vapor que producen al evaporarse. Un kilogramo de R-30, cuando pasa de líquido a vapor a -15°C, de ocupar un volumen de aproximadamente 3/4 de litro, en fase líquida, su vapor tendría un volumen de 3,115 litros (3.115 m³). Por esta razón generalmente los refrigerantes con alto valor de volumen específico en fase vapor, se utilizan con compresores centrífugos, los cuales manejan grandes cantidades de vapor de refrigerante.

Por otra parte, un kg de R-22 en las mismas condiciones, al evaporarse, ocupa un volumen de 77.6 litros, que es aproximadamente 40 veces menos que el R-30. Puede observarse también, que las variaciones de los volúmenes específicos de los refrigerantes en estado líquido, son muy pequeñas, comparándolas con las correspondientes en el estado de vapor.

	VOLUMEN ESPECIFICO (l/kg)	
REFRIG. N°	LIQUIDO *vf*	VAPOR *vg*
12	0.6925	91.1
22	0.7496	77.6
30	0.7491	3115.1
123	0.64	856.3
134a	0.7376	120
170	2.3098	33
502	0.7254	50
507	0.9704	51
717	1.4982	508.8
718	1	152,600

Tabla 12.10 - Volúmen específico a -15°C de varios refrigerantes.

4. Entalpia

Es la propiedad que representa la cantidad total de energía térmica o contenido de calor, en un fluido. Sus unidades son kcal/kg. Para la mayoría de los refrigerantes, se considera que su entalpia es cero a una temperatura de saturación de -40°C. Entonces, el calor agregado o sustraído de un refrigerante, desde ese punto, se considera que es su entalpia total. En la mayoría de los trabajos de transferencia de calor, se manejan los cambios de entalpia que ocurren durante un proceso. Generalmente, no hay necesidad de conocer el contenido de energía absoluta.

En la tabla 12.11, se muestran los valores de entalpia de varios refrigerantes, a una temperatura de -15°C, excepto el R-718, que está a 5°C. Estas temperaturas se seleccionaron arbitrariamente, para efectos de comparación. Para cada refrigerante se muestran los valores de entalpia en la fase líquida (hf), el calor latente (hfg) y la entalpia en la fase vapor (hg).

Entalpia del Líquido Saturado (hf). Este valor es la cantidad de kilocalorías por cada kilogramo de refrigerante líquido saturado; esto es, el líquido que se encuentra a su temperatura de saturación, como las que se muestran en la figura 12.9.

Este contenido de calor del líquido, es calor sensible basado en la suposición de que el líquido saturado a -40°C, no tiene calor sensible. Esto no es cierto, ya que aún a -75°C, el líquido contiene algo de calor.

Refrigerante No.	Entalpía a -15°C (kcal/kg)		
	Líquido *hf*	Latente *hfg*	Vapor *hg*
12	5.33	37.89	43.22
22	6.53	51.78	58.31
30	0.94	90.05	91.00
123	6.66	43.87	50.53
134a	7.55	49.06	56.61
170	56.39	84.44	140.83
500	6.56	46.66	53.22
502	6.06	37.40	43.46
717	26.83	313.89	340.72
718*	4.47	595.17	599.64

Tabla 12.11 - Entalpia a -15°C de varios refrigerantes.

Para que esto sea verdad, los valores de entalpia en fase líquida, tendrían que basarse en el cero absoluto de temperatura. Sin embargo, esto no es necesario, ya que sólo interesa el cambio de entalpia; esto es, la cantidad de calor que se requiere para calentar o enfriar un kilogramo de líquido, de una temperatura de saturación a otra. El hecho de que se haya seleccionado la temperatura de -40°C, como referencia para darle a la entalpia el valor de cero, fue por conveniencia.

En la tabla 12.12, se muestran las entalpias para el líquido a varias temperaturas de saturación para el R-22. Para las temperaturas menores de -40°C, los valores de la entalpia son negativos, y se indican con el signo "menos". Esto parecería significar que el líquido saturado de R-22 a -60°C, por ejemplo, tendría 4.93 kcal menos que nada, lo cual, por supuesto, es imposible. El signo "menos", significa meramente que a -60°C el líquido saturado de R-22, tiene un contenido de calor de 4.93 kcal/kg menos, que el que tendría a -40°C.

Inversamente, para elevar la temperatura de saturación de un kg de R-22 líquido de -40°C a -15°C, se requieren 6.53 - 0 = 6.53 kcal de calor sensible.

Por ejemplo, en la figura 12.11, la entalpia del R-22 líquido a -15°C es 6.53 kcal/kg, y como ya se mencionó, a -40°C es cero; pero a -60°C,su entalpia es -4.93 kcal/kg. Esto significa que para enfriar un kg del líquido saturado de R-22 de -15°C hasta -60°C, se tienen que remover 6.53 - (-4.93) = 11.46 kcal/kg. Como se puede observar, lo que importa solamente es la diferencia de entalpia, ya que ésta será siempre la misma, independientemente de que su contenido esté basado en -40°C, -100°C, -200°C o el cero absoluto.

Entalpia de Evaporación (hfg). Esta es la cantidad de calor que requiere un kilogramo de líquido, para cambiar a un kilogramo de vapor a temperatura constante. Este valor también se le conoce como "calor latente de evaporación".

En los sistemas de refrigeración, este cambio de estado de líquido a vapor, ocurre en el evaporador. El cambio de contenido de calor o entalpia resultante, se puede considerar, simplemente, como el trabajo teórico que puede realizar el refrigerante.

En la tabla 12.11, se muestran los valores de calor latente para varios refrigerantes a la temperatura de -15°C. Como se puede observar, todos los refrigerantes tienen diferentes valores de calor latente. Para un mismo refrigerante, el valor de calor latente varía con la temperatura, como se puede observar en la tabla 12.12. El calor latente disminuye al aumentar la temperatura.

Como se mencionó anteriormente, un refrigerante debe de preferencia tener un valor alto de calor latente de evaporación, ya que esto es lo que hace posible la refrigeración. Mientras mayor sea este valor, se requerirá circular menos cantidad de refrigerante. Por ejemplo, en la tabla 12.11, comprobamos que el calor latente de evaporación del R-717 (amoníaco) es muy alto, 313.89 kcal/kg, comparado con el calor latente de evaporación del R-502, que solamente es de 37.4 kcal/kg. Esto significa que en equipos similares y a las mismas condiciones, para producir una tonelada de refrigeración, se tendrían que circular 9.63 kg/h de amoníaco, mientras que el R-502 se tendría que circular 80.85 kg/h.

El calor latente de evaporación es una propiedad muy importante de un refrigerante, pero se vuelve más importante aún, cuando se convierte en "efecto de refrigeración". Este es el trabajo real producido por un refrigerante dentro del sistema de refrigeración. Es el calor absorbido, que da como resultado un enfriamiento útil. Puede determinarse conociendo la entalpia del refrigerante líquido cuando entra al evaporador, y la entalpia del vapor de refrigerante que sale del evaporador. La diferencia entre estos dos valores, es el trabajo real producido o "efecto de refrigeración".

Entalpia del Vapor Saturado (hg). Un líquido antes de hervir, tiene calor sensible. Cuando está en ebullición, adquiere además, calor latente. Entonces, el calor total del vapor saturado, debe ser igual a la suma del calor sensible del líquido, más el calor latente de evaporación. Esto se expresa de la siguiente manera:

$hg = hf + hfg$

En la tabla 12.11, podemos observar que la entalpia del vapor saturado, equivale a la suma de la entalpia del líquido más el calor latente. La entalpia del vapor saturado, representa el contenido total de calor del vapor saturado del refrigerante en un evaporador, antes de ser sobrecalentado; es decir, antes de ser calentado por arriba de la temperatura del evaporador. Si en un sistema de refrigeración la temperatura de evaporación es menor de -40°C, entonces, los valores de entalpia del líquido deberán restarse del calor latente, para poder obtener el valor del calor del vapor, ya que los valores del líquido muestran un signo "menos" (-).

Ahora es fácil entender por qué los valores de entalpia son muy útiles, al hacer cálculos de transferencia de calor. Puede verse que la entalpia incluye la absorción de ambos

calores, sensible y latente. Aún más, ahora sabemos qué líquidos diferentes tienen diferentes calores específicos, y diferentes calores latentes de evaporación. También diferentes puntos de ebullición, así que, el uso de estos valores, ahorrarán prolongados cálculos al trabajar con cargas de transferencia de calor, utilizando refrigerantes específicos.

Tablas de Propiedades Termodinámicas

Todas las propiedades termodinámicas vistas hasta ahora, tales como presión, temperatura, volumen específico y entalpia, se publican en forma de tabla para cada refrigerante. Estas tablas las elaboran los fabricantes de refrigerantes y algunas asociaciones relacionadas con refrigeración, y se pueden encontrar en libros de texto, manuales o boletines técnicos.

En la tabla 12.12, se muestra una parte de las propiedades termodinámicas del R-22, en condiciones de saturación, donde se pueden observar además de las propiedades ya vistas, otras como la densidad y entropía.

Estas tablas tienen muchos usos prácticos para los técnicos de servicio, y son, por lo tanto, herramientas al igual que los manómetros y termómetros. Algunas de las cosas que pueden determinarse por medio de ellas son: ajuste de controles, verificar temperaturas de acuerdo a las presiones, determinar cuál será la presión de alta para un conjunto dado de condiciones, ajuste del sobrecalentamiento de la válvula de termo expansión, la caída de presión, capacidad de los cilindros y tanques recibidores de refrigerante, estimación de la capacidad del compresor, etc...

A continuación, se definirán brevemente las dos propiedades termodinámicas que no se habían mencionado; estas son: densidad y entropía.

5. Densidad

La densidad de un fluido, puede definirse como su peso por unidad de volumen. Las unidades en que se expresa esta propiedad, son comúnmente kg/m³ o puede utilizarse también kg/l.

Temp. °C	PRESION		VOLUMEN		DENSIDAD		ENTALPIA kcal/kg			ENTROPIA kcal/kg K	
	kPa	psig	Líquido l/kg *vf*	Vapor m³/kg *vg*	Líquido kg/l *1/vf*	Vapor kg/m³ *1/vg*	Líquido *hf*	Latente *hfg*	Vapor *hg*	Líquido *sf*	Vapor *sg*
-60	37	18.85 *	0.682	0.538	1.466	1.862	-4.93	58.36	53.43	-0.022	0.252
-55	49	15.31 *	0.689	0.415	1.452	2.411	-3.72	57.73	54.01	-0.016	0.248
-50	64	10.90 *	0.695	0.325	1.438	3.081	-2.50	57.08	54.58	-0.011	0.245
-45	83	5.48 *	0.702	0.257	1.424	3.891	-1.26	56.40	55.14	-0.005	0.242
-40	105	0.52	0.709	0.206	1.410	4.860	0.00	55.70	55.70	0.000	0.239
-35	132	4.40	0.717	0.166	1.395	6.010	1.27	54.97	56.24	0.005	0.236
-30	163	9.01	0.724	0.136	1.380	7.362	2.56	54.22	56.78	0.011	0.234
-25	201	14.45	0.733	0.112	1.365	8.940	3.87	53.43	57.30	0.016	0.231
-20	245	20.81	0.741	0.093	1.350	10.771	5.19	52.62	57.81	0.021	0.229
-15	296	28.19	0.750	0.078	1.334	12.882	6.53	51.78	58.31	0.026	0.227
-10	354	36.69	0.759	0.065	1.318	15.305	7.88	50.91	58.79	0.032	0.225
-5	421	46.41	0.768	0.055	1.302	18.071	9.26	50.00	59.26	0.037	0.223
0	498	57.43	0.778	0.047	1.285	21.215	10.65	49.05	59.70	0.042	0.221
5	584	69.97	0.789	0.040	1.268	24.779	12.06	48.07	60.13	0.047	0.220
10	681	84.03	0.800	0.035	1.250	28.808	13.49	47.04	60.53	0.052	0.218
15	789	99.76	0.812	0.030	1.232	33.348	14.93	45.98	60.91	0.057	0.216
20	910	117.28	0.824	0.026	1.213	38.457	16.40	44.86	61.26	0.062	0.215
25	1,044	136.71	0.838	0.023	1.194	44.200	17.89	43.70	61.59	0.067	0.213
30	1,192	158.17	0.852	0.018	1.174	50.654	19.41	42.48	61.89	0.072	0.212
35	1,355	181.80	0.867	0.017	1.153	57.910	20.95	41.20	62.15	0.077	0.210
40	1,534	207.72	0.884	0.015	1.131	66.072	22.52	39.86	62.38	0.082	0.209
45	1,729	236.08	0.902	0.013	1.107	75.278	24.12	38.43	62.55	0.087	0.207
50	1,942	267.01	0.922	0.012	1.085	85.696	25.76	36.92	66.68	0.092	0.206
55	2,174	300.68	0.944	0.010	1.059	97.542	27.44	35.30	62.74	0.97	0.204
60	2,427	337.25	0.969	0.009	1.032	111.105	29.18	33.56	62.74	0.102	0.202

*** Pulgadas de vacío.**

Tabla 12.12 - Sección de la tabla de propiedades termodinámicas de saturación para el R-22.

Los líquidos tienen diferentes valores de peso por metro cúbico o por litro, lo que se conoce como densidad. La mayoría de los refrigerantes en estado líquido, tienen una densidad más alta que el agua (gravedades específicas arriba de 1.0). La densidad de cada refrigerante varía con la temperatura. Puesto que por regla, los líquidos se expanden al calentarse, su densidad a altas temperaturas es menor que a bajas temperaturas.

En la tabla 12.13, se muestran las densidades en estado líquido y vapor, de los refrigerantes que seleccionamos para comparación. Las unidades en fase líquida están en kg/l; esto significa que un litro de R-22 a 30°C, pesa 1.17 kg y un litro de amoníaco (R-717), pesa casi 600 gramos.

Refrigerante No.	Densidad a 30°C	
	Líquido [1] *1/vf*	Vapor [2] *1/vg*
12	1.2922	42.539
22	1.1738	50.654
30	1.3371	0.3337
123	1.4545	6.92
134a	1.1854	37.769
170	0.2755	0.9313
500	1.1383	42.154
502	1.1926	76.217
717	0.5952	9.034
718	0.9995	0.03

Tabla 12.13 - Densidad de algunos refrigerantes.
***[1]** en kg/l.* ***[2]** en g/l.*

Las unidades de densidad en fase vapor están en g/l (1 g/l = 1kg/m³); es decir un litro de vapor de R-22 a 30°C, pesa 50.6 gramos, y un litro de vapor de amoníaco pesa 9 gramos.

Los valores del volumen específico de un refrigerante (y en general de cualquier fluido), como los que se muestran en la tabla 12.10, son el recíproco de los valores de la densidad. Por ejemplo, la densidad de R-22 líquido a -15°C es 1.334 kg/l. Si dividimos 1 entre este valor, obtenemos el valor del volumen específico del R-22 líquido a -15°C, o sea, 0.7496 l/kg. Lo mismo es cierto para los valores del vapor saturado a -15°C. La densidad del R-22 es 12.882 g/l; por lo que su volumen específico es 1/12.882 = 0.0776 l/g (77.6 l/kg).

Los valores de la densidad tienen algunas aplicaciones útiles para cálculos de ingeniería, mayormente la densidad en fase líquida. La densidad en fase vapor es útil en problemas que involucran al evaporador, la línea de succión y el condensador. La densidad en fase líquida se utiliza, entre otras cosas, para calcular la capacidad de cilindros o tanques recibidores.

Por ejemplo, un tanque recibidor tiene un volumen interno de 0.04816 m³ (si no se conoce el volumen del tanque, se puede calcular con el diámetro interior y la altura). Si se fuera a utilizar con R-22, ¿cuál sería su capacidad de líquido segura? Existen dos métodos para determinarla.

a) Si la temperatura ambiente es de 25°C, el R-22 tiene una densidad de 1,194 kg/m³ (o bien, 1.194 kg/l); así que, el recibidor, tendría una capacidad de 1,194 x 0.04816 = 57.5 kg y estaría completamente lleno. Pero si la temperatura ambiente (y la del tanque) aumentara a 38°C, a este recibidor sólo le cabrían 54.9 kg (0.04816 x 1,140, la densidad a 38°C). Es decir, 2.6 kg menos que a 25°C, por lo que el tanque podría reventarse. A mayor temperatura, como 52°C, sería aún peor; (0.04816 x 1,075 = 51.77 kg), o sea 5.73 kg menos que a 25°C.

Se puede permitir arbitrariamente un 15% de factor de seguridad, y llenarlo a un 85% de su capacidad total de líquido. Entonces, 0.85 x 57.5 = 48.87 kg, que es la cantidad que se deberá poner en este tanque recibidor. Este método, es similar al método que se basa en el volumen de agua de cilindros para refrigerante.

b) Un método mejor y más fácil, es determinar la temperatura más alta a la que podría estar expuesto el tanque recibidor, y multiplicar la densidad del líquido a esa temperatura por el volumen interno del tanque. Nunca se debe considerar esta temperatura máxima menor a 55°C. En climas calientes donde un recibidor, cilindro u otro recipiente pueda estar expuesto a los rayos directos del sol, se debe usar una temperatura máxima de 60°C, o aún de 65°C, y seleccionar la densidad del líquido a esa temperatura.

En nuestro ejemplo, estableceríamos una capacidad máxima del recibidor, basándonos en una temperatura de 55°C de (0.04816 x 1,059) = 51.0 kg.

Para otros refrigerantes, el mismo tanque recibidor tendrá diferente capacidad. Por ejemplo, seleccionando una temperatura máxima de 55°C para el R-12, tendría una capacidad de (0.04816 x 1,188.80) = 57.25 kg.

La densidad del vapor de cada refrigerante también varía con la temperatura. Sin embargo, hay una diferencia importante: la densidad del vapor saturado aumenta al subir la temperatura, mientras que la densidad del líquido, disminuye al aumentar la temperatura. Por ejemplo, a 4°C de saturación, la densidad del vapor del R-22 es 24.03 g/l, pero a -18°C es solamente 11.58 g/l. Nótese que son vapores saturados. Si se sobrecalienta un vapor saturado, como sucede en la línea de succión, se expande y su densidad se vuelve menor. Esta no es la misma condición que al calentar un líquido, ya que la densidad de un vapor saturado de un líquido más caliente, es mayor que la de un líquido más frío.

Esta es la razón principal por la que un sistema de refrigeración tiene mayor capacidad con un evaporador a 4°C, que con un evaporador a -18°C. El vapor saturado a 4°C está más del doble denso que el vapor saturado a -18°C; por lo que en un cilindro de compresor el vapor a 4°C pesa más del doble que a -18°C. Consecuentemente, en el compresor circula más del doble de refrigerante, resultando más del doble de capacidad.

R-22 TABLAS DE VAPOR SOBRECALENTADO - PRESION CONSTANTE A INTERVALOS DE PRESION

V = volumen en l/kg **H** = entalpia en kcal/kg **S** = Entropía en kcal/kg K **(**propiedades de saturación en paréntesis**)**

Temp. °C	PRESION ABSOLUTA, kPa											
	1,200			1,213			1,227			1,241		
	159.3 psig			161.3 psig			163.3 psig			165.3 psig		
	(30.25°C) (86.45°F)			(30.69°C) (87.24°F)			(31.13°C) (88.03°F)			(31.56°C) (88.81°F)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(19.61)	*(61.90)*	*(0.2118)*	*(19.38)*	*(61.93)*	*(0.2116)*	*(19.15)*	*(61.95)*	*(0.2115)*	*(18.93)*	*(61.97)*	*(0.2114)*
32	19.87	62.32	0.213	19.58	62.25	0.213	19.29	62.18	0.212	19.02	62.12	0.212
38	20.59	63.46	0.217	20.29	63.40	0.216	20.00	63.34	0.216	19.72	63.28	0.216
43	21.27	64.59	0.220	20.97	64.53	0.220	20.68	64.48	0.220	20.39	64.42	0.219
49	21.93	65.70	0.224	21.63	65.65	0.224	21.33	65.60	0.223	21.05	65.55	0.223
54	22.57	66.80	0.227	22.27	66.76	0.227	21.97	66.71	0.227	21.68	66.66	0.226
60	23.20	67.90	0.231	22.89	67.85	0.230	22.59	67.80	0.230	22.29	67.76	0.230
66	23.81	68.98	0.234	23.50	68.94	0.234	23.19	68.89	0.233	22.89	68.85	0.233
71	24.41	70.06	0.237	24.09	70.02	0.237	23.78	69.98	0.236	23.48	69.94	0.236
77	25.00	71.13	0.240	24.67	71.09	0.240	24.36	71.06	0.239	24.05	71.02	0.239

Tabla 12.14 - Parte de la tabla de propiedades termodinámicas de vapor sobrecalentado de R-22 a intervalos de presión.

Otro ejemplo del uso de los valores de la densidad del vapor es el siguiente: supóngase que se tiene un cilindro de 57 kg de R-22 a temperatura ambiente de 21°C, el volumen interno real del cilindro es de 0.0557 m³.

Si se "vacía" el refrigerante líquido hacia el sistema, es decir, cargarlo en el recibidor en forma líquida, cuando todo el líquido haya sido "vaciado", el tanque aún contendrá 0.0554 m³ de vapor saturado a 21°C. La densidad del vapor saturado de R-22 a 21°C, es 39.55 g/l, así que el cilindro aún tendrá 2.19 kg (0.0554 x 39.55) de R-22. Si se devuelve al cilindro sin vaciarlo completamente, estaremos perdiendo 2.19 kg de R-22.

6. Entropía

Con frecuencia se le llama la cantidad "fantasmal", y es una relación matemática muy útil, pero es muy difícil dar una explicación sencilla.

La entropía es un término de ingeniería, aplicado generalmente al proceso de compresión. Un proceso de compresión ideal, seguiría una línea de entropía constante en el diagrama de presión - entalpia (diagrama de Mollier).

Al igual que las otras propiedades termodinámicas de los refrigerantes, también se tienen en la tabla valores para el líquido y para el vapor a intervalos de temperaturas. Similar a la entalpia, el valor de entropía de un refrigerante líquido a -40°C, es 0, y los valores que realmente importan, son los cambios de entropía desde una temperatura de saturación a otra.

El cambio de entropía es una medida de la energía no disponible, que resulta del cambio de propiedades de un refrigerante.

El cambio de entropía, es la suma de todos los incrementos diferenciales de calor (kcal/kg), divididos por la temperatura absoluta (°C + 273 = K) existente, en el momento que cada incremento diferencial se haya añadido o removido, de aquí que sus unidades son kcal/(kg)(K).

No tenemos que entender la entropía para utilizarla. En la mayoría de los compresores de alta velocidad, no hay un cambio de entropía apreciable durante la compresión. Así pues, si se conoce la entropía al inicio de la compresión (y se puede obtener de tablas), y si se conoce la presión de descarga, se pueden encontrar las propiedades del vapor de la descarga en las tablas de propiedades del vapor sobrecalentado.

La entropía, es pues, una relación que describe la energía relativa en el refrigerante, y se determina dividiendo la cantidad de calor en el líquido o en el vapor, por su temperatura absoluta.

La entropía no se utiliza mucho en trabajos en el campo, pero es muy útil en combinación con el diagrama de Mollier para estimar la temperatura de descarga del compresor. Ejemplo: un compresor que trabaja con R-22, descarga el vapor a una presión de 174 psia (1,200 kPa). Suponiendo que la entropía inicial del vapor que entra al compresor es de 0.227 kcal/kg K ¿cuál es la temperatura y volumen del vapor de descarga? Como ya se mencionó, no hay cambio de entropía durante la compresión; así que la entropía del vapor de la descarga, también es 0.227 kcal/kg K. Simplemente, se buscan la temperatura y el volumen correspondientes en la tabla 12.14, los cuales son 54°C y 22.57 l/kg.

Propiedades del Vapor Sobrecalentado

En un sistema de refrigeración, el vapor saturado en el evaporador, es sobrecalentado un poco en el momento que sale del evaporador (generalmente de 4° a 7°C), y luego se sobrecalienta un poco más en la línea de succión.

Al llegar al compresor, se le agrega un sobrecalentamiento adicional por el trabajo hecho por la compresión. En el

condensador, algo del calor removido es latente, y otra parte es sensible al sobrecalentamiento.

Las tablas de propiedades del vapor sobrecalentado, proporcionan esta información adicional. Aunque los diagramas de Mollier son más fáciles de usar, no son tan precisos como las tablas.

En la tabla 12.14, se muestra una sección de las tablas de vapor sobrecalentado del R-22, a intervalos de presión.

En el primer renglón está la presión absoluta (kPa), en el siguiente renglón está la presión manométrica (psig), y en seguida, la temperatura de saturación correspondiente a esas presiones. Por ejemplo, a la presión absoluta de 1,200 kPa, la presión manométrica es 159.3 psig, y la temperatura de saturación a esa presión es 30.25°C.

Enseguida, hay tres columnas: "V" o volumen en litros por kilogramo; "H" o contenido de calor (entalpia) en kilocalorías por kilogramo arriba de líquido a -40°C, "S" o entropía en kilocalorías por kilogramo y por grado Kelvin (desde -40°C). Los valores entre paréntesis, son las propiedades de saturación; es decir, 19.61 es el volumen del vapor saturado de R-22, a la presión de 1,200 kPa y a la temperatura de 30.25°C.

Todas las demás cantidades en cada columna debajo de estas propiedades, son los valores del vapor sobrecalentado a diferentes temperaturas de sobrecalentamiento. Por ejemplo, la entalpia del vapor de R-22 a una presión de 159.3 psig, con un sobrecalentamiento de 12.75°C (43-30.25), es 64.59 kcal/kg.

Propiedades Físicas y Químicas

Las propiedades físicas y químicas de los refrigerantes, no determinan directamente el calor que un refrigerante puede remover o absorber.

7. No Debe ser Tóxico ni Venenoso

Puesto que los refrigerantes son manejados por muchas personas, desde el fabricante, al distribuidor hasta el usuario, no deben representar ningún peligro. La mayoría de los refrigerantes sintéticos (hechos por el hombre, no encontrados en la naturaleza) no son tóxicos, y el riesgo es muy leve o prácticamente inexistente. Sin embargo, hay algunos refrigerantes que son realmente dañinos al hombre, aún en pequeñas concentraciones. En altas concentraciones en el aire, cualquier refrigerante puede causar asfixia, debido a que desplazan el aire y crean insuficiencia de oxígeno. La magnitud del daño depende de la concentración de refrigerante, su naturaleza y del tiempo que se esté expuesto a él.

Hasta esta fecha, en nuestro país no se ha definido claramente una reglamentación o clasificación para refrigerantes, de acuerdo a su seguridad relativa.

GRUPO	D E F I N I C I O N	EJEMPLOS
1	Gases o vapores los cuales en concentraciones de 0.5% a 1% con duración de exposición de 5 minutos son letales o producen daños serios.	Bióxido de Azufre (R-764).
2	Gases o vapores los cuales en concentraciones de 0.5% a 1% con duración de exposición de 30 minutos son letales o producen daños serios.	Amoníaco, Bromuro de Metilo.
3	Gases o vapores los cuales en concentraciones de 2% a 2.5% con duración de exposición de 1 hora son letales o producen daños serios.	Tetracloruro de Carbono, Cloroformo y Formato de Metilo.
4	Gases o vapores los cuales en concentraciones de 2% a 2.5% con duración de exposición de 2 hora son letales o producen daños serios.	Dicloroetileno, Cloruro de Metilo y Bromuro de Etilo.
Entre 4 y 5	Clasificados como algo menos tóxico que el grupo 4.	Cloruro de Metileno, Cloruro de Etilo y R-113.
5a	Mucho menos tóxico que el grupo 4 pero algo más tóxico que el grupo 6.	R-11, R-22 y Bióxido de Carbono.
5b	Gases o vapores cuyos datos disponibles los clasificarían ya sea en el grupo 5a o grupo 6.	Etano, Propano y Butano.
	Gases o vapores los cuales en concentraciones de por lo menos	R-12. R-500. R-114.

Tabla 12.15 - Clasificación de refrigerantes por su toxicidad de acuerdo a UL y a la NBFU.

En muchos países, los refrigerantes están bien clasificados de acuerdo a su grado de toxicidad, y también a su grado de inflamabilidad.

Organizaciones como Underwriter's Laboratories, Inc. (UL) y National Board of Fire Underwriter's (NBFU) en Estados Unidos, han clasificado los refrigerantes de acuerdo a su toxicidad en 6 grupos. Los refrigerantes del grupo 1 son los más tóxicos, y los del grupo 6 son los menos tóxicos. En la tabla 12.15, se muestran estos grupos.

Por ejemplo, como se puede apreciar en la tabla, el R-12 no es tóxico y una persona puede vivir en una atmósfera con un alto porcentaje de este refrigerante durante períodos prolongados. En cambio, otros refrigerantes como el amoníaco (R-717), son tan tóxicos, que una exposición de 30 minutos en aire, con una concentración de 0.5% en volumen, se considera peligrosa y hasta letal. El bióxido de azufre, que ya no se usa como refrigerante desde hace muchos años, es el más tóxico, ya que la misma concentración, pero con menos tiempo de exposición, puede ser letal.

Un punto interesante es, que estos dos refrigerantes aunque son los más tóxicos, tienen la ventaja de que su olor es muy ofensivo, y ponen alerta a la persona desde el momento que aparece el primer rastro de refrigerante.

Sin embargo, otros refrigerantes inoloros, como el R-30 (cloruro de metileno) o el R-40 (cloruro de metilo), son muy tóxicos, pero a causa de su cualidad inolora, pueden ser considerados aún más peligrosos, ya que no "avisan" como el amoníaco.

Otro factor que debe ser considerado en el tema de toxicidad de los refrigerantes, es la reacción a la flama. Los refrigerantes halogenados como el R-11, R-12, R-22, R-502, etc., se descomponen cuando se someten a altas temperaturas como las de una flama, formando vapores altamente tóxicos, aunque estos refrigerantes en sí son inofensivos. Cuando se utiliza una flama en presencia de estos refrigerantes, debe estar el área bien ventilada.

8. No Debe ser Explosivo ni Inflamable

Los refrigerantes varían extremadamente en cuanto a su facultad para arder o soportar la combustión.

En E.U. la organización National Refrigeration Safety Code (NRSC), cataloga a los refrigerantes en tres grupos de acuerdo a su grado de inflamabilidad o explosividad:

Grupo Uno - Los refrigerantes más seguros.
Grupo Dos - Refrigerantes moderadamente inflamables.
Grupo Tres - Refrigerantes inflamables.

Grupo Uno. Los refrigerantes en este grupo pueden utilizarse en cantidades mayores en cualquier instalación. Las cantidades permisibles son especificadas por la American Standard Safety Code for Mechanical Refrigeration. Estas cantidades son:

a. Hasta 9 Kg (20 lb) en cocinas de hospitales.
b. Hasta 23 Kg (50 lb) en concurrencias públicas.
c. Hasta 23 Kg (50 lb) en uso residencial (si se toman precauciones).
d. Hasta 9 Kg (20 lb) en sistemas de aire acondicionado residencial.

Algunos refrigerantes del Grupo Uno son:

R-11* Tricloromonofluorometano.
R-12* Diclorodifluorometano.
R-22 Monoclorodifluorometano.
R-500 Mezcla azeotrópica de R-12 (73.8 %) y R-152a (26.2 %).
R-502 Mezcla azeotrópica de R-22 (48.8 %) y R-115 (51.2 %).
R-503 Mezcla azeotrópica de R-23 (40.1 %) y R-13 (59.9%).
R-744 Bióxido de carbono.

* El R-11 y el R-12, junto con otros clorofluorocarbonos (CFC's), están en proceso de defasamiento, ya que existe evidencia de que dañan la capa de ozono estratosférica (ver capítulo 9). Hasta esta fecha, los refrigerantes van a substituirlos (R-123 y R-134a), aunque tienen propiedades similares y se sabe que no son tóxicos ni inflamables, se les ha clasificado provisionalmente en el Grupo Uno, hasta que se concluyan sus pruebas toxicológicas.

Grupo Dos. Los refrigerantes de este grupo pueden ser ligeramente inflamables, independientemente de que sean o no tóxicos.

Algunos refrigerantes de este grupo son:

R-717 Amoníaco.
R-40 Cloruro de metilo.
R-764 Bióxido de azufre.

El amoníaco fue uno de los primeros refrigerantes utilizados, y en la actualidad, se emplea solamente en grandes instalaciones industriales y en algunos refrigeradores de absorción.

El R-40 y el R-764 ya no se usan en la actualidad. En un tiempo, el bióxido de azufre era el refrigerante más utilizado en refrigeradores domésticos. Aún existen algunas unidades trabajando cargadas con R-764 y R-40.

Grupo Tres. Los refrigerantes de este grupo forman mezclas combustibles, cuando se combinan con el aire. Los más comunes son:

R-170 Etano.
R-290 Propano.
R-600 Butano.

Estos compuestos en la actualidad ya no se utilizan como refrigerantes; por el contrario, debido a su alta inflamabilidad, algunos de estos refrigerantes, como el R-170, arden tan bien y tan rápidamente, que se usan como combustibles.

La diferencia entre un refrigerante muy inflamable (Grupo Tres) y uno moderadamente inflamable (Grupo Dos), depende de la proporción mezclada con el aire y el límite más bajo del rango. Un refrigerante del Grupo Dos, puede ser tan riesgoso como uno del Grupo Tres, si es que hay presente una cantidad suficiente. Por ejemplo, el rango inflamable del R-290 está entre 2% a 9% en el aire, mientras que el rango para el R-717 está entre 15% a 27%. El R-290 está catalogado de mayor riesgo, porque en pequeñas cantidades puede ser inflamable o hasta explosivo; sin embargo, el R-717 puede ser igual de riesgoso si está presente una cantidad suficiente para caer dentro del rango inflamable. La temperatura de flama cuando el amoníaco arde en el aire, es arriba de 1,650°C, y para el propano, es ligeramente más alta.

Los refrigerantes del Grupo Tres arden fácilmente en una amplia proporción de mezcla con el aire, y explotan violentamente si quedan encerrados en un lugar. Por supuesto que los refrigerantes inflamables pueden utilizarse con seguridad, y de hecho, así sucede, con vigilancia de parte del operario en lugares donde el riesgo de incendio es mínimo; pero es importante reconocer estos riesgos.

Clasificación Combinada. Una clasificación más actual de los refrigerantes, es la clasificación combinada en grupos de seguridad, hecha por las organizaciones American National Standards Institute (ANSI) y la American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), conocida como la norma ANSI/ASHRAE 34-1992. Esta clasificación combina la toxicidad con la inflamabilidad de los refrigerantes, y surgió de la revisión hecha a la norma 34-1989, la cual se hace

cada cinco años; pero en esta ocasión se hizo a los tres años (1989-1992). La necesidad de esta revisión, surgió al desarrollarse nuevos refrigerantes y descontinuar otros que destruyen la capa de ozono. Se volvió aparente que el sistema de clasificación existente, el cual había evolucionado a través de muchos años, no sería adecuado para clasificar los refrigerantes nuevos. Se ingenió un sistema menos arbitrario, y se cambió la manera de identificación de como se venía haciendo anteriormente, de clasificar por separado la toxicidad de la inflamabilidad con un designador básico.

La nueva clasificación de grupos de seguridad, es de acuerdo a los siguientes criterios:

a. La clasificación deberá consistir de dos caracteres alfanuméricos. La letra mayúscula indica la toxicidad, y el número arábigo denota la inflamabilidad (por ejemplo, B2 o A1).

b. En la clasificación de toxicidad, se asigna a los refrigerantes una de las dos clases - A o B - en base a la exposición permisible: la clase A, incluye refrigerantes a los cuales, no se ha identificado su toxicidad en concentraciones menores o iguales a 400 ppm (ligeramente o nada). La clase B, incluye refrigerantes para los cuales, existe evidencia de toxicidad en concentraciones por debajo de 400 ppm. (muy tóxicos).

c. En la clasificación de inflamabilidad, los refrigerantes se deberán asignar a una de tres clases - 1, 2 ó 3. La clase 1, incluye a refrigerantes que no muestran propagación de flama, al ser probados en aire a 101 kPa y a 18°C. La clase 2, incluye a refrigerantes que tienen un límite de inflamabilidad bajo (LFL)*, de más de 0.10 kg/m³ a 21°C y 101kPa, y un calor de combustión menor a 4,540 kcal/kg (19,000 kJ/kg). La clase 3, comprende los refrigerantes que son sumamente inflamables, tal como se define por medio del LFL*, menos o igual a 0.10 kg/m³ a 21°C y 101kPa, o por medio de un calor de combustión mayor o igual a 4,540 kcal/kg. En la tabla 12.16, se muestran estas clasificaciones.

INCREMENTO DE INFLAMABILIDAD	GRUPO DE SEGURIDAD	
Mayor Inflamabilidad	A3	B3
Menor Inflamabilidad	A2	B2
Propagación Nula de Llama	A1	B1
	Menor Toxicidad	Mayor Toxicidad

INCREMENTO DE TOXICIDAD

Tabla 12.16 - Clasificación actual de grupos de seguridad de refrigerantes.

REFRIG. N°	Nombre Químico	Grupo de Seguridad	
		Anterior (34-1989)	Nuevo (34-1992)
12	Diclorodifluorometano	1	A1
22	Clorodifluorometano	1	A1
30	Cloruro de metileno	2	B2
123	2,2-dicloro-1,1,1-trifluoroetano	---	B1
134a	1,1,1,2-tetrafluoruro etano	---	A1
170	Etano	3a	A3
500	12/152a (73.8/26.2)	1	A1
502	22/115 (48.8/51.2)	1	A1
717	Amoníaco	2	B2
718	Agua	---	A1

Tabla 12.17 - Clasificaciones de grupos de seguridad para algunos refrigerantes, sugún norma de ANSI/ASHRAE.

** LFL, Lower Flammability Limit - Límite de Inflamabilidad Baja, es la concentración mínima de refrigerante que es capaz de propagar una llama, a través de una mezcla homogénea de refrigerante y aire, bajo ciertas condiciones de prueba.*

En la tabla 12.17, se resume una comparación del sistema actual de clasificación de refrigerantes con el sistema anterior, de acuerdo a la norma ANSI/ASHRAE 34.

9. No Debe Tener Efecto Sobre Otros Materiales

Los materiales empleados en la construcción de equipos de refrigeración, generalmente no son directamente de interés para el técnico de servicio, puesto que la elección de esos materiales la hacen los fabricantes de equipo. Sin embargo, a continuación se mencionarán los efectos de algunos refrigerantes sobre varios materiales representativos, tales como metales, plásticos y elastómeros.

Compatibilidad con Metales. Debe seleccionarse un refrigerante que no tenga ningún efecto sobre los metales. Algunos refrigerantes, afortunadamente muy pocos, bajo ciertas condiciones, tienen efectos corrosivos sobre algunos metales o producen reacciones químicas que forman productos indeseables o contaminantes. A continuación se mencionan algunos ejemplos.

Los refrigerantes halogenados, bajo condiciones normales de operación, pueden utilizarse satisfactoriamente con la mayoría de los metales que comúnmente se usan en los sistemas de refrigeración, tales como: acero, hierro fundido, bronce, cobre, estaño, plomo y aluminio. Sin embargo, en condiciones severas de operación, como alta temperatura y en presencia de humedad, se afectan sus propiedades y reaccionan con los metales. No se recomienda utilizar refrigerantes halogenados con aluminio que contenga más del 2% de magnesio o magnesio y zinc, aún cuando la presencia de humedad sea muy pequeña.

Otras excepciones de reacciones con metales son las siguientes:

El R-717 (amoníaco) no debe utilizarse con cobre o cualquier aleación de cobre como bronce, estaño y zinc, ya que el amoníaco se combina rápida y completamente con cualquier humedad presente, provocando la corrosión de esos metales.

El R-40 (cloruro de metilo) no debe utilizarse con aluminio en cualquier forma. Se forma un gas altamente inflamable, y es grande el riesgo de explosión.

El R-764 (bióxido de azufre) en presencia de agua forma ácido sulfuroso, el cual ataca rápidamente al acero, al fierro, y en menor grado, a otros metales.

Compatibilidad con Elastómeros. Existe una variación considerable, en cuanto a los efectos producidos por los refrigerantes en los elastómeros y hules utilizados, tales como anillos "O", juntas, sellos, empaques y demás. Esto se debe a que los elastómeros contienen, además del polímero base, plastificantes y otros productos.

En la tabla 12.18, se muestran los efectos producidos en algunos elastómeros. Para medir este efecto, se sumergen muestras del material en refrigerante a temperatura ambiente, hasta conseguir la deformación (hinchamiento lineal) de equilibrio o máxima. Otros efectos, tales como extracción e hinchamiento o encogimiento permanente, son también importantes para determinar la compatibilidad de los refrigerantes con los elastómeros o plásticos, pero el hinchamiento lineal, es una muy buena indicación. En algunas circunstancias, la presencia de aceite lubricante, tenderá a alterar el efecto de refrigerante puro.

Compatibilidad con Plásticos. La mayoría de los materiales plásticos, no son afectados por los refrigerantes halogenados, por lo que se pueden utilizar en forma satisfactoria en la mayoría de las aplicaciones. Una excepción es el poliestireno, ya que algunos refrigerantes como el R-11 y el R-22, lo disuelven; el R-12 también, pero en menor grado.

En la tabla 12.19, se muestra el efecto de algunos refrigerantes sobre los plásticos más comunes.

En general, el efecto sobre los plásticos disminuye, a medida que aumenta el contenido de flúor en la molécula de los refrigerantes. Antes de utilizar algún material plástico con los refrigerantes, es conveniente realizar un ensayo de compatibilidad para una aplicación específica.

REFRIG. N°	% DE HINCHAMIENTO LINEAL A TEMP. AMBIENTE					
	Neoprene W	Buna N	Buna S	Hypalon 48	Hule Natural	Viton A
12	1	2	3	1	6	12
22	0	26	4	3	6	16
30	37	52	26	---	34	---
134a	0.7	0	1.1	0	1.3	13
502	0	7	3	2	4	10

Tabla 12.18 - Efecto de los refrigerantes líquidos sobre los elastómeros.

La resistencia del plástico a los refrigerantes, se puede ver alterada por variaciones en la estructura del polímero, agentes aglutinantes, plastificantes, temperatura, proceso de moldeado, etc.

10. Fácil de Detectar Cuando se Fuga

Todos los refrigerantes tienen una tendencia a fugarse, y cuando esto sucede, el refrigerante seleccionado debe ser fácilmente detectable.

En la actualidad, esto ya no es una deficiencia en ningún refrigerante, ya que se han desarrollado varios métodos para detectar fugas de cualquier refrigerante. Existen varios factores que determinan la tendencia de los refrigerantes a fugarse. Presión, viscosidad y densidad, son algunos de ellos. Cuando estas características son las mismas para diferentes refrigerantes, el que tiene más tendencia a fugarse, es el de menor peso molecular.

El razonamiento de por qué sucede esto, es simple. El refrigerante con mayor peso molecular, tiene moléculas más grandes. Esto significa que por una grieta de cierto tamaño, se fugaría más fácilmente un refrigerante de bajo peso molecular, que uno de mayor peso molecular.

En la tabla 12.20, se muestran los olores característicos, el peso molecular, y la raíz cuadrada del peso molecular de algunos refrigerantes. Matemáticamente, el tamaño de las moléculas de un compuesto, es proporcional a la raíz cuadrada del peso molecular. En la tabla se puede observar que el amoníaco, tiene una molécula de aproximadamente la mitad de tamaño de la del R-22. Esto significa que, en condiciones iguales de las propiedades mencionadas, se requeriría una grieta del doble de tamaño para que

REFRIG. N°	% DE HINCHAMIENTO LINEAL A TEMPERATURA AMBIENTE						
	Nylon	Acetato de Celulosa	Nitrato de Celulosa	Teflón	Polietileno	Poliestireno	Cloruro de Polivinilo
12	0	0	0	0	1	-0.1	0
22	1	---	--	1	2	---	---
30	0	D	D	0	5	D	2

Tabla 12.19 - Efecto de algunos refrigerantes sobre los plásticos.
--- *= no ensayado.*
D *= Desintegrado.*

Refrigerante No.	TENDENCIA A FUGARSE		
	Olor Característico	Peso Molecular	$\sqrt{P.M.}$
12	Ligeramente Etereo	120.93	10.99
22	Ligeramente Etereo	86.48	9.30
30	Etereo Dulce	85.00	9.22
123	Ligeramente Etereo	152.95	12.37
134a	Ligeramente Etereo	102.03	10.10
170	Etereo Dulce	30.05	5.48
500	Ligeramente Etereo	99.31	9.96
502	Ligeramente Etereo	111.63	10.56
717	Picante	17.03	4.12
718	Ninguno	18.02	4.24

Tabla 12.20 - Pesos moleculares y olores característicos de algunos refrigerantes.

se fugue el R-22 que para el R-717. Esta es la razón por la que en las instalaciones de refrigeración de amoníaco, es muy común el olor, debido a la facilidad con que se fuga este refrigerante.

Un poco de olor en los refrigerantes puede ser una ventaja, ya que cualquier fuga, por muy pequeña, podría ser notada de inmediato y efectuarse la corrección de la misma, antes de perder todo el refrigerante o se haya ocasionado un daño mayor.

Aunque un olor fuerte y picante, como el de amoníaco, ayuda a indicar la presencia de una fuga, también podría ocasionar pánico en lugares públicos, o sacar a la gente de sus casas, y en general, crear problemas más importantes que la simple pérdida de refrigerante. Por lo tanto, aunque un ligero olor pudiera ser ventajoso, un refrigerante sin olor será normalmente mejor que un olor extremadamente ofensivo. La excepción a esto, son los refrigerantes que no tienen olor y son muy tóxicos, como el R-170. Algunas veces se añaden a estos compuestos algún olor irritante, como medida de precaución.

Detección de Fugas. La detección de fugas es un problema continuo, principalmente con los refrigerantes que no tienen olor apreciable, como los halogenados, pero en la actualidad se han mejorado los métodos que facilitan su detección.

Por muchos años, el personal de servicio ha usado equipo detector de fugas, al hacerle servicio a sistemas de refrigeración. Los detectores de fugas existen no sólo para señalar fugas en puntos específicos, sino también para monitorear un cuarto de máquinas entero sobre una base continua. Existen varias razones para detectar fugas, como son: conservación de los refrigerantes, protección de equipo valioso, reducción de emisiones a la atmósfera y protección de los empleados.

El método para probar fugas varía con el refrigerante utilizado. Sin embargo, todos los métodos tienen un procedimiento común: aplicar presión al sistema con nitrógeno o bióxido de carbono.

Precaución: Nunca utilice oxígeno o acetileno para desarrollar presión, al intentar detectar fugas. El oxígeno explota en la presencia de aceite. El acetileno se descompone y explota, si se presuriza arriba de 210 a 310 kPa (15 a 30 psig).

Con la precaución debida, se pueden utilizar el nitrógeno y el bióxido de carbono con seguridad, cuando se presurice un sistema para detectar fugas. La presión en el cilindro de nitrógeno, es aproximadamente 14 mega pascales MPa (2,000 psig), y en un cilindro de bióxido de carbono es de aproximadamente 6 MPa (800 psig). Cuando se pruebe de fugas con cualquiera de estos dos gases, siempre debe usarse un dispositivo reductor de presión que tenga regulador y válvula de seguridad .

Si se acumulara presión dentro de un sistema de refrigeración, éste explotaría. Muchos accidentes han sido causados por usar exceso de presión al probar de fugas.

La mayoría de los sistemas tienen una placa donde se recomienda la presión de prueba. Antes de presurizar el sistema con nitrógeno o bióxido de carbono, debe buscarse esa placa. Si no se conoce esa presión, nunca sobrepase los 1,300 kPa (170 psig) al probar parte o todo el sistema.

Al iniciar la prueba, es necesaria una presión positiva (mayor que la atmosférica) de 140 a 310 kPa (5 a 30 psig), a través de todo el circuito. Si no se encuentran fugas, entonces se prueba otra vez a la presión normal de condensación para el refrigerante utilizado, (p.e. 730 a 1,040 kPa [90 a 130 psig] para el R-12).

Es necesario revisar que no existan fugas, antes de hacer vacío a la unidad. La humedad puede entrar al sistema a través de una fuga, durante la evacuación. Si se detectan una o varias fugas, es muy importante revisar de nuevo toda la unidad completa, una vez hecha la reparación respectiva. Esto sirve para probar la reparación, y al mismo tiempo, detectar si hay fugas adicionales.

Tipos de Detectores. Las fugas en los sistemas de refrigeración, son usualmente muy pequeñas. Por lo tanto, los dispositivos detectores deben ser muy sensibles. Los detectores de fugas pueden ubicarse en dos amplias categorías: los que señalan fugas en puntos específicos y los monitores de área. Algunos de los dispositivos comúnmente empleados son: soluciones de burbujas (jabón), lámpara de haluro, detectores electrónicos, tintes fluorescentes y tintes para refrigerantes. Cada método tiene su ventaja. Antes de comprar cualquiera de ellos, deberán considerarse varios criterios instrumentales, incluyendo la sensibilidad, los límites de detección y la selectividad.

Usando la selectividad como criterio, los detectores de fugas pueden ubicarse en una de tres categorías: no selectivos, selectivos de halógeno o específicos com-

puestos. En general, mientras más específico es el detector, es más complejo y más caro.

Los detectores no selectivos, son aquellos que detectan cualquier tipo de fuga o vapor presente, sin importar su composición química. Típicamente, estos detectores son simples de usar, muy robustos, no son costosos y casi siempre portátiles. Sin embargo, su incapacidad para ser calibrados, su falta de selectividad y su falta de sensibilidad, limitan su uso a monitoreo de área.

Los detectores selectivos de halógeno utilizan un sensor especializado, que les permite detectar compuestos que contienen flúor, cloro, bromo y yodo, sin interferencia de otros compuestos. La mayor ventaja de estos detectores, es la reducción en el número de las molestas "falsas alarmas", causadas por la presencia de compuestos en el área, diferentes a los del objetivo.

Estos detectores típicamente son fáciles de usar, y tienen una mayor sensibilidad que los anteriores. Los límites de detección típicamente son: menos de 5 ppm cuando se usan como monitores de área, y menos de 1.4 g/año (0.05 oz/año) cuando se usan como detectores en puntos específicos. Son muy durables, y además, pueden ser calibrados fácilmente .

Los detectores específicos compuestos son los más complejos y también los más costosos. Estas unidades son típicamente capaces de detectar la presencia de un solo compuesto, sin interferencia de otros compuestos.

A continuación, se describen los métodos más comúnmente utilizados para detectar fugas, y algunas precauciones que se deben tener al utilizar los detectores.

Soluciones de Burbujas. El método de burbujas para detectar fugas, es probablemente tan antiguo como la necesidad de detectar las fugas, pero aún tiene su lugar. Consiste en usar una solución jabonosa, la cual se aplica con cepillo o esponja sobre el área donde se sospecha que hay fuga. El gas que pasa a través de la solución formará burbujas.

Existen soluciones especiales patentadas y diseñadas para detectar fugas, en vez de simple jabón. Estas forman una burbuja con una película más fuerte y más durable. La solución deberá limpiarse de la tubería o conexión después de la prueba.

En algunos casos, el ensamble completo se sumerje en agua, en kerosina o en alguna otra solución especial para detectar fugas. Agregar detergente en el líquido es útil, para evitar que las burbujas se adhieran al objeto donde no puedan ser vistas con facilidad.

Para los refrigerantes hidrocarburos (como el etano o el metano), el método de burbujas es el único método práctico, ya que estos refrigerantes no tienen olor, y no se pueden detectar con la lámpara de haluro o detector electrónico.

Algunas ventajas de utilizar el método de burbujas, son la facilidad de uso, bajo costo y fácil aplicación, comparado con la instrumentación. Una desventaja es que las fugas muy grandes, soplan a través de la solución y no aparecerán burbujas.

Tintes. Los tintes tanto de refrigerante como fluorescentes, son otra herramienta para ayudar a resolver problemas de fugas. El tinte de refrigerante dentro de un sistema, producirá un color rojo brillante en el punto de la fuga.

El refrigerante teñido de rojo (esta mezcla la prepara el fabricante de refrigerante) se introduce al sistema. Al escapar el refrigerante teñido por alguna grieta, el refrigerante se evapora y el tinte queda sobre la tubería en forma de mancha roja, muy persistente. Para asegurar una máxima detección de fugas, en la mayoría de los sistemas debe ser reemplazada la carga completa de refrigerante, por el refrigerante que contiene el tinte. La mayoría de las fugas se mostrarán en un tiempo muy corto. Sin embargo, en algunos casos será necesario esperar hasta 24 horas, debido a la proporción de circulación de aceite; ya que este método depende de la proporción con que circula el aceite.

Otro método empleado desde hace varios años, es el tinte fluorescente. Estos tintes, invisibles bajo la luz ordinaria, pero visibles bajo luz ultravioleta (UV), se utilizan para señalar fugas en los sistemas. Estos tintes comúnmente se colocan en el aceite lubricante, al momento de darle servicio al sistema. Al igual que los otros tintes, en el lugar de la fuga quedará una mancha, la cual se detecta solamente mediante la luz ultravioleta.

Antes de agregar los tintes al sistema, es recomendable asegurarse que sean compatibles con el refrigerante y el aceite.

Lámpara de Haluro. También se le conoce como antorcha o soplete de haluro. Esta ha sido utilizada durante muchos años para detectar fugas de refrigerantes halogenados.

El principio sobre el que funciona este detector es el siguiente: la mayoría de los sopletes (alcohol, propano, acetileno, etc...) arden con una flama casi incolora. Si se coloca una tira de cobre en esta flama, seguirá siendo incolora. Sin embargo, si se pone en contacto con la tira caliente de cobre aún la más pequeña cantidad de refrigerante halogenado (R-12, R-22, R-500, R-502, etc.), la flama inmediatamente tomará un color verde claro. El color se debe a la reacción entre el refrigerante descompuesto y la placa de cobre caliente, montada en el centro del quemador de la antorcha. El aire para la combustión es atraído hacia el quemador, a través de una manguera flexible. El otro extremo de la manguera está libre, y es el que se mueve a diferentes partes del sistema. Si este extremo de la manguera se coloca cerca de una fuga, algo del vapor del refrigerante fugado será succionado a través de la manguera hacia el quemador. Inmediatamente, el color de la flama se volverá verde, indicando la fuga.

La lámpara de haluro puede utilizarse con todos los refrigerantes halogenados, excepto aquellos que contie-

nen un alto porcentaje de flúor, tales como el R-13 y el R-14. Una vez adquirida la habilidad de uso, es fácil y rápida de usar, y puede detectar fugas muy pequeñas.

Puesto que la detección de fugas con la lámpara de haluro depende de la observación visual, su buen uso depende de qué tan bien pueda apreciar el operador los cambios de color . Hay indicios de que después de largos períodos de uso, el ojo se fatiga y es más difícil notar el cambio de color.

No se recomienda el uso de la lámpara de haluro para detectar fugas de refrigerantes altamente inflamables, como el R-170 (etano).

Detector Electrónico. El detector de fugas más sensible de todos, es el electrónico. Utiliza circuitos transistorizados y el abastecimiento de energía es por medio de pilas. Existen tres tipos:

1. Detector de fuentes de Iones.
2. Tipo termistor (basado en cambio de temperatura).
3. Tipo dieléctrico, mide el balance en el aire circundante, y luego responde sólo a gas halógeno.

El detector de fugas electrónico se ha vuelto el más ampliamente utilizado, tanto en el campo de servicio, como en la fabricación y ensamble de equipos.

Para ponerlo en operación, el detector se enciende y se ajusta en una atmósfera normal. Al hacer esto, el detector sólo zumba; cuando "siente" algún refrigerante halogenado (R-12, R-22, R-502, R-500, etc.) el detector lo delatará. Entonces, la sonda detectora de fugas se pasa sobre las superficies sospechosas de fugas. Si hay una fuga, por pequeña que sea, el refrigerante halogenado es atraído hacia la sonda. El detector de fugas emitirá un sonido estridente o una luz intermitente, o ambos; porque el nuevo gas cambia la resistencia en el circuito.

El principio de operación de los detectores de fugas electrónicos, está basado en la diferente conductividad de diferentes gases. En el detector del tipo de fuente de iones, el refrigerante es descompuesto a alta temperatura por un alambre de platino, y se mide el cambio de corriente debido a la ionización del refrigerante. Algunos detectores se basan en la diferencia dieléctrica de los gases. Los gases fluyen entre las capas de un capacitor. Estos gases actúan como el dieléctrico (aislante) para cada capacitor. Las diferentes frecuencias de un oscilador indican la fuga.

Debido a la gran sensibilidad de estos detectores, se deben tener algunos cuidados, para asegurarse que no se obtengan falsas indicaciones.

1. Aunque están diseñados para usarse con refrigerantes halogenados, algunas sustancias pueden interferir en la prueba, tal es el caso del alcohol y el monóxido de carbono.
2. La sensibilidad depende de la naturaleza del refrigerante; por ejemplo, el R-12 y el R-22 pueden detectarse igualmente bien. El R-11 requerirá una fuga 1.25 veces la del R-12, para la misma sensibilidad. Para el R-13, la fuga necesitaría ser más de 30 veces la del R-12.
3. Deben reducirse al mínimo las corrientes, apagando ventiladores y otros dispositivos que causen movimiento de aire.
4. Siempre coloque la punta sensora debajo de donde se sospeche que hay fuga, ya que los refrigerantes halogenados son más pesados que el aire, tendiendo a ir hacia abajo.

Al localizar fugas con el detector electrónico, se debe de mover muy lentamente la punta sensora (aproximadamente 3 cm por segundo).

El detector electrónico, al igual que la lámpara de haluro, es difícil de usar alrededor de tuberías o componentes aislados con uretano o poliestireno; ya que estos materiales se "espuman" con algunos refrigerantes halogenados (R-11 o R-12), al quedar estos atrapados en las pequeñas celdas. Al reventarse, estas celdas liberan pequeñas cantidades de refrigerante; por lo que estos dispositivos darán indicación de fuga todo el tiempo. En estos casos, es mejor usar la prueba de burbujas.

Para localizar fugas en sistemas que usan amoníaco como refrigerante, existen dos métodos: la mecha (o vela) de azufre y el papel tornasol. El más común es el primero, y no es otra cosa que una mecha impregnada de azufre, la cual prende y se mueve por donde se sospecha que hay fuga. Al arder el azufre se forma bióxido de azufre, el cual en presencia del amoníaco, produce un humo blanco muy denso, indicando la fuga. Mientras mayor sea la fuga, más blanco y más denso es el humo.

El método del papel tornasol consiste en acercar una tira húmeda de este papel, a las partes donde se sospecha que haya fuga. Como el amoníaco es extremadamente alcalino, al contacto con la tira de papel tornasol, ésta cambiará de color.

Refrigerante No.	Prueba de Burbuja	Lámpara de Haluro	Detector Electrónico	Tintes	Mecha de Azufre
12	SI	SI	SI	SI	NO
22	SI	SI	SI	SI	NO
30	SI	SI	SI	SI	NO
123	SI	SI	SI	SI	NO
134a	SI	SI	SI	SI	NO
170	SI	NO	NO	SI	NO
500	SI	SI	SI	SI	NO
502	SI	SI	SI	SI	NO
717	SI	NO	NO	NO	SI
718	SI	NO	NO	NO	NO

Tabla 12.21 - Pruebas de fugas recomendadas para algunos refrigerantes.

En la tabla 12.21, se muestran las pruebas de fugas aplicables a cada refrigerante.

11. Debe ser Miscible con el Aceite

La miscibilidad del aceite y el refrigerante, juega un papel muy importante en el diseño de los sistemas de refrigeración. La miscibilidad del aceite con el refrigerante, se puede definir como la capacidad que tienen estos para mezclarse. En el capítulo 4, "Separadores de Aceite", se explica ampliamente la miscibilidad de los refrigerantes con los aceites, tanto minerales como sintéticos.

Aunque la función del aceite es lubricar las partes móviles del compresor, no se puede evitar que algo de aceite se vaya hacia el sistema junto con el refrigerante, aun cuando se cuente con un separador de aceite. Por lo tanto, hay dos partes del sistema donde esta relación es de interés: el cárter del compresor y el evaporador.

Esta miscibilidad tiene sus ventajas y desventajas. Las principales ventajas son: la facilidad relativa para retornar el aceite al compresor, y la lubricación de diferentes partes del sistema, como válvulas. Las desventajas son: la dilución del aceite en el cárter del compresor, disminución de la transferencia de calor en el evaporador, falta de lubricación y problemas de control.

En la tabla 12.22, se muestran las relaciones de solubilidad entre un aceite mineral y los refrigerantes. Como se puede observar, algunos refrigerantes son completamente miscibles con el aceite, algunos son parcialmente solubles, y otros prácticamente son insolubles. Los ejemplos de esta tabla son soluciones que contienen un 10% en peso de aceite mineral.

A continuación, se analizarán brevemente las relaciones entre refrigerantes y aceites, en los dos puntos de interés mencionados. En el capítulo 4, "Separadores de Aceite", se mencionan con más detalle estas relaciones en todos los componentes del sistema.

Solubilidad en el Cárter. Los refrigerantes que son completamente miscibles con el aceite, como el R-12, el mayor problema es la dilución del aceite en el cárter del compresor cuando el sistema no está en operación. Puesto que la presión tiende a igualarse entre el lado de alta y el de baja, cuando el sistema no está operando, el refrigerante tiende a acumularse en el cárter. Debido a la miscibilidad, el refrigerante se disuelve en el aceite y cuando esto sucede, los cojinetes pueden no tener la lubricación suficiente por un breve período al arranque del compresor. Eventualmente, esta condición puede causar desgaste excesivo y falla de los cojinetes.

Este problema se previene reduciendo la cantidad de refrigerante en el aceite, por medio de dos métodos:

a) Calentadores de cárter.

b) Mediante el uso de una válvula solenoide conectada al control de baja o al termostato (pump down).

Si el refrigerante no es soluble en el aceite o es parcialmente soluble, como es el caso del R-717 y el R-22, se pueden

Refrigerante No.	Solubilidad	Separación de Dos Capas Líquidas (°C)	Posición de la Capa de Aceite
12	Miscible	-68	Arriba
22	Buena	-9	Arriba
30	Miscible	---	---
123	Miscible	---	---
134a	Pobre	---	---
170	Miscible	---	---
500	Miscible	---	Arriba
502	Regular	82	Arriba
717	No	---	Abajo
718	No	---	Abajo

Tabla 12.22 - Relaciones entre un aceite mineral y algunos refrigerantes.

formar dos capas en el cárter cuando el sistema no está operando. Con los refrigerantes pesados como el R-22, la capa de aceite estará arriba, mientras que con los ligeros como el amoníaco, la capa de aceite estará abajo. Puesto que la capa de aceite no contiene mucho refrigerante, sus propiedades lubricantes no cambian significativamente. Aunque en el fondo esté la capa de refrigerante líquido rodeando los cojinetes, generalmente a éstos les queda suficiente aceite para darles una lubricación adecuada durante el arranque, hasta que se obtengan las condiciones normales de operación.

Las temperaturas a las que se forman dos capas líquidas son diferentes para cada refrigerante, como se muestra en la tabla 12.22. La temperatura de separación, depende también de la clase y cantidad de aceite. Por ejemplo, con una mezcla de 90% refrigerante 22 y 10% de aceite mineral, están presentes dos capas líquidas a temperaturas menores a -9°C. Cuando el aceite aumenta a 18%, la temperatura de separación es de 1°C. A concentraciones más altas de aceite, la temperatura disminuye de tal manera, que la separación se lleva a cabo a -40°C o menos, cuando está presente un 70% de aceite. Por esta razón, es muy poco probable que se presenten dos capas líquidas en el cárter cuando se usa R-22.

Solubilidad en el Evaporador. En el evaporador las temperaturas son, por supuesto, más bajas que en el cárter; y la concentración de aceite es, relativamente más baja. Bajo estas condiciones, el factor importante es la viscosidad del aceite. Esto es importante porque un aceite demasiado viscoso, es difícil de remover del evaporador; mientras que un aceite demasiado ligero es fácilmente "arrastrado" por el refrigerante, fuera del evaporador. Cuando el refrigerante se disuelve en el aceite, se reduce la viscosidad. Por lo tanto, como regla general, cuando la solubilidad del refrigerante en el aceite es alta, el aceite tiende a ser removido más fácilmente del evaporador. El diseño del evaporador y las dimensiones de la tubería, son también factores importantes para ayudar al aceite a salir del evaporador.

12. No Debe Reaccionar con la Humedad

Todos los refrigerantes absorben humedad en cantidades variables. En un sistema de refrigeración, esta cantidad debe mantenerse por debajo del límite máximo permisible, para que pueda operar satisfactoriamente. Por lo tanto, es imperativo que se elimine la humedad de los componentes del sistema durante su manufactura, y que se tomen precauciones para evitar que entre al sistema, durante las operaciones de instalación o de servicio. Los refrigerantes y los aceites son abastecidos por los fabricantes, con límites muy bajos de humedad. Se debe hacer un gran esfuerzo por mantener la humedad fuera de los sistemas de refrigeración, por dos principales razones:

1. El exceso de humedad, como el "agua libre", puede congelarse a bajas temperaturas y restringir o detener el paso de refrigerante, a través de la válvula de termo expansión o del tubo capilar.
2. El exceso de agua puede reaccionar con el refrigerante formando ácidos corrosivos, los cuales causarán atascamientos, corrosión, quemaduras del motocompresor, y en general, deterioro del sistema de refrigeración.

En el capítulo 1, "Filtros Deshidratadores", viene más información sobre la solubilidad del agua en los refrigerantes, y los problemas que causa en los sistemas de refrigeración.

La tabla 12.23, muestra la solubilidad del agua en fase líquida para algunos refrigerantes. El R-170 (etano) no está indicado porque por ser un hidrocarburo, para efectos prácticos, no absorbe agua; es decir, el agua no es soluble en este refrigerante, por lo que el agua está normalmente "suelta", congelándose en los puntos de baja temperatura. El R-717 (amoníaco) es miscible con el agua en todas las proporciones y a todas las temperaturas, por lo que no es problema la formación de hielo.

En la mayoría de los demás refrigerantes, la solubilidad con el agua es baja, especialmente a bajas temperaturas. Si en un refrigerante hay más agua de la que puede tener en solución a temperaturas por abajo de 0°C, se formará hielo y éste puede depositarse en las válvulas de expansión o tubos capilares. Se puede ver que este problema es más serio para el R-12 y menos serio para el R-22 y el R-134a, ya que, por ejemplo, a -10°C, el R-134a puede contener disueltas 476 ppm y el R-12 sólo puede tener 14 ppm.

El agua por sí sola, puede causar corrosión de las partes metálicas de un sistema de refrigeración, especialmente si algo de aire está presente. Se puede formar moho e incrustaciones, y emigrar a partes del sistema donde su presencia causará problemas. Cuando hay exceso de agua en un sistema de amoníaco, se forma una base fuerte, la cual puede afectar el aislamiento, las juntas, empaques y otras partes no metálicas del sistema.

Con los refrigerantes halogenados, el agua puede formar ácidos mediante una reacción llamada hidrólisis, principalmente ácido clorhídrico. Estos ácidos pueden corroer los metales y atacar el aislamiento del devanado del motocompresor. Normalmente, esta hidrólisis es muy lenta y se vuelve más seria si hay presente agua suelta. También, las altas temperaturas de operación aceleran la reacción.

Desde cualquier punto de vista, la presencia de agua en un sistema de refrigeración es indeseable.

13. Debe Ser un Compuesto Estable

En sistemas normales que estén razonablemente limpios y secos, la estabilidad del refrigerante no es un problema. La mayoría de los refrigerantes tienen una estabilidad adecuada para las aplicaciones donde se utilizan. Las temperaturas máximas recomendadas de exposición para diferentes refrigerantes, aparecen en la tabla 12.24. Se supone que el cobre, el acero y el aceite lubricante siempre están presentes en el sistema. Estas temperaturas límite se basan en la prueba de tubo sellado (ver capítulo 10 "Aceites"). De cualquier manera, son una buena guía para la operación de los equipos de refrigeración. Si no se exceden estos límites, el sistema debe operar satisfactoriamente por muchos años, en lo que al refrigerante concierne. Bajo condiciones anormales, habiendo presente excesivas cantidades de humedad, aire y quizá otros materiales extraños, las temperaturas de la tabla 12.24 pueden ser muy altas. Cuando esto ocurre, pueden resultar problemas operacionales, aún a temperaturas más bajas.

El amoníaco es un refrigerante estable bajo condiciones normales de operación, aun cuando las temperaturas de descarga del compresor, sean generalmente, más altas que las de los refrigerantes halogenados.

Refrigerante No.	TEMPERATURA °C								
	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
12	1.7	3.5	7	14	26	45	74	118	178
22	120	186	280	423	603	830	1,120	1,480	1,900
134a	193	262	343	476	596	772	978	1,227	1,467
500	48	77	117	179	256	360	493	655	850
502	40	65	104	160	239	339	472	649	860
717	SOLUBLE EN TODAS PROPORCIONES								

Tabla 12.23 - Solubilidad del agua en refrigerantes líquidos, en ppm en peso.

Mezclas de Refrigerantes

Por muchos años ha habido interés por el uso de refrigerantes mezclados, tanto en estudios de calorímetros como en pruebas en el campo. Cuando se consi-

REFRIG. No.	Temperatura Máxima para Exposición Continua en Presencia de Aceite, Acero y Cobre
12	120
22	135 a 150
500	120
502	135 a 150

Tabla 12.24 - Estabilidad térmica de algunos refrigerantes.

dera este tema, surgen una cantidad de preguntas. ¿Es seguro mezclar refrigerantes? ¿Cuáles son las ventajas y desventajas? ¿Cuándo pueden usarse las mezclas? ¿Cómo se afecta el funcionamiento del refrigerante? ¿Cómo cambiará la solubilidad del aceite? Estas y otras preguntas similares, en términos generales, no pueden ser totalmente contestadas. Cada mezcla propuesta debe ser examinada en detalle.

Obviamente, los refrigerantes que se mezclan deben ser compatibles entre sí; es decir, no deben tener efectos químicos uno sobre otro, ni inmediatamente ni por un largo período. Con los refrigerantes halogenados, los cuales por su naturaleza son todos similares, esto no es un problema. En sistemas herméticos, la mezcla no debe tener ningún efecto sobre el aislamiento eléctrico. Deberá tener suficiente estabilidad para dar años de operación libre de problemas. Como con cualquier otro refrigerante, una mezcla se desempeña mejor en el equipo que ha sido diseñado para ella.

Cuando se mezclan dos o más compuestos diferentes, los cuales se utilizan individualmente como refrigerantes, se pueden formar dos tipos de soluciones: una mezcla zeotrópica (o mezcla simple) o una mezcla azeotrópica. Ambos tipos de mezclas pueden operar en equipos de refrigeración, aunque las mezclas azeotrópicas tienen ciertas ventajas.

Un compuesto puro, tal como el R-134a, tiene una sola curva que define sus relaciones de presión y temperatura de saturación. Las mezclas azeotrópicas, tales como el R-502 y el R-507, también tienen una sola relación de presión-temperatura, igual que un solo compuesto puro. Las mezclas zeotrópicas se comportan un poco diferente, como se explicará a continuación.

Mezclas Zeotrópicas. Se llama así a las mezclas formadas por dos o más componentes (refrigerantes puros) de diferente volatilidad. Cuando estas mezclas se evaporan o se condensan en un sistema de refrigeración, su composición y su temperatura de saturación cambian. La palabra zeótropo se deriva de las palabras griegas *zein* = hervir, y *tropos* = cambiar.

Al hervir esta mezcla en un evaporador, la composición del líquido remanente cambia. Esto es, al empezar a hervir el líquido, se evapora un porcentaje más elevado del componente más volátil. Por lo tanto, conforme continúa hirviendo la mezcla, el líquido remanente tiene menor concentración del componente más volátil, y mayor concentración del menos volátil.

El cambio de composición del líquido, da como resultado un cambio en el punto de ebullición. La temperatura a la cual empieza a hervir el líquido (líquido saturado), se le conoce *punto de burbuja*. La temperatura a la cual se evapora la última gota de líquido (vapor saturado), se le llama *punto de rocío*. A una misma presión, la temperatura del punto de burbuja es más baja que la del punto de rocío para cualquier mezcla zeotrópica. A este fenómeno se le conoce como "*deslizamiento de temperatura*". En la figura 12.25 se muestra la composición del R-401A, durante su ebullición. Este es una mezcla zeotrópica formada por R-22 (53%), R-152a (13%) y R-124 (34%).

Este deslizamiento de temperatura también ocurre en el condensador, pero aquí, la temperatura de condensación disminuye en lugar de aumentar. El inicio de la condensación es en su punto de rocío, cuando todo el vapor se ha condensado, este es el punto de burbuja.

El deslizamiento de temperatura puede variar, dependiendo de la mezcla, desde 1° ó 2 °C hasta varias decenas de grados centígrados. Cuando una mezcla tiene un deslizamiento menor, que no conduce a errores consecuentes en el cálculo para una aplicación en un sistema de refrigeración, se le llama "*mezcla casi azeotrópica*".

De 1990 a la fecha, los fabricantes de refrigerantes han desarrollado más mezclas zeotrópicas de las que existían, hasta antes de dicho año. Estas mezclas son transitorias y se desarrollaron para substituir a los refrigerantes HCFC's, tales como el R-12, el R-22 y el R-502. Estos últimos van a dejar de fabricarse y usarse alrededor del año 2030. Estas mezclas ya se encuentran disponibles comercialmente, y algunas se van a quedar permanentemente como reemplazos para el R-22 y el R-502.

A las mezclas zeotrópicas comerciales, se les debe asignar un número de identificación en la serie 400. Este número indica qué componentes se encuentran en la mezcla, pero no el porcentaje de cada uno de ellos. La cantidad se designa como se muestra en la figura 12.3.

% en Peso Hervido	Composición del Líquido (% en Peso)		
	R-22	R-152a	R-124
0	53.0	13.0	34.0
20	46.6	13.2	40.2
40	37.3	13.6	49.1
60	27.5	13.7	58.8
80	13.8	12.5	73.7
98	0	2.5	97.5

Tabla 12.25 - Cambio en la composición del R-404A durante la ebullición a 20°C.

Mezclas Azeotrópicas. Se llama así a las mezclas de dos o más componentes de diferente volatilidad, las cuales, al ser utilizadas en un sistema de refrigeración, NO cambian su composición ni su temperatura de saturación al hervir en el evaporador, o se condensan a una presión constante.

La composición del líquido es la misma que la del vapor. Las mezclas azeotrópicas pueden inclusive ser destiladas, sin que cambie su composición. El prefijo *"a"* antes de la palabra *zeótropo,* es de raíz latina, y significa una negación, por lo que la palabra azeótropo se puede interpretar como que "no cambia al hervir".

Al combinar los componentes, la mezcla resultante se comporta en muchas maneras, como si fuera un solo refrigerante puro, con una sola temperatura de saturación correspondiente a una presión dada.

Generalmente el punto de ebullición resultante de una mezcla azeotrópica, es menor o igual que el del componente con el más bajo punto de ebullición, como se puede ver en la tabla de la figura 12.26. En esta tabla, se muestran algunos ejemplos de mezclas azeotrópicas, la mayoría de las cuales no tienen importancia comercial, y en algunos casos, incluyen materiales tóxicos o inflamables. Las mezclas que contienen refrigerantes clorofluorocarbonos (CFC) como R-12, R-114, R-115, etc... van a desaparecer ya que estos refrigerantes CFC se dejaron de utilizar a fines del año 1995. Las mezclas que contienen refrigerantes hidroclorofluorocarbonos (HCFC) como el R-22, R-23, R-152a, R-143a, R-125, etc. van a permanecer un poco más tiempo en el mercado, puesto que estos refrigerantes están programados para defasamiento para el año 2030 o antes.

Algunos fabricantes de refrigerantes se han adelantado al defasamiento, y han desarrollado mezclas a base de hidrofluorocarbonos (HFC), los cuales no dañan la capa de ozono. Estas mezclas surgieron como alternativas para los HCFC's, tales como el R-22, el R-502 y el R-503 y algunos se van a quedar en forma permanente. Tal es el caso del R-507, el cual es una mezcla azeotrópica con 50% de R-125 y 50% de R-134a, y sustituye al R-22 o al R-502 en aplicaciones de media y baja temperatura.

A las mezclas azeotrópicas que se comercialicen, deberá asignárseles un número de identificación progresiva de la serie 500, como se muestra en la figura 12.26.

Ventajas de los Azeótropos como Refrigerantes. Ambas mezclas, las zeotrópicas y las azeotrópicas, pueden usarse como refrigerantes. En sistemas con evaporador tipo "seco" o de expansión directa, la mezcla completa se evapora antes de salir del evaporador. La composición permanece igual a través de todo el ciclo de refrigeración, y ambas mezclas pueden utilizarse bajo estas condiciones. En sistemas con evaporadores de tipo "inundado", una mezcla azeotrópica tendrá la ventaja de composición constante durante la evaporación. Con las mezclas zeotrópicas, es probable que el líquido en el evaporador sea mucho más rico en el componente de más alto punto de ebullición.

Otra ventaja es el bajo punto de ebullición del azeótropo, lo que significa temperaturas de evaporación más bajas y con frecuencia, mayor capacidad. Por ejemplo, el R-500 tiene un 20% más de capacidad que el R-12 cuando se utiliza en las mismas condiciones, con el mismo propósito y con el mismo tamaño de motor.

Los refrigerantes de mezclas azeotrópicas más empleadas comercialmente, son el R-500, el R-502, el R-503 y el R-507. Estos son refrigerantes patentados y el proceso de fabricación es bastante complejo, por lo que los técnicos de servicio no deben intentar nunca hacer sus propias mezclas.

DESIGNACION DEL AZEOTROPO	REFRIG.	PUNTO DE EBULLICION °C	% EN PESO	PUNTO DE EBULLICION DEL AZEOTROPO
R-500	R-12	-30	73.8	-33
	R-152a	-25	26.2	
R-501	R-12	-30	75	-41
	R-22	-41	25	
R-502	R-22	-41	48.8	-45
	R-115	-39	51.2	
R-503	R-23	-82	40.1	-88
	R-13	-81	59.9	
R-504	R-32	-52	48.2	-57
	R-115	-39	51.8	
R-505	R-12	-30	78	-30
	R-31	-9	22	
R-506	R-31	-9	55.1	-12
	R-114	4	44.9	
R-507	R-125	-49	50	-46.7
	R-143a	-47	50	
SIN NUMERO	R-22	-41	68	-45
	R-290	-42	32	
SIN NUMERO	R-114	4	59	-2
	R-600	0	41	
SIN NUMERO	R-12	-30	73	-35
	R-40	-24	27	

Tabla 12.26 - Ejemplos de azeótropos.

Código de Colores para los Cilindros de Refrigerantes

Los contenedores utilizados para el manejo de refrigerantes ya sea a granel, en tambores, latas o cilindros retornables o desechables, se codifican con algún color. Hace algunas décadas no había unificación de colores por parte de los fabricantes de refrigerantes. Posteriormente, se estandarizó un código de colores adoptado mundialmente por los fabricantes, aunque no era un método oficialmente

reconocido para identificar el contenido del cilindro, como sucedía con otros gases industriales, tales como el nitrógeno, el acetileno, el oxígeno, etc.

En años recientes, con el surgimiento de una gran cantidad de nuevos refrigerantes para reemplazar a los CFC's y algunos HCFC's, la codificación de colores no se hace arbitrariamente. La mayoría de los fabricantes se apegan a los lineamientos establecidos por el ARI (Air Conditioning and Refrigeration Institute), para la asignación de colores a los contenedores de refrigerantes.

Esta codificación, permite a los técnicos y contratistas identificar rápida y fácilmente el refrigerante, por el color del contenedor, evitando mezclar accidentalmente diferentes refrigerantes en un sistema. Pero siempre se debe leer la etiqueta e identificar el contenido, antes de utilizarlo. A continuación, en la figura 12.27, se muestra una lista de los refrigerantes más populares que incluye algunos que ya están descontinuados, y también algunos de los nuevos.

REFRIG. Nº	COLOR	PMS *
R-11	NARANJA	021
R-12	BLANCO	---
R-13	AZUL CLARO / BANDA AZUL OSCURO	2975
R-22	VERDE	352
R-123	GRIS CLARO (PLATA)	428
R-134a	AZUL CLARO (CELESTE)	2975
R-401A (MP-39)	ROJO-ROSADO (CORAL)	177
R-401B (MP-66)	AMARILLO-CAFE (MOSTAZA)	124
R-402A (HP-80)	CAFE CLARO (ARENA)	461
R-402B (HP-81)	VERDE ACEITUNA	385
R-404A (HP-62)	NARANJA	021
R-407C (AC-9000)	GRIS	---
R-500	AMARILLO	109
R-502	MORADO CLARO (ORQUIDEA)	251
R-503	AZUL-VERDE (ACQUA)	3268
R-507 (AZ-50)	MARRON	167
R-717	PLATA	877

* Sistema comparativo PANTONE.

Tabla 12.27 - Código de colores para los contenedores de algunos refrigerantes comunes.

Refrigerantes Alternos

REFRIG. ANTERIOR	REFRIGERANTE SUBSTITUTO				LUBRICANTE	APLICACION TIPICA	REEMPLAZO	
	NO. DE ASHRAE	NOMBRE COMERCIAL	FABRICANTE	TIPO			INTERINO	LARGO PLAZO
R-11	R-123	Suva Centri-LP	DuPont	Compuesto Puro	Alquil Benceno o Aceite Mineral	*Enfriadores de Agua con Compresores Centrífugos.		X
		Genetrón 123	Quimobásicos					
		Forane-123	Elf Atochem					
R-12	R-134a	Suva Cold MP	DuPont	Compuesto Puro	Poliol Ester	*Equipos Nuevos y Reacondicionamientos. *Refrigeración Doméstica y Comercial (Temp. de Evaporación arriba de -7 °C). *Aire Acond. Residencial y Comercial.		X
		Genetrón 134a	Quimobásicos					
		Forane 134a	Elf Atochem					
		Klea 134a	ICI		PAG	*Aire Acondicionado Automotríz.		
	R-401A	Suva MP39	DuPont	Mezclas Zeotrópicas (Blends)	Alquil Benceno	*Reacondicionamientos en Refrigeración Comercial (arriba de -23 °C).	X	
		Genetrón MP39	Quimobásicos					
	R-401B	Suva MP66	DuPont			*Reacondicionamientos en Refrigeración Comercial (abajo de -23 °C). *Transportes Refrigerados.	X	
		Genetrón MP66	Quimobásicos					
	R-409A	Genetrón 409A	Quimobásicos			*Reacondicionamientos.	X	
		FX-56	Elf Atochem					
R-13	Sin	Suva 95	DuPont	Mezcla Azeot.	Poliol Ester	*Muy Baja Temperatura		X
R-22	R-410A	Genetrón AZ-20	Quimobásicos	Mezclas Azeotrópicas	Poliol Ester	*Sistemas Unitarios de Aire Acondicionado.		X
	R-410B	Suva 9100	DuPont		Poliol Ester			X
	R-407C	Suva 9000	DuPont	Mezcla Zeotrópica (Blend)	Poliol Ester	*Aire Acondicionado Residencial y Comercial. *Bombas de Calor. (Equipos Nuevos y Reacondicionamientos).		X
		Genetrón 407C	Quimobásicos					
		Klea 66	ICI					
	R-507	Genetrón AZ-50	Quimobásicos	Azeótropo	Poliol Ester	*Refrigeración Comercial (Temp. Media y Baja).		X
R-502	R-402A	Suva HP80	DuPont	Mezclas Zeotrópicas (Blends)	Alquil Benceno	*Refrigeración Comercial (Temp. Media y Baja). (Principalmente en Reacondicionamientos).	X	
		Genetrón HP80	Quimobásicos					
	R-402B	Suva HP81	DuPont		Alquil Benceno	*Máquinas de Hielo y Otros Equipos Compactos.	X	
	R-404A	Suva HP-62	DuPont		Poliol Ester	*Refrigeración Comercial (Temp. Media y Baja). (Equipos Nuevos y Reacondicionamientos).		X
		Genetrón 404A	Quimobásicos					
		FX-70	Elf Atochem					
	R-407A	Klea 60	ICI		Poliol Ester			X
	R-408A	FX-10	Elf Atochem		Alquil Benceno		X	
	R-507	Genetrón AZ-50	Quimobásicos	Azeótropo	Poliol Ester			X

Tabla 12.28 - Guía de aplicaciones de algunos refrigerantes substitutos que ya están disponibles comercialmente.

Capítulo 13

PSICROMETRIA

Introducción

La ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) define el acondicionamiento del aire como: "El proceso de tratar el aire, de tal manera, que se controle simultáneamente su temperatura, humedad, limpieza y distribución, para que cumpla con los requisitos del espacio acondicionado".

Como se indica en la definición, las acciones importantes involucradas en la operación de un sistema de aire acondicionado son:

1. Control de la temperatura.
2. Control de la humedad.
3. Filtración, limpieza y purificación del aire.
4. Circulación y movimiento del aire.

El acondicionamiento completo de aire, proporciona el control automático de estas condiciones, tanto para el verano como para el invierno. El control de temperatura en verano se logra mediante un sistema de refrigeración, y en invierno, mediante una fuente de calor. El control de humedad en verano requiere de deshumidificadores, lo que se hace normalmente al pasar el aire sobre la superficie fría del evaporador. En el invierno, se requiere de humidificadores, para agregarle humedad al aire en el sistema de calentamiento. La filtración del aire, en general, es la misma en verano que en invierno.

El acondicionamiento de aire en casas, edificios o en industrias, se hace por dos razones principales: proporcionar confort al humano, y para un control más completo del proceso de manufactura; el control de la temperatura y la humedad, mejora la calidad del producto terminado.

Para acondicionar aire en un espacio, se requiere tener conocimientos básicos de las propiedades del aire y la humedad, del cálculo de cargas de calentamiento y de enfriamiento, manejo de las tablas o carta psicrométrica, y del cálculo y selección de equipo. También se requiere del conocimiento y manejo de instrumentos, como termómetros de bulbo seco y de bulbo húmedo (psicrómetro), el higrómetro, tubo de pitot, registradores, manómetros y barómetros.

En este capítulo, se verán los fundamentos del aire acondicionado. Se verán las propiedades del aire y la humedad, el manejo de la carta psicrométrica y algunos ejemplos prácticos.

Definición

Psicrometría es una palabra que impresiona, y se define como la medición del contenido de humedad del aire. Ampliando la definición a términos más técnicos, psicrometría es la ciencia que involucra las propiedades termodinámicas del aire húmedo, y el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y el confort humano. Ampliando aún más, incluiríamos el método de controlar las propiedades térmicas del aire húmedo. Lo anterior, se puede llevar a cabo a través del uso de tablas psicrométricas o de la carta psicrométrica.

Las tablas psicrométricas ofrecen una gran precisión, ya que sus valores son de hasta cuatro decimales; sin

embargo, en la mayoría de los casos, no se requiere tanta precisión; y con el uso de la carta psicrométrica, se puede ahorrar mucho tiempo y cálculos.

En seguida, se verán las propiedades del aire y de la humedad conjuntamente con las tablas psicrométricas, y posteriormente, se verá la carta psicrométrica.

Aire y Humedad y las Tablas Psicrométricas

¿Cuál es el significado de humedad relativa? ¿Cómo se produce la condensación de la humedad en un serpentín de enfriamiento? ¿Por qué "suda" un ducto de aire frío?

Las respuestas a las preguntas anteriores, tienen que ver con las propiedades de la mezcla de aire y vapor de agua (humedad). El conocimiento de estas propiedades, es requisito para el acondicionamiento del aire en forma apropiada y económica.

Propiedades del Aire

El aire es una mezcla de gases incolora, inolora e insabora que rodea a la tierra. Este aire que envuelve a la tierra se conoce como atmósfera. Se extiende hasta una altura de aproximadamente 645 kms, y se divide en varias capas. La capa más cercana a la tierra se llama tropósfera, y va desde el nivel del mar hasta los 15 kms. La capa que se extiende desde los 15 hasta los 50 kms, se llama estratósfera. La capa de los 50 kms hasta los 95 kms, se llama mesósfera, y de los 95 a los 400 kms, se llama ionósfera.

Puesto que nosotros podemos movernos tan libremente en el aire, podríamos suponer que el aire no tiene peso, o por lo menos, tiene tan poco peso, que es despreciable. El aire sí tiene peso, y es sorprendentemente pesado. Su densidad (o peso por metro cúbico) varía, siendo mayor a nivel del mar (donde es comprimido por todo el aire encima del mismo) que en la cima de una alta montaña.

Un manto de aire cubre la tierra completa, y literalmente, nosotros vivimos en el fondo de ese mar de aire. Es más denso en el fondo, y se vuelve más delgado y ligero al ir hacia arriba. Todo este peso de aire ejerce una presión de 101.325 kPa (1.033 kg/cm²) al nivel del mar, pero esta presión disminuye más y más, mientras más alto subimos.

El aire, no es un vapor saturado que esté cercano a temperaturas donde pueda ser condensado. Es siempre un gas altamente sobrecalentado, o más precisamente, es una mezcla de gases altamente sobrecalentados.

Así, cuando calentamos o enfriamos aire seco, solamente estamos agregando o quitando calor sensible.

Podemos enfriar o calentar el aire, limpiarlo y moverlo, pero esto no cambia significativamente sus propiedades; ya que, los relativamente pequeños cambios de temperatura que le hagamos, sólo causan pequeñísimos cambios en el volumen y la densidad.

Si el aire seco se calienta, se expande; y su densidad disminuye, cuando la presión permanece constante. Inversamente, si se enfría el aire seco, aumenta su densidad. Aún más, las temperaturas, densidades, volúmenes y presiones, todas varían proporcionalmente.

En la tabla 13.1, se muestran las propiedades del aire seco a la presión atmosférica, en un rango de temperaturas de -15ºC a 50ºC.

El aire atmosférico es una mezcla de oxígeno, nitrógeno, bióxido de carbono, hidrógeno, vapor de agua, y un porcentaje muy pequeño de gases raros como argón, neón, ozono, etc. En la tabla 13.2, se muestran los porcentajes de estos gases, tanto en peso, como en volumen, para el aire seco (sin vapor de agua).

		AIRE SECO	
Nombre	**Símbolo Químico**	**% en Peso**	**% en Volumen**
Nitrógeno	N_2	75.47	78.03
Oxígeno	O_2	23.19	20.99
Bióxido de carbono	CO_2	0.04	0.03
Hidrógeno	H_2	0.00	0.01
Gases raros	----	1.30	0.94

Tabla 13.2 - Gases que componen el aire en la atmósfera.

En áreas congestionadas o industriales, también puede haber gases conteniendo azufre, carbono, plomo y ciertos ácidos.

Cada uno de estos gases que componen el aire, se comporta de acuerdo a la ley de Dalton. Brevemente, esta ley nos dice que una mezcla de dos o más gases, pueden ocupar el mismo espacio al mismo tiempo, y que cada uno actúa independientemente de los otros, como si los otros no estuvieran allí. Esto es, si un cuarto está completamente lleno de aire, también está completamente lleno de oxígeno, de nitrógeno, vapor de agua, etc., cada uno independiente del otro.

Cada uno tiene su propia densidad, su propia presión (presión parcial), y cada uno responde a los cambios de volumen y temperatura a su propia manera, sin "hacer caso" uno al otro, y cada uno se comporta según las leyes que lo gobiernan en lo particular. Es esencial que esto sea entendido y recordado. Realmente, el aire seco no es un gas puro, ya que es una mezcla como se mencionó anteriormente, y por lo tanto, no se conforma exactamente a las leyes de los gases, pero los gases que los componen son verdaderos gases; así que, para el propósito práctico de este capítulo, se considera a esta mezcla de gases (aire seco sin vapor de agua) como un solo compuesto, que sigue la ley de los gases.

El aire como ya vimos, tiene peso, densidad, temperatura, calor específico y además, cuando está en movimiento, tiene momento e inercia. Retiene sustancias en suspensión y en solución.

El aire tiene conductividad térmica, pero ésta es muy pobre.

Tabla 13.1 Propiedades del aire seco a la presión atmosférica.

TEMP. °C	Volumen Específico (m³/kg)	Densidad (kg/m³)	Entalpía (kcal/kg)
-15	0.7304	1.3691	0.6722
-14	0.7332	1.3638	0.9123
-13	0.7363	1.3581	1.1523
-12	0.7391	1.3530	1.3923
-11	0.7422	1.3473	1.6323
-10	0.7453	1.3416	1.8779
-9	0.7480	1.3369	2.1179
-8	0.7511	1.3313	2.3579
-7	0.7538	1.3266	2.5980
-6	0.7563	1.3222	2.8390
-5	0.7591	1.3173	3.0835
-4	0.7619	1.3125	3.3235
-3	0.7650	1.3072	3.5636
-2	0.7678	1.3024	3.8036
-1	0.7706	1.2977	4.0447
0	0.7734	1.2928	4.2892
1	0.7756	1.2893	4.5292
2	0.7790	1.2837	4.7692
3	0.7822	1.2784	5.0148
4	0.7850	1.2739	5.2547
5	0.7878	1.2693	5.4948
6	0.7908	1.2645	5.7404
7	0.7933	1.2605	5.9803
8	0.7961	1.2562	6.2204
9	0.7988	1.2518	6.4615
10	0.8015	1.2476	6.7060
11	0.8044	1.2431	6.9460
12	0.8076	1.2381	7.1860
13	0.8104	1.2339	7.3983
14	0.8131	1.2297	7.6716
15	0.8159	1.2256	7.9116
16	0.8188	1.2213	8.1183
17	0.8217	1.2168	8.3972
18	0.8244	1.2130	8.6372
19	0.8274	1.2086	8.8772
20	0.8302	1.2044	9.1228
21	0.8329	1.2006	9.3628
22	0.8360	1.1961	9.6028
23	0.8389	1.1920	9.8484
24	0.8418	1.1880	10.0706
25	0.8446	1.1839	10.3284
26	0.8474	1.1800	10.5740
27	0.8501	1.1763	10.7640
28	0.8529	1.1725	11.0540
29	0.8556	1.1687	11.2996
30	0.8583	1.1650	11.5396
31	0.8612	1.1611	11.7796
32	0.8645	1.1567	12.0252
33	0.8672	1.1531	12.2652
34	0.8700	1.1494	12.5052
35	0.8727	1.1458	12.7564
36	0.8756	1.1420	12.9908
37	0.8786	1.1382	13.2308
38	0.8816	1.1343	13.4764
39	0.8843	1.1308	13.7164
40	0.8871	1.1273	13.9620
41	0.8900	1.1236	14.2020
42	0.8932	1.1196	14.4420
43	0.8957	1.1164	14.6820
44	0.8987	1.1127	14.9276
45	0.9014	1.1093	15.1676
46	0.9042	1.1059	15.4132
47	0.9073	1.1021	15.6532
48	0.9100	1.0988	15.8955
49	0.9129	1.0954	16.1400
50	0.9158	1.0919	16.3900

Debido a que el aire tiene peso, se requiere energía para moverlo. Una vez en movimiento, el aire posee energía propia (cinética).

La energía cinética del aire en movimiento, es igual a la mitad de su masa, multiplicada por el cuadrado de su velocidad. La velocidad se mide en metros por segundo. De acuerdo a la ecuación de Bernoulli, al aumentar la velocidad disminuye la presión.

La densidad del aire, varía con la presión atmosférica y la humedad. Un kilogramo de aire seco en condiciones normales (21°C y 101.3 kPa), ocupa 0.8329 metros cúbicos, tal como se puede apreciar en la tabla 13.1.

El calor específico del aire, es la cantidad de calor que se requiere para aumentar la temperatura de un kilogramo de aire en un grado centígrado. El valor del calor específico del aire seco, a nivel del mar, es 0.244 kcal/kg °C.

Propiedades del Vapor de Agua (Humedad)

La humedad es un término utilizado para describir la presencia de vapor de agua en el aire, ya sea a la intemperie, o dentro de un espacio. Nuevamente, hacemos énfasis en que la humedad está "en el aire", solamente en el sentido de que los dos, aire y vapor de agua, existen juntos en un espacio dado al mismo tiempo.

Por costumbre común, decimos que el aire contiene humedad, y es conveniente hacerlo así, en el entendido de que siempre recordemos que es meramente una manera de hablar, y que en realidad, los dos son independientes uno del otro, y que no responden de la misma manera a los cambios de condiciones, especialmente a los cambios de temperatura.

Las palabras "vapor" y "gas", comúnmente las empleamos para referirnos a lo mismo; pero en realidad, un gas es un vapor altamente sobrecalentado, muy lejos de su temperatura de saturación, como el aire. Un vapor está en sus condiciones de saturación o no muy lejos de ellas, como el vapor de agua. Así pues, el vapor de agua o "humedad" en un espacio, puede estar en una condición de saturación o ligeramente arriba de ella. Si lo enfriamos unos cuantos grados, hacemos que se condense, y si le aplicamos calor, lo sobrecalentamos.

Como ya sabemos, dos terceras partes de la superficie de la tierra están cubiertas por agua: océanos, lagos y ríos, de las cuales se desprende el vapor de agua. Las nubes, también producto de esta evaporación, contribuyen a la humedad del ambiente al condensarse y precipitarse en forma de lluvia o nieve.

Todo lo anterior es lo que sucede a la intemperie. Dentro de una casa, edificio o fábrica, el vapor de agua puede provenir de la cocina, baño, máquinas, personas, etc. Así pues, la cantidad de humedad en el aire en un lugar y tiempo determinados, puede variar considerablemente.

El vapor de agua es producido por el agua, a cualquier temperatura (aún por el hielo). El agua no tiene que estar en ebullición, aunque si lo está, el vapor de agua es producido con mayor rapidez.

El vapor ejerce una presión definida encima del agua, la cual es determinada solamente por la temperatura del agua misma, independientemente de si el agua está o no en ebullición o de si el espacio por encima del agua contiene aire. Tampoco la presión del aire ejerce efecto alguno sobre la presión del vapor.

Si el agua está a una temperatura de 4ºC, la presión del vapor de agua sobre la misma es de 0.81 kPa ó 0.1179 psia, la cual es una presión menor que la atmosférica (vacío). Si la temperatura del agua aumenta a 15ºC, la presión del vapor de agua sobre la misma, aumenta más del doble, es decir, a 1.70 kPa (0.2472 psia).

En la tabla 13.3, se muestran las propiedades del vapor de agua saturado. Los valores de la primer columna, son las temperaturas en grados centígrados.

Los valores de la segunda y tercer columna, son las presiones del vapor sobre el agua, correspondientes a las temperaturas de la primer columna; este vapor se conoce como "saturado", porque es todo el vapor de agua que puede contener ese espacio a esa temperatura. Tenga en cuenta que no hay diferencia, si hay o no aire en ese espacio; la presión del vapor de agua será la misma, ya que ésta depende totalmente de la temperatura del agua.

Cuando comúnmente nos referimos a la presión atmosférica o barométrica, estamos incluyendo la presión del aire y la presión del vapor de agua que éste contiene. La presión atmosférica "normal" a nivel del mar, es de 101.325 kPa o de 760 mm. de mercurio. Si la presión del vapor de agua en el aire a 15ºC es 1.70 kPa, entonces, la presión del aire seco sería 99.625 kPa (101.325 - 1.70); ya que, de acuerdo a la ley de Dalton, la presión total es la suma de las presiones parciales de los componentes: la del aire seco y la del vapor de agua.

En la cuarta columna de la tabla, tenemos los valores de volumen específico. Estos nos indican el volumen en m³, que ocupa un kilogramo de agua en forma de vapor saturado.

Si tenemos un cuarto de 8 x 5 x 2.5 metros (100 m³) lleno de vapor de agua a 15ºC, dentro de éste habrá poco más de un kilogramo de vapor saturado; esto es, 100 m³ ÷ 77.97 m³/kg = 1.283 kg.

Otra manera de calcularlo es utilizando el valor de la densidad. En la quinta columna tenemos los valores de la densidad en kg/m³; así que, el peso de 100 m³ de vapor saturado a 15ºC es de 1.283 kg (100 m³ x 0.01283 kg/m³). Como ya sabemos, el volumen específico es la inversa de la densidad, y viceversa.

En las sexta y séptima columnas, tenemos el peso del vapor de agua en dos unidades: en gramos por metro cúbico (g/m³) en el sistema internacional, y en "granos" por pie cúbico (granos/pie³) en el sistema inglés. La cantidad de vapor de agua que contiene el aire, es tan pequeña, que para fines prácticos, se utilizan gramos en lugar de kilogramos o "granos" en lugar de libras. El "grano" (grain) es una unidad comúnmente utilizada para cálculos psicrométricos en aire acondicionado. Es una unidad tan pequeña, que se requieren 15,415 granos para formar un kilogramo. Para fines prácticos, se considera que una libra contiene 7,000 granos. Para visualizarlo mejor, un grano es casi del tamaño de una "gotita" de agua. Así que, en el espacio de 100 m³ del cuarto de nuestro ejemplo, habrá 1,283 gramos de agua (100 m³ x 0.01283 kg/m³ x 1,000), lo que equivale a 12.83 gramos por m³, tal como se indica en la tabla. La densidad es igual a peso por volumen, así que, podríamos decir que el vapor de agua tiene una densidad 12.83 g/m³ ó 0.01283 kg/m³.

Para que el vapor de agua dentro del cuarto se mantenga saturado a 15ºC, como suponemos que lo hace, el espacio completo de 100 m³ en el cuarto, tendría que permanecer a 15ºC. Si hubiese aire en el cuarto como sería lo normal, éste también tendría que estar a 15ºC.

Obviamente, hay 100 m³ de aire en el cuarto, igual que hay 100 m³ de vapor de agua. Con una presión total de 101.3 kPa, encontramos que la presión del aire es solamente 99.6 kPa (101.3 - 1.70).

En la tabla 13.1, se tiene el volumen específico para el aire seco, pero basado en una presión de 101.3 kPa; mientras que el aire en el cuarto de nuestro ejemplo, está a 99.6 kPa. Por lo tanto, el aire del cuarto está menos

Temp. de Saturació °C	Presión de Vapor (Absoluta)		Volumen Específico m³/kg	Peso del Vapor			Entalpía kcal/kg		
				Densidad kg/m³	Humedad Absoluta				
	kPa	psia			g/m³	granos/pie³	Sensible	Latente	Total
0	0.61	0.0885	206.32	0.004847	4.84	2.11	0	597.66	597.66
1	0.65	0.0945	194.10	0.005152	5.15	2.25	1	596.87	597.87
2	0.7	0.1023	179.58	0.005569	5.57	2.43	2	596.28	598.28
3	0.76	0.1098	168.18	0.005946	5.95	2.60	3	595.68	298.68
4	0.81	0.1179	157.40	0.006353	6.35	2.77	4	595.09	599.09
5	0.87	0.1265	147.14	0.006796	6.79	2.97	5	594.53	599.53
6	0.93	0.1356	137.74	0.007260	7.26	3.18	6	593.93	599.93
7	1.00	0.1452	129.04	0.007750	7.75	3.38	7	593.37	600.37
8	1.07	0.1556	120.95	0.008268	8.27	3.61	8	592.79	600.79
9	1.15	0.1664	113.39	0.008819	8.82	3.85	9	592.25	601.25
10	1.23	0.1780	106.37	0.009401	9.40	4.10	10	292.03	602.03
11	1.31	0.1903	99.90	0.01001	10.01	4.37	11	591.10	602.10
12	1.40	0.2033	93.82	0.01066	10.66	4.66	12	590.56	602.56
13	1.50	0.2187	88.13	0.01135	11.35	4.96	13	589.98	602.98
14	1.60	0.2317	82.85	0.01207	12.07	5.27	14	589.41	603.41
15	1.70	0.2472	77.97	0.01283	12.83	5.60	15	588.87	603.87
16	1.82	0.2636	73.35	0.01363	13.63	5.96	16	588.31	604.31
17	1.94	0.2809	69.09	0.01447	14.47	6.32	17	587.72	604.72
18	2.06	0.2992	65.07	0.01537	15.37	6.72	18	587.18	605.18
19	2.20	0.3186	61.32	0.01631	16.31	7.13	19	586.59	605.59
20	2.33	0.3390	57.81	0.01730	17.30	7.56	20	586.03	606.03
21	2.48	0.3606	54.54	0.01834	18.34	8.01	21	585.48	606.48
22	2.64	0.3834	51.48	0.01943	19.43	8.48	22	584.89	606.89
23	2.83	0.4102	48.60	0.02058	20.58	8.99	23	584.34	607.34
24	2.98	0.4327	45.91	0.02178	21.78	9.52	24	583.76	607.76
25	3.16	0.4593	43.38	0.02305	23.05	10.07	25	583.20	608.20
26	3.36	0.4875	41.02	0.02438	24.38	10.65	26	582.65	608.65
27	3.56	0.5171	38.80	0.02577	25.77	11.26	27	582.09	609.09
28	3.78	0.5482	36.72	0.02723	27.23	11.90	28	581.45	609.45
29	4.00	0.5810	34.76	0.02876	28.76	12.57	29	580.93	609.93
30	4.24	0.6154	32.91	0.03038	30.38	13.27	30	580.43	610.43
31	4.49	0.6517	31.18	0.03207	32.07	14.01	31	579.87	610.87
32	4.75	0.6897	29.56	0.03383	33.83	14.78	32	579.28	611.28
33	5.03	0.7297	28.03	0.03568	35.68	15.59	33	578.74	611.74
34	5.32	0.7717	26.59	0.03761	37.61	16.43	34	578.15	612.15
35	5.62	0.8157	25.23	0.03964	39.64	17.32	35	577.59	612.59
36	5.94	0.8619	23.96	0.04174	41.74	18.24	36	576.99	612.99
37	6.27	0.9104	22.88	0.04370	43.70	19.09	37	576.45	613.45
38	6.63	0.9612	21.62	0.04625	46.25	20.21	38	575.87	613.87
39	6.99	1.0144	20.55	0.04866	48.66	21.26	39	575.30	614.30
40	7.38	1.0700	19.54	0.05118	51.18	22.36	40	574.70	614.70
41	7.78	1.1285	18.58	0.05382	53.82	23.52	41	574.16	615.16
42	8.08	1.1723	17.69	0.05653	56.53	24.70	42	573.59	615.59
43	8.64	1.2536	16.83	0.05942	59.42	25.97	43	573.08	616.08
44	9.10	1.3204	16.03	0.06238	62.38	27.26	44	572.42	616.42
45	9.58	1.3903	15.27	0.06549	65.49	28.62	45	571.87	616.87
46	10.09	1.4634	14.55	0.06873	68.73	30.03	46	571.27	617.27
47	10.62	1.5398	13.88	0.07205	72.05	31.48	47	570.72	617.72
48	11.17	1.6196	13.02	0.07680	76.80	33.56	48	570.13	618.13
49	11.75	1.7024	12.42	0.08052	80.52	35.18	49	569.59	618.59

Tabla 13.3 - Propiedades del vapor de agua saturado.

denso, ya que está a menor presión, y consecuentemente, tendrá un volumen específico mayor que el mostrado en la columna 2 de la tabla 13.1.

De acuerdo a la ley de Boyle, sabemos que el volumen de un gas varía inversamente con la presión, si la temperatura permanece constante, lo que en este caso es cierto. Vemos que el volumen del aire seco a 15ºC es 0.8159 m³/kg a la presión de 101.3 kPa; así que, su volumen a la presión de 99.6 kPa será:

$$\frac{V}{0.8159} = \frac{101.3}{99.6}$$

V = 0.8298 m³ a la presión de 99.6 kPa.

Puesto que hay 100 m³ de aire en el cuarto, el peso del aire seco en el cuarto es de 120.51 kg (100 ÷ 0.8298). Así, el aire es menos denso a la presión parcial de 99.6 kPa que si no hubiera vapor de agua mezclado con éste. Como vemos en la tabla 13.1, la densidad del aire seco a 15ºC es 1.2256 kg/m³, y la presión de 101.3 kPa; así que, 100 m³ de aire, deberían pesar 122.56 kg (100 x 1.2256). Sin embargo, como ya vimos, los 100 m³ de aire saturado de humedad, pesan sólo 120.51 kg. Aún sumándole el peso del vapor de agua (120.51 + 1.283 = 121.793 kg), el aire húmedo es más ligero que el aire seco.

Aire Saturado (con Humedad)

Hasta ahora, hemos supuesto que el vapor de agua en el cuarto está saturado. El cuarto está también lleno de aire seco, así que esta condición se refiere a "aire seco saturado con humedad", o algunas veces solamente a "aire saturado". Ninguno de estos términos es correcto, porque el aire en sí permanece seco, solamente está mezclado con el vapor de agua saturado. Pero estos términos son convenientes, y pueden usarse, si tenemos en mente la verdadera condición que representan.

Si en nuestro ejemplo hemos supuesto que el aire está saturado con humedad, no será difícil suponer tampoco que haya presente un abastecimiento continuo de agua, de tal forma, que el aire pueda estar todo el tiempo saturado, aún cuando cambie la temperatura. Así pues, imaginemos que en el piso del cuarto hay una gran charola con agua, y que al igual que el aire y el vapor, están todos a la misma temperatura de 15ºC. Supongamos que de alguna manera aplicamos calor suficiente, para que los tres componentes aumenten su temperatura a 21ºC, y se mantenga así. Algo del agua se evaporaría, y este vapor, también a 21ºC, ocuparía todo el espacio del cuarto, mezclándose con el vapor ya existente. Todo el vapor de agua ahora se volverá más denso y a más alta presión; de la tabla 13.3, su presión será 2.48 kPa y su volumen específico será 54.54 m³/kg (en lugar de 77.97 que tenía a 15ºC). El peso del vapor de agua también aumenta, siendo ahora de 1.834 kg (100 ÷ 54.54), o sea, 18.34 g/m³ en lugar de 12.83 que tenía a 15ºC.

Por su parte, el aire por ser un gas altamente sobrecalentado, se expande al ser calentado. El volumen específico a 21ºC, es 0.8329 m³/kg a la presión atmosférica, así que calcularemos su volumen en la mezcla a la nueva presión, tal como lo hicimos a 15ºC.

$$V = \frac{0.8329 \times 101.3}{98.82} = 0.8538 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Así, cuando el aire se calienta de 15 a 21ºC, éste se expande, así que también tenemos que suponer que el cuarto no está sellado y algo del aire se escapa. El volumen interno del cuarto es de 100 m³, así que si el volumen específico del aire ha aumentado de 0.8298 a 0.8538 m³/kg, algo del aire tiene que escapar, de otra manera se acumularía presión en el cuarto. De aquí, podemos calcular también que el peso del aire seco en el cuarto es de 117.12 kg (100 ÷ 0.8538).

De lo anterior, se puede notar que el peso del aire seco en el cuarto, tiene un peso real de casi 64 veces el peso del vapor de agua, aún con el vapor saturado; esto es, reteniendo toda la humedad que puede a esa temperatura.

En algunas épocas del año, el aire atmosférico contiene más humedad que en otras. En realidad, la máxima variación en el contenido de humedad, nunca pasa de más de unos cuantos gramos por metro cúbico, lo que es una fracción extremadamente pequeña del peso total del aire y humedad en la atmósfera (a menos que esté lloviendo).

Sin embargo, aunque la cantidad de agua en la atmósfera sea muy pequeña, como lo es su variación de una estación a otra, es muy importante para el confort de los seres humanos. Una diferencia de tan sólo unos cuantos gramos por metro cúbico, puede significar la diferencia entre un placentero confort y un desagradable malestar.

Como vimos en nuestro ejemplo, a 15ºC había en el cuarto 12.83 g/m³ de vapor de agua. A 21ºC este aumentó hasta 18.34. Los 5.51 gramos aumentados provienen de la charola, para poder mantener el espacio saturado a temperaturas más altas.

Si ahora dejamos de aplicar calor, el aire, el agua y el vapor se enfriarán gradualmente. El aire disminuirá su volumen, así que, algo de aire exterior entrará al cuarto para compensar la diferencia. Supongamos que el aire exterior está perfectamente seco.

La densidad del vapor de agua disminuirá gradualmente, o como se dice algunas veces, aunque no es lo apropiado, "el aire perderá algo de su capacidad para retener humedad". En realidad, el aire nada tiene que ver con eso. La temperatura del espacio es lo que cuenta.

Al alcanzar nuevamente la temperatura de 15ºC, la densidad del vapor será de 12.83 g/m³, los 5.51 g/m³ restantes se condensarán en agua líquida, y la presión de vapor también disminuirá gradualmente de 2.48 a 1.70 kPa, de tal forma, que al llegar a los 15ºC, las condiciones habrán regresado exactamente a las mismas antes de aplicar calor. Es importante hacer la observación de que en todo momento, durante el calentamiento y nuevamente al enfriar, el vapor de agua estaba en una condición de saturación.

Si retiramos la charola de agua y enfriamos el cuarto a menos de 15ºC, el vapor saturado se condensa gradualmente. El agua condensada se acumula en el suelo, pero el vapor de agua que queda, está en una condición de saturación, y sus nuevas características (presión, volumen, densidad y otras) son las que se encuentran en la tabla 13.3.

Ahora, si partimos de la temperatura de 15ºC, y calentamos el cuarto, pero sin un abastecimiento de agua, el aire seco se expande y su volumen aumenta, igual que cuando había una reserva de agua. Como vemos, el aire seco se expande y se contrae al calentarlo o enfriarlo, haya o no haya agua o vapor de agua presentes en el cuarto.

En cambio, el vapor de agua no se comporta como lo hizo antes, ya que si se calienta arriba de 15ºC, como no hay reserva de donde absorber más vapor, el aumento de temperatura no causa incremento en su densidad como anteriormente. El aumento de temperatura de 15 a 21ºC, sobrecalienta el vapor de agua, y algo muy importante, su presión de vapor permanece la misma no sólo a 21ºC, sino más arriba.

Humedad Relativa

La humedad relativa (*hr*), es un término utilizado para expresar la cantidad de humedad en una muestra dada de aire, en comparación con la cantidad de humedad que el aire tendría, estando totalmente saturado y a la misma temperatura de la muestra. La humedad relativa se expresa en porciento, tal como 50%, 75%, 30%, etc.

De acuerdo a la ASHRAE, una definición más técnica de la *hr*, sería la relación de la fracción mol del vapor de agua presente en el aire, con la fracción mol del vapor de agua presente en el aire saturado, a la misma temperatura y presión.

Volviendo a nuestro ejemplo, para comprender mejor el significado de humedad relativa, decíamos que el vapor de agua a 15ºC estaba saturado, y a 21ºC estaba sobrecalentado. Para conocer la humedad relativa del aire en el cuarto a 21ºC, se puede calcular usando los valores de la densidad del vapor de agua saturado (15ºC) y la del vapor de agua sobrecalentado (21ºC), que en este caso sería 0.01834 kg/m³ (de la tabla 13.3).

hr = 0.01283 ÷ 0.01834 x 100 = 69.95%

Esto significa que en el espacio del cuarto a 21ºC, la humedad es el 69.95% de la que tendría si estuviera en condiciones de saturación. Este porcentaje es la "humedad relativa".

El otro método para calcularla, es utilizando los valores de la presión del vapor, en lugar de los de la densidad. Es más preciso y es el que se recomienda utilizar; ya que la presión de vapor, es la que realmente determina la velocidad de la evaporación, y por lo tanto, en el acondicionamiento de aire es lo que directamente afecta el confort, la conservación de alimentos y la mayoría de los demás procesos.

La presión del vapor de agua saturado a 21ºC, es 2.48 kPa, y la del vapor de agua sobrecalentado es de 1.70 kPa; ya que su presión de vapor es la misma que tenía a 15ºC, no aumentó al ser sobrecalentado.

La humedad relativa será:

hr = 1.70 ÷ 2.48 x 100 = 68.55%

Este resultado es algo diferente que el cálculo utilizando las densidades del vapor, pero es más preciso. La diferencia no afecta en la mayoría de los cálculos de aire acondicionado.

Humedad Absoluta

El término "humedad bsoluta" (*ha*), se refiere al peso del vapor de agua por unidad de volumen. Esta unidad de volumen, generalmente es un espacio de un metro cúbico (o un pie cúbico). En este espacio, normalmente hay aire también, aunque no necesariamente. La humedad relativa está basada en la humedad absoluta, bajo las condiciones establecidas; es decir, la humedad relativa es una comparación con la humedad absoluta a la misma temperatura, si el vapor de agua está saturado.

Tanto la humedad absoluta, como la relativa, están basadas en el peso del vapor de agua en un volumen dado.

En nuestro ejemplo, a 15ºC la humedad relativa es del 100%, ya que el espacio (o el aire, si preferimos llamarlo así) está saturado con humedad. Al calentar el aire sin agregarle humedad, su humedad relativa disminuye hasta que a 21ºC, es 68.55%; esto es, el aire retiene solamente un 68.55% de la humedad que podría tener a 15ºC.

Si se continúa calentando el aire, la humedad relativa se vuelve aún menor, hasta que a 27ºC, es de 47.75% (1.70 ÷ 3.56 x 100), ya que la presión del vapor de agua a 27ºC de saturación, es 3.56 kPa. A 32ºC la *hr* sería 35.79%; a 40ºC, sería 23.03%, y así sucesivamente. Decimos que el aire está "más seco", ya que a más altas temperaturas se incrementa su capacidad de absorber más y más agua, pero la cantidad real de vapor de agua por metro cúbico (su humedad absoluta) no ha cambiado, como tampoco ha cambiado su presión de vapor de 1.70 kPa.

Esta habilidad para retener más agua a más altas temperaturas, no depende del aire. Se conoce el hecho de que las densidades y presiones del vapor de agua saturado, son mayores a más altas temperaturas que a bajas temperaturas.

Para ilustrar aún más esto, volvamos a nuestro ejemplo del cuarto con aire sobrecalentado a 21ºC y a una *hr* de 68.55%. Si colocamos dentro del cuarto algún abastecimiento de agua a cualquier temperatura arriba de 15ºC, digamos 27ºC; ya sea tela húmeda, frutas, carne, vegetales, flores, un rociador de agua, etc., la presión de vapor del agua de cualquiera de estos objetos sería 3.56 kPa, correspondientes a la temperatura de saturación de 27ºC. Esta presión es casi el doble de la presión en el cuarto (1.70 kPa), así que el vapor de agua sería obligado a salir de la tela, alimentos, etc., hacia el vapor de agua en el cuarto, por la diferencia de presiones.

El agua de la tela o alimentos se evapora hacia el cuarto, y esta evaporación agregará agua al aire del cuarto, aumentando gradualmente su humedad relativa, así como la presión de vapor de la humedad en el cuarto. Esto continuará hasta que la *hr* sea del 100%; en ese momento, la presión de vapor de la humedad en el cuarto, será de 2.48 kPa, correspondiente a la temperatura de 21ºC, con el entendido de que aún hay suficiente humedad para saturar el aire.

Si entra una persona al cuarto cuando la humedad relativa es de 68.55%, la humedad de su piel se evaporará hacia el aire del cuarto. La temperatura corporal normal de una persona es de 36.5ºC, pero la de la piel es un poco menor, aproximadamente 35ºC. Si la humedad de su piel está a 35ºC, su presión de vapor es de 5.62 kPa. Esto es más de tres veces que la presión de vapor en el cuarto a 21ºC, con una humedad relativa de 68.55%; así que, su mayor presión de vapor, provoca que la humedad de la piel se evapore rápidamente hacia el aire del cuarto.

Cuando se calentó el aire, decimos que se "secó". En realidad no se ha secado el aire, ya que no se le quitó humedad. Solamente está teniendo a 21ºC la misma humedad que tenía a 15ºC, pero se le ha incrementado su capacidad para retener humedad; así que, "relativamente" o comparativamente está más seco.

Humedad Específica

La humedad específica, o también llamada contenido de humedad, es el peso de vapor de agua en gramos por kilogramo de aire seco (o bien, granos por libra).

La humedad específica, se refiere a la cantidad de humedad en peso, que se requiere para saturar un kilogramo de aire seco, a una temperatura de saturación (punto de rocío) determinada. En las columnas cuarta y quinta de la tabla 13.5, se muestran estos valores en gramos por kilogramo de aire seco (en el sistema internacional), y en granos por libra de aire seco (en el sistema inglés). La humedad específica es muy similar a la humedad absoluta, excepto que esta última, está basada en gramos por metro cúbico, y la humedad específica, está basada en gramos de humedad por kilogramo de aire seco.

Porcentaje de Saturación

El porcentaje de saturación (o porcentaje de humedad), es un término que algunas veces se confunde con la humedad relativa. El porcentaje de saturación, es 100 veces la relación del peso de vapor de agua con el peso del vapor de agua necesario para saturar un kilogramo de aire seco a la temperatura del bulbo seco. Esto se puede expresar en una ecuación:

$$\text{porcentaje de saturación} = \frac{w_1}{w_s} \times 100$$

donde:

w_1 = humedad específica en el punto de rocío de la mezcla de aire seco y vapor de agua.

w_s = humedad específica en el punto de saturación.

Si deseamos calcular la humedad relativa y el porcentaje de saturación a la temperatura de bulbo seco de 35ºC, y a la temperatura de punto de rocío de 15ºC, usamos los valores de presión de vapor y los de humedad específica de las tablas 13.3 y 13.5, respectivamente.

hr = 1.70 ÷ 5.62 x 100 = 30.25%
% saturación = (4.835 ÷ 16.611) x 100 = 29.10%

Nuevamente, hay una diferencia entre los dos resultados. La humedad relativa está basada en las presiones, las cuales son afectadas por la temperatura y el volumen. El porcentaje de saturación está basado en el peso, el cual no es afectado por los cambios de temperatura, y éste es el más preciso de los dos.

Punto de Rocío

El punto de rocío se define como: la temperatura abajo de la cual el vapor de agua en el aire, comienza a condensarse. También es el punto de 100% de humedad. La humedad relativa de una muestra de aire, puede determinarse por su punto de rocío. Existen varios métodos para determinar la temperatura del punto de rocío.

Un método para determinar el punto de rocío con bastante precisión, es colocar un fluido volátil en un recipiente de metal brillante; después, se agita el fluido con un aspirador de aire. Un termómetro colocado dentro del fluido indicará la temperatura del fluido y del recipiente. Mientras se está agitando, debe observarse cuidadosamente la temperatura a la cual aparece una niebla por fuera del recipiente de metal. Esto indica la temperatura del punto de rocío.
La niebla por fuera del recipiente, no es otra cosa que la humedad en el aire, que comienza a condensarse sobre el mismo. No deben emplearse fluidos inflamables o explosivos para esta prueba.

Otro medio para determinar el punto de rocío indirectamente, es con un instrumento llamado Psicrómetro, el cual se describirá más adelante. Este metodo se basa en las temperaturas de "bulbo húmedo" y la de "bulbo seco", las cuales también se definirán más adelante.

Durante la temporada de invierno, una ventana ofrece un buen ejemplo del punto de rocío. En la tabla 13.4, se muestran las temperaturas de superficie, las cuales causarán condensación (punto de rocío) para varias condiciones de humedad. Las temperaturas interiores utilizadas son 21 y 27ºC.

Volviendo a nuestro ejemplo del cuarto, y partiendo de las condiciones a 21ºC con el aire sobrecalentado, con una humedad relativa de 68.55% y en esta ocasión sin abastecimiento de agua, si enfriamos el espacio dentro del cuarto, su humedad relativa disminuye gradualmente, pero su presión de vapor permanece igual, hasta que al llegar a 15ºC, la humdead relativa será del 100% y estará en su punto de saturación. Si tratamos de enfriarlo a menos de 15ºC, encontramos que la humedad comienza a condensarse. La temperatura a la que esto sucede se le llama «punto de rocío»; ya que, en la naturaleza a la humedad que se condensa se le llama rocío.

HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE %	TEMPERATURA DE BULBO SECO DE LA SUPERFICIE CUANDO SE INICIA LA CONDENSACION	
	TEMP. DEL AIRE DEL CUARTO	
	21°C	27°C
100	21	27
90	19	25
80	18	23
70	15	20
60	13	18
50	10	15
40	7	12
30	3	8

Tabla 13.4 - Temperaturas de superficie a las que habrá condensación.

Si continuamos enfriando el aire por abajo de su punto de rocío, la humedad continuará condensándose y la presión de vapor se reducirá también, de acuerdo a los valores de la segunda columna en la tabla 13.3, correspondiente a cada temperatura.

A 10ºC, el vapor sigue siendo saturado con una humedad relativa = 100%, pero su volumen específico es ahora 106.37 m³/kg, su densidad de 0.0094 kg/m³ y su humedad absoluta de 9.4 g/m³. Es decir, al bajar de 15 a 10ºC, perdió 3.43 g/m³ de humedad, lo que significa un 26.7% (3.43 ÷ 12.83 x 100), pero sigue siendo un vapor saturado y su humedad relativa es del 100%.

Al enfriar este aire de 15 a 10ºC, algo del vapor de agua se condensa, separándose de la mezcla de aire y vapor. En realidad, de alguna manera se ha secado el aire; sin embargo, como el aire a 10ºC sigue siendo saturado, y su humedad relativa es de 100%, aunque en realidad, se haya «secado» casi un 27%, no puede absorber más humedad, a menos que se caliente arriba de 10ºC y reduzca así su humedad relativa. Relativamente hablando, en cuanto a su habilidad para absorber humedad, el aire a 10ºC no está más seco que lo que estaba a 15ºC, aunque tenga casi una tercera parte menos de humedad que a 15ºC, ya que a ambas temperaturas sigue estando saturado.

Así que, arriba del punto de rocío, la humedad relativa siempre es menor al 100%. Se puede calentar para que relativamente este más seco, o enfriarse, para que relativamente esté más húmedo; pero mientras se mantenga arriba del punto de rocío, con enfriarlo o calentarlo, ni se le quita ni se le agrega nada.

No se remueve humedad del aire, a menos que se enfríe por abajo del punto de rocío. Lo anterior es cierto, pero sólo cuando se refiere al volumen completo del aire. Se puede remover humedad si una parte de ese volumen de aire, entra en contacto con un objeto más frío que el punto de rocío, que en este ejemplo es de 15ºC.

Si se coloca un bloque de metal o de madera, o de cualquier otro material; un trozo de carne, una lata de leche, jugo o cualquier otro líquido; o cualquier cosa que tenga una temperatura menor a los 15ºC, digamos 10ºC, la humedad en el aire que entre en contacto con ese objeto frío, se condensará sobre el mismo, como agua líquida. Es común escuchar decir que el objeto está «sudado», lo cual es un término incorrecto, ya que esta agua viene de la humedad del aire, y no de adentro del objeto.

Así que, cualquier objeto a una temperatura menor a la del punto de rocío del aire, condensará algo de agua de ese aire. Su tamaño y temperatura determinarán qué tanta humedad removerá del aire. Si es muy grande, en relación con la cantidad de aire en el cuarto, puede ser que «seque» todo el aire, hasta un punto de rocío correspondiente a su temperatura, pero no más abajo.

Cuando se habla de la temperatura de punto de rocío del aire, generalmente, se refiere a su temperatura promedio. Si a una pequeña porción de aire se le remueve calor (se calienta o se enfría), el contenido total de humedad y su temperatura promedio, eventualmente se verán afectadas, después que la circulación del aire lo haya mezclado completamente de nuevo.

Humedad por Kilogramo de Aire Seco

Hasta ahora, para simplificar la explicación, nos hemos referido mayormente a la cantidad de vapor de agua por metro cúbico, en un cuarto de 100 m³. Sin embargo, si estas mezclas de aire y humedad se calientan, o si se enfrían, y si son manejadas por abanicos a través de ductos, sus volúmenes variarán ampliamente.

En el acondicionamiento de aire se manejan cuartos o edificios de un volumen determinado; así que es necesario considerar las mezclas de aire y humedad, pero generalmente, es más simple determinar a partir de dichos volúmenes, los kilogramos de aire y vapor de agua que se manejarán. De allí en adelante, se sacarán los cálculos sobre la base de dichos kilogramos de aire manejados, enfriados o calentados.

En la tabla 13.5, se muestran las propiedades de las mezclas de aire seco y vapor de agua saturado, en un rango amplio de temperaturas. Estos valores están basados en un kilogramo de aire seco saturado con humedad, a una presión total de 101.3 kPa (presión atmosférica).

La primer columna corresponde, nuevamente, a la temperatura de saturación en grados centígrados. Las columnas 2 y 3 corresponden al volumen especifico en m³/kg y a la densidad en kg/m³, respectivamente, de la mezcla de aire seco y humedad.

La columna 4, muestra la cantidad de humedad por peso en gramos, que se necesita para saturar (100% de *hr*) el espacio ocupado por un kilogramo de aire seco, a la temperatura de la columna 1. La columna 5 es similar, pero en unidades del sistema inglés, es decir, granos de humedad requeridos para saturar el espacio ocupado por una libra de aire seco a la temperatura de la columna 1.

Tabla 13.5 Propiedades de mezclas de aire seco y vapor de agua saturado, a la presión atmosférica (101.3 kPa).

TEMP. °C	Volumen Específico m³/kg	Densidad kg/m³	Contenido de Humedad		Entalpía (cont. de calor) kcal/kg		
			g/kg	granos/lb	aire seco (sensible)	humedad (latente)	Total
-10	0.7472	1.3383	0.725	11.19	1.8778	0.9613	2.8391
-9	0.7501	1.3332	0.793	12.24	2.1179	1.0512	3.1691
-8	0.7515	1.3307	0.841	12.98	2.3580	1.1467	3.5047
-7	0.7561	1.3226	0.945	14.58	2.5980	1.2522	3.8502
-6	0.7595	1.3167	1.026	15.83	2.8391	1.3623	4.2014
-5	0.7628	1.3110	1.124	17.35	3.0835	1.4835	4.5670
-4	0.7656	1.3062	1.224	18.89	3.3235	1.6124	4.9359
-3	0.7690	1.3004	1.333	20.57	3.5636	1.7556	5.3192
-2	0.7720	1.2953	1.450	22.38	3.8035	1.9102	5.7137
-1	0.7751	1.2902	1.577	24.34	4.0447	2.0757	6.1204
0	0.7785	1.2845	1.716	26.48	4.2892	2.2557	6.5449
1	0.7812	1.2801	1.845	28.47	4.5292	2.4246	6.9538
2	0.7846	1.2745	1.983	30.60	4.7692	2.4879	7.2571
3	0.7880	1.2690	2.13	32.87	5.0148	2.7890	7.8038
4	0.7913	1.2637	2.287	35.29	5.2548	2.9957	8.2505
5	0.7947	1.2583	2.454	37.87	5.4948	3.2113	8.7061
6	0.7981	1.253	2.632	40.62	5.7404	3.4402	9.1806
7	0.8014	1.2478	2.823	43.56	5.9804	3.6832	9.6639
8	0.8048	1.2425	3.024	46.67	6.2204	3.9436	10.1640
9	0.8082	1.2373	3.239	49.98	6.4615	4.2203	10.6818
10	0.8116	1.2321	3.467	53.50	6.7060	4.5114	11.2174
11	0.8154	1.2264	3.708	57.22	6.9460	5.1414	12.0874
12	0.8189	1.2212	3.967	61.22	7.1860	5.1581	12.3441
13	0.8250	1.2121	4.237	65.38	7.3983	5.5359	12.9342
14	0.8263	1.2102	4.529	69.89	7.6716	5.8715	13.5431
15	0.8303	1.2044	4.835	74.61	7.9116	6.2671	14.1787
16	0.8336	1.1996	5.161	79.64	8.1183	6.7204	14.8387
17	0.8376	1.1939	5.408	83.45	8.3972	7.1260	15.5232
18	0.8416	1.1882	5.873	90.63	8.6372	7.5961	16.2333
19	0.8458	1.1823	6.260	96.60	8.8772	8.0917	16.9689
20	0.8496	1.1770	6.672	102.96	9.1228	8.6117	17.7345
21	0.8541	1.1708	7.109	109.71	9.3628	9.1662	18.5290
22	0.8583	1.1651	7.438	114.78	9.6028	9.7507	19.3535
23	0.8625	1.1594	8.055	124.30	9.8484	10.3651	20.2135
24	0.8670	1.1534	8.573	132.30	10.0706	11.0385	21.1091
25	0.8715	1.1474	9.117	140.69	10.3284	11.7119	22.0403
26	0.8765	1.1409	9.696	149.63	10.5740	12.4453	23.0193
27	0.8811	1.1349	10.306	159.04	10.7640	13.2698	24.0338
28	0.8858	1.1289	10.949	168.96	11.0540	14.0320	25.0860
29	0.8908	1.1226	11.632	179.50	11.2996	14.8887	26.1883
30	0.8958	1.1163	12.351	190.60	11.5396	15.7955	27.3351
31	0.9014	1.1094	13.114	202.38	11.7796	16.7589	28.5385
32	0.9071	1.1024	13.919	214.80	12.0252	17.7657	29.7919
33	0.9127	1.0957	14.768	227.90	12.2652	18.8346	31.0998
34	0.9183	1.0890	15.662	241.70	12.5052	19.9591	32.4643
35	0.9239	1.0824	16.611	256.34	12.7564	21.1402	33.8966
36	0.9302	1.0750	17.613	271.80	12.9908	22.3981	35.3889
37	0.9364	1.0679	18.669	288.10	13.2308	23.7216	36.9524
38	0.9429	1.0606	19.783	305.29	13.4764	25.1165	38.5925
39	0.9496	1.0531	20.961	323.47	13.7164	26.5828	40.2992
40	0.9570	1.0449	22.204	342.65	13.9620	28.1351	42.0971
41	0.9643	1.0370	23.524	363.02	14.2020	29.7730	43.9750
42	0.9715	1.0293	24.912	384.44	14.4020	31.5032	45.9452
43	0.9802	1.0202	26.381	407.11	14.6820	33.3311	48.0131
44	0.9872	1.0130	27.846	429.72	14.9276	35.2467	50.1743
45	0.9957	1.0043	29.575	456.40	15.1676	37.2802	52.4478
46	1.0040	0.9960	31.289	482.85	15.4132	39.3870	54.8002
47	1.0131	0.9871	33.122	511.14	15.6532	41.6927	57.3459
48	1.0227	0.9778	35.063	541.09	15.8955	44.0783	59.9738
49	1.0323	0.9687	36.901	569.46	16.1400	46.5840	62.7240

Estos valores corresponden a la «humedad específica». Es muy similar a la humedad absoluta, excepto que, como ya mencionamos, la humedad absoluta está basada en gramos de humedad por metro cúbico, mientras que la humedad específica, está basada en gramos de humedad por kilogramos de aire seco.

Las columnas 6, 7 y 8, corresponden a la entalpía o contenido de calor de la mezcla en kcal/kg de mezcla (aire y humedad), en fase líquida (sensible), al pasar de fase líquida a vapor o viceversa (latente), y el contenido total de ambas (sensible más latente).

Si un kilogramo de aire seco, tiene tanta humedad como se muestra en las columnas 4 y 5, está saturado con humedad, por lo tanto, el espacio que ocupa tiene una humedad relativa de 100%. Si sólo tiene la mitad de humedad mezclada con el kilogramo de aire seco, se dice que tiene un porcentaje de humedad del 50%. Si tiene una cuarta parte, su porcentaje de humedad es del 25%, y así sucesivamente.

Si el aire está saturado, esto es, que tiene toda la humedad que puede retener a esa temperatura, entonces su porcentaje de humedad y su humedad relativa serán las mismas, 100%.

Si el aire no está saturado, tanto el porcentaje de humedad como la humedad relativa serán menores de 100%, pero pueden no ser iguales, ya que la humedad relativa al cambiar el volumen del aire, el porcentaje de humedad permanece igual, mientras se trate de la misma cantidad de aire y agua por peso. Sin embargo, el porcentaje de humedad de la mezcla de aire y humedad, aproximadamente es la misma que su humedad relativa, la diferencia es muy pequeña. Veamos un ejemplo:

Habíamos visto que un metro cúbico de espacio saturado a 15ºC pero calentado a 21ºC, tiene una *hr* de 68.5% (1.70 ÷ 2.48 x 100) de la tabla 13.3, la cual se basa en humedad por metro cúbico.

De la tabla 13.5, la cual sebasa en humedad por kilogramo de aire seco, vemos que a 15ºC de saturación, un kilogramo de aire seco tiene 4.835 gramos mezclados en sí, a 21ºC de saturación tendría 7.109 gramos de humedad. Sin embargo, si un kilogramo de aire saturado a 15ºC se calienta hasta 21ºC, seguirá teniendo 4.835 gramos de humedad mezcladas. Puesto que 21ºC podría tener 7.109 gramos, su porcentaje de humedad es 68.0% (4.835 ÷ 7.109 x 100).

Así pues, su *hr* es 68.5%, pero su porcentaje de humedad es 68.0%. Desde luego, su punto de rocío sigue siendo 15ºC, ya que es la temperatura a la que la humedad del aire comienza a condensarse.

Si cambia el volumen de la mezcla de aire y humedad (aire seco parcialmente saturado con humedad), la *hr* cambiará, puesto que está basada en la cantidad de humedad por metro cúbico. Pero el porcentaje de humedad no está basado en el volumen, está basado en el peso (la cantidad de humedad mezclada con un kilogramo de aire seco). Por lo tanto, el aire puede ser manejado y cambiar su volumen, pero mientras la cantidad real de aire y humedad por peso permanezca igual, su porcentaje de humedad también permanece la misma, suponiendo, desde luego, que no cambia la temperatura.

Entalpía de las Mezclas de Aire y Vapor de Agua

Hasta ahora, hemos estado tratando con cantidades y presiones de aire y vapor de agua, a diferentes temperaturas. Se han mencionado los efectos de aumentar y disminuir la temperatura, para lo cual hay que agregar o quitar calor.

Ahora debemos ver cuánto calor hay que agregar o quitar, para efectuar los cambios que hemos estado estudiando. De la misma manera que es necesario saber cuánta humedad y aire hay en las diferentes mezclas, también es necesario conocer cuánto calentamiento o enfriamiento se requiere, para hacer cambios en la condición de las mezclas de aire y humedad. Esto es tan cierto para las temperaturas en refrigeración (conservación y congelación), como lo es para las temperaturas del aire acondicionado para el confort humano.

Si tuviéramos que considerar solamente calentar y enfriar el aire en las mezclas, la cantidad de calor agregado o removido, sería comparativamente simple. Solo tendríamos que agregar o quitar «calor sensible» del aire, el cual es aproximadamente 0.24 kcal/kg ºC, según se muestra en la columna 4 de la figura 13.1 para el aire seco. Puesto que el calor sensible en la mezcla proviene casi totalmente del aire, el contenido de calor por kilogramo de aire seco, como se muestra en la columna 4 de la tabla 13.1, es el mismo que el calor sensible de la mezcla, como se muestra en la columna 6 de la tabla 13.5.

Es el contenido de humedad el que complica el problema. Esto no sería tan dificil si la humedad permaneciera siempre como vapor, ya que siempre estaríamos tratando con el «calor sensible» del vapor, el cual es aproximadamente 0.45 kcal/kg ºC (de la humedad, no de la mezcla).

En la mayoría de las aplicaciones donde el aire y la humedad tengan que calentarse o enfriarse, algo del vapor de agua se vuelve líquido (condensado), o el agua líquida se evapora. Cuando un kilogramo de vapor de agua se condensa, libera aproximadamente 539 kcal, mismas que debe absorber el equipo de enfriamiento. Cuando se evapora un kilogramo de agua, deben agregarse aproximadamente 539 kcal, las cuales deben ser suministradas por el equipo de calefacción.

Esto se llama «calor latente» y la carga de este calor puede ser muy grande, algunas veces más grande que la carga completa de calor sensible, requerida para cambiar la temperatura del aire y humedad en unos 28 o 35 gramos. Por otra parte, la carga latente no incluye cambio de temperatura, sólo un cambio en el contenido de vapor a líquido.

En la columna 7 de la tabla 13.3, se muestran los contenidos de calor latente del vapor de agua, a temperaturas desde 0ºC hasta 45ºC. Estos valores son la

cantidad de calor en kilocalorías, que se requieren para cambiar un kilogramo de agua de líquido a vapor a la misma temperatura. Deberá notarse que este valor no siempre es el mismo; ya que se requiere menos calor para evaporar un kilogramo de agua a 15ºC (588.87 kcal), que un kilogramo de agua a 0ºC (597.66 kcal). A más altas temperaturas, el calor latente sigue siendo menor, hasta que a 100ºC es 539 kcal/kg, cantidad que se considera generalmente como calor latente de evaporación del agua.

La columna 8 es el calor total, y es la suma del calor sensible más el calor latente. Por lo tanto, a 15ºC, el calor total es 603.87 kcal/kg (15+588.87). Como el nombre implica, el calor total es la cantidad total de calor en el vapor de agua saturado. Así, si calentamos un kilogramo de agua de 0ºC a 15ºC, y luego se evapora a 15ºC, deben agregarse 603.87 kcal.

La misma cantidad de calor deberá removerse, al enfriar un kilogramo de vapor de agua saturado, de 15 a 0ºC y luego condensarlo a 0ºC.

El contenido de calor (o entalpía), como se muestra en la tabla 13.3, está basado en un kilogramo de vapor de agua por peso. Tal como se mencionó anteriormente, es más conveniente tratar con el aire saturado sobre la base del peso, de tal manera que los valores de la tabla 13.5, sean manejados como mezclas de aire y vapor de agua consistentes, de un kilogramo de aire saturado con vapor de agua. El contenido de calor sensible, como se muestra en la columna 6 de la tabla 13.5, es el calor sensible de un kilogramo de aire.

Sin embargo, un kilogramo de aire contiene solamente una pequeña fracción de agua. Como se muestra en las columnas 4 y 5 de la misma tabla, a 15ºC hay solamente 4.835 gramos de humedad en un kilogramo de aire seco, aún cuando esté saturado. Por lo tanto, el calor latente de esta humedad, es solamente de 6.2671 kcal. El calor sensible del aire seco a 15ºC, es 7.91 kcal, y el calor latente del vapor de agua que contiene es 6.27 kcal, así que, el calor total del kilogramo de aire saturado a 15ºC es 14.18 kcal (7.91 + 6.27).

Existe otra pequeña fuente de calor en la mezcla: el calor sensible del vapor de agua. Sin embargo, aún en el punto de saturación, la cantidad de vapor de agua en peso es muy pequeña (aproximadamente 1% a 15ºC), así que su calor sensible normalmente se desprecia. En instalaciones muy grandes o en aplicaciones especiales, puede ser suficiente que tenga que ser considerado, pero en la práctica común, el calor total incluye solamente el calor sensible del aire y el calor latente de la humedad.

Si esta mezcla la calentamos hasta 21ºC, seguirá conteniendo 4.835 gramos de humedad y su porcentaje de humedad sera 68.0% ya que a 21ºC debería contener 7.109 gramos de humedad en el punto de saturación (4.835 ÷ 7.109 x 100). Pero aún se necesitan 9.166 kcal para calentar al aire a 21ºC, pero como sólo contiene 4.835 gramos de humedad, el calor latente será 6.27 kcal, el mismo que a 15ºC.

Así que, para encontrar el contenido de calor total de un kilogramo de aire seco parcialmente saturado con humedad, sumamos el calor sensible del aire (de la columna 6, tabla 13.5) a la temperatura del aire, más el calor latente en su punto de rocío (9.3628+6.2671=15.6299 kcal).

Otra manera de encontrar el calor total, es sumando el calor sensible del aire a esta temperatura, más el calor latente del aire multiplicado por el porcentaje de humedad: (9.3628) + (0.68 x 9.1662) = 15.5958 kcal.

Para poder resolver problemas de mezclas de aire y humedad, las «Tablas Psicrométricas» como las de las tablas 13.1, 13.3 y 13.5, nos proporcionan todos los datos que necesitamos, de tal manera que si tenemos:

1. El volumen del espacio del cual podamos calcular el número de kilogramo de aire seco.
2. La temperatura de la mezcla de aire y agua.
3. La temperatura del punto de rocío.

En algunos lugares, particularmente a grandes alturas, también puede ser necesario utilizar un barómetro para hacer los ajustes necesarios a las bajas presiones, como se muestra en la tabla 13.6.

ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR (m)	PRESION		
	ABSOLUTA		BARO-METRICA mm Hg
	kPa	psia	
-300	105.21	15.26	789
-150	103.21	14.97	774
nivel del mar	101.325	14.696	760
150	99.49	14.430	746
300	97.65	14.163	732
450	96.03	13.928	720
600	94.33	13.682	708
750	92.60	13.430	695
900	90.97	13.194	682
1,050	89.34	12.958	670
1,200	97.71	12.722	658
1,350	86.15	12.495	646
1,500	84.52	12.259	634
1,650	83.03	12.042	623
1,800	81.54	11.826	612
1,950	79.98	11.600	600

ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR (m)	PRESION		
	ABSOLUTA		BARO-METRICA mm Hg
	kPa	psia	
2,100	78.55	11.393	589
2,250	77.06	11.176	578
2,400	75.63	10.970	567
2,550	74.21	10.763	557
2,700	72.85	10.566	546
2,850	71.49	10.370	536
3,000	70.20	10.182	527
3,200	68.45	9.928	513
3,400	67.06	9.726	503
3,600	65.05	9.434	488
3,800	63.53	9.214	477
4,000	62.12	9.010	466
4,500	57.82	8.391	434
5,000	54.52	7.908	409
5,500	53.02	7.689	398
6,000	48.62	7.052	365

Tabla 13.6 - Presión atmosférica a diferentes altitudes.

El volumen del espacio puede sacarse midiéndolo. A éste se le agregará el aire fresco requerido para ventilación. La temperatura puede tomarse con un termómetro ordinario pero preciso.

Termómetro de Bulbo Seco

El confort humano y la salud, dependen grandemente de la temperatura del aire. En el acondicionamiento de aire, la temperatura del aire indicada es normalmente la temperatura de «bulbo seco» (*bs*), tomada con el elemento sensor del termómetro en una condición seca. Es la temperatura medida por termómetros ordinarios en casa.

Hasta este punto, todas las temperaturas a que nos hemos referido han sido temperaturas de bulbo seco, tal como se leen en un termómetro ordinario, excepto donde nos hemos referido específicamente a la temperatura del punto de rocío.

Termómetro de Bulbo Húmedo

Básicamente, un termómetro de bulbo húmedo no es diferente de un termómetro ordinario, excepto que tiene una pequeña mecha o pedazo de tela alrededor del bulbo. Si esta mecha se humedece con agua limpia, la evaporación de esta agua disminuirá la lectura (temperatura) del termómetro. Esta temperatura se conoce como de «bulbo húmedo» (*bh*). Si el aire estuviese saturado con humedad (100% *hr*), la lectura de la temperatura en el termómetro de bulbo húmedo, sería la misma que la del termómetro de bulbo seco. Sin embargo, la *hr* normalmente es menor de 100% y el aire está parcialmente seco, por lo que algo de la humedad de la mecha se evapora hacia el aire. Esta evaporación de la humedad de la mecha, provoca que la mecha y el bulbo del termómetro se enfríen, provocando una temperatura más baja que la del bulbo seco.

Mientras más seco esté el aire, más rápida será la evaporación de la humedad de la mecha. Así que, la lectura de la temperatura del bulbo húmedo, varía de acuerdo a qué tan seco esté el aire.

La precisión de la lectura del bulbo húmedo, depende de qué tan rápido pase el aire sobre el bulbo. Las velocidades hasta de 1,500 m/min (90 km/*hr*), son mejores pero peligrosas, si el termómetro se mueve a esta velocidad. También, el bulbo húmedo deberá protegerse de superficies que radien calor (sol, radiadores, calentadores eléctricos, calderas, etc.). Se pueden tener errores hasta del 15% si el movimiento de aire es muy lento, o si hay mucha radiación presente.

Cuando la *hr* es de 100% (saturación), las temperaturas de bulbo seco, bulbo húmedo y del punto de rocío son todas la misma. Abajo de 100% de *hr*, la temperatura del bulbo húmedo es siempre algo menor que la del bulbo seco y mayor que el punto de rocío.

En la figura 13.7, se ilustran los termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo. "A" representa la temperatura de bulbo seco, "B" la temperatura de bulbo húmedo y "C" la mecha que envuelve al bulbo húmedo. Nótese que la temperatura mostrada en el termómetro de bulbo húmedo, es considerablemente menor que la del termómetro de bulbo seco.

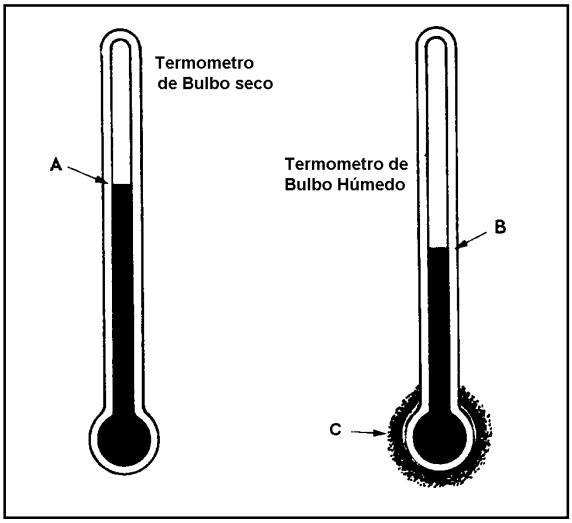


Tabla 13.7 - Termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo

También, la temperatura de bulbo húmedo varía de acuerdo a la temperatura del cuarto; así que, es afectada tanto por el calor sensible del aire en el cuarto, como por el calor latente de la humedad del aire. Por lo tanto, la temperatura de bulbo húmedo, es una indicación del calor total en el aire y la humedad.

Psicrómetro

Para asegurarse que la temperatura del bulbo húmedo registrada sea precisa, el flujo de aire sobre el bulbo húmedo debe ser bastante rápido. El dispositivo diseñado para girar un par de termómetros, uno de bulbo seco y otro de bulbo húmedo, se conoce como psicrómetro de onda. El instrumento consiste de dos termómetros, el de bulbo seco y el de bulbo húmedo. Para operarlo, la mecha se satura sobre el bulbo húmedo con agua limpia, o de preferencia, con agua destilada y se gira.

Para tomar las lecturas con el psicrómetro de onda, se recomiendan los siguientes pasos:

1. Sumerja la mecha sobre el bulbo húmedo en el agua. Sólo una vez por cada determinación de la *hr*, pero nunca entre una lectura y otra. La evaporación progresiva de la humedad en la mecha, hasta que alcanza el equilibrio con la humedad en el aire, es el factor que determina la lectura de bulbo húmedo.

2. Gire el psicrómetro durante 30 segundos. Rápidamente tome las lecturas, primero en el termómetro de bulbo húmedo y luego en el de bulbo seco y anótelas. Gire de nuevo el psicrómetro, tomando lecturas a intervalos de 30 segundos durante cinco lecturas sucesivas, y anote las temperaturas en cada ocasión, o hasta que se haya obtenido la lectura más baja y que la ultima lectura revele una nivelación o curva de retorno. (Dos o más lecturas sucesivas casi idénticas).

3. Utilice las tablas o la carta psicrométrica para obtener la *hr*. Normalmente, los psicrómetros de onda vienen acompañados de una regla deslizable con las dos escalas de temperaturas (bulbo húmedo y bulbo seco) y su *hr* correspondiente.

Existen otros tipos de psicrómetros que se utilizan en los lugares donde es difícil girar el psicrómetro de onda, por lo estrecho del pasadizo, etc. Uno de ellos es el psicrómetro de aspiración. Con este instrumento, la muestra de aire es soplada sobre los bulbos de los termómetros, por medio de una sección creada por una bomba de aire manual.

Otro modelo de psicrómetro de aspiración, en lugar de bomba de aire manual, utiliza un pequeño ventilador operado por un motorcito de baterías, con lo cual se impulsa el aire, forzándolo a pasar sobre los bulbos de los termómetros.

En la práctica, cualquier temperatura que se mencione, se supone que es la temperatura de bulbo seco, a menos que se refiera específicamente como la temperatura de bulbo húmedo (*bh*).

En párrafos anteriores, se estableció que la temperatura del punto de rocío podía sacarse indirectamente de la temperatura de bulbo seco. Por ejemplo, en un cuarto con una temperatura de bulbo seco de 21ºC, si utilizamos el psicrómetro de onda y obtenemos una temperatura de bulbo húmedo de 17.5ºC, en la columna 8 de la tabla 13.5, el contenido de calor total es aproximadamente de 15.88 kcal/kg (promedio entre 16.23 y 15.52). Puesto que la temperatura de bulbo húmedo es la indicación de la entalpía total del aire y la humedad, entonces, en este ejemplo, la entalpía total del aire y la humedad a una temperatura de bulbo seco de 21ºC, y de bulbo húmedo de 17.5ºC, es de 15.88 kcal/kg.

Los valores de esta tabla se basan en un kilogramo de aire, y en la columna 6, encontramos que el calor sensible de este kilogramo de aire seco a 21ºC es de 9.363 kcal. Esto deja 6.517 kcal (15.88 - 9.363) como el calor latente de la humedad mezclada con un kilogramo de aire seco. Si seguimos por la columna 7 hacia arriba, encontramos que este valor de calor latente de 6.517, corresponde a una temperatura de 15.6ºC.

El calor latente depende de la cantidad de humedad en la mezcla, y la cantidad de humedad depende de la temperatura del punto de rocío de la mezcla; así que, 15.6ºC es el punto de rocío de esta mezcla, cuyo calor latente es 6.517 kcal/kg de aire seco parcialmente saturado con humedad.

Así pues, encontrando las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo con un psicrómetro, podemos determinar la temperatura del punto de rocío. Conocer esta temperatura, nos permite determinar la humedad específica o la relativa, ya que la humedad específica se saca a partir de las presiones de vapor, a las temperaturas de bulbo seco y del punto de rocío (columna 2 de la tabla 13.3), y el porcentaje de humedad, se saca de los gramos de humedad por kilogramos de aire seco (columna 4 de la tabla 13.5), a las temperaturas de bulbo seco y del punto de rocío.

Además, los demás valores de las tablas psicrométricas (tablas 13.1, 13.3 y 13.5) también pueden sacarse, conociendo las temperaturas de bulbo seco, bulbo húmedo y punto de rocío.

Indicativos de Baja Humedad

El principal indicativo de la baja humedad atmosférica, es el incremento en la cantidad de energía electrostática notable. Cuando uno anda en movimiento de aquí para allá, y toca a otra persona o algún objeto metálico aterrizado, salta una chispa de la mano o los dedos hacia la persona u objeto. Otros indicativos, son que el cabello humano tiende a ser menos manejable; las uniones de los muebles se contraen y se aflojan; los trabajos de madera como puertas, pisos, etc., se agrietan; la superficie de la piel se reseca y las membranas de la nariz tienden a resecarse también. Para sentirse más confortables, generalmente es necesario elevar la temperatura ambiente (*bs*) arriba de la normal.

Medición de la Humedad

En la sección anterior, se explicó cómo medir la humedad usando los termómetros de bulbo seco y de bulbo húmedo. Esto implica el uso de las tablas o de la carta psicrométrica.

Se han desarrollado instrumentos, los cuales dan una lectura directa de la humedad relativa. La operación de estos instrumentos se basa en la propiedad de algunos materiales para absorber humedad y luego cambiar su forma o tamaño, dependiendo de la humedad relativa de la atmósfera. Se pueden utilizar materiales, tales como cabello humano, madera y algunas otras fibras. Los más comunes son los de tipo colgables en la pared, con una carátula graduada y una aguja que indica la *hr* en %.

También es posible medir la *hr* electrónicamente. Esto se hace utilizando una sustancia, en la cual, la conductividad eléctrica cambia con el contenido de humedad. Cuando el instrumento está en operación, el elemento sensor se coloca en el espacio donde se va a medir la humedad. Este elemento sensor puede ser una sonda conectada mediante un cable al instrumento, o en instrumentos portátiles, viene integrado a los mismos. Estos instrumentos tienen una pantalla digital, donde se puede indicar, además, las temperaturas de bulbo seco y del punto de rocío.

Algunas veces, se requiere una lectura continua en un espacio controlado. Aquí, se utiliza un instrumento registrador que indica la humedad y la temperatura. Los hay para 24 horas o para siete días en gráficas de papel circulares, o en gráficas cilíndricas de papel rígido.

Controles de Humedad

Los controles de humedad, se utilizan para mantener la *hr* de los cuartos con aire acondicionado, en un nivel

satisfactorio. Estos controles determinan el estado higrométrico del aire, por lo que también se les llama higrómetros.

Los controles de humedad operan durante la temporada de calefacción en invierno, agregando humedad al aire, para mantener la humedad aproximadamente constante.

Estos controles operan en el verano para remover humedad del aire. Para esto, el control de humedad, generalmente opera un desviador (bypass) de aire para variar el flujo de éste sobre los evaporadores. Estos controles, por lo general, operan eléctricamente para regular válvulas solenoides. El elemento de control puede ser una fibra sintética o cabello humano, los cuales son sensibles a la cantidad de humedad en el aire. En la figura 13.8, se muestran los principios de construcción de uno de estos dispositivos de control de humedad.

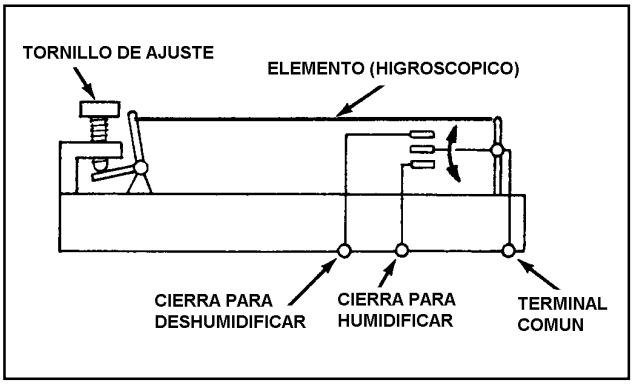


Tabla 13.8 - Diagrama esquemático de un control de humedad relativa.

Como se puede apreciar en la ilustración, el mecanismo consta de un elemento higroscópico, que generalmente son cabellos humanos, un tornillo de ajuste y un interruptor eléctrico de doble acción. La tensión del elemento higroscópico se ajusta a la humedad deseada, mediante el tornillo de ajuste.

Este elemento es muy sensible a los cambios de humedad. En el ciclo de calefacción, si disminuye la humedad relativa del aire, el elemento se contrae y cierra el contacto que acciona al humidificador. Cuando la *hr* regresa a su nivel apropiado, el elemento regresa a su posición normal y desconecta el humidificador.

En el ciclo de enfriamiento, si la humedad aumenta arriba del nivel fijado, el elemento aumenta su longitud y se cierra el contacto del deshumidificador. Cuando la *hr* vuelve al nivel apropiado, el elemento se contrae y desconecta el deshumidificador.

En cuartos de computadoras y otras instalaciones, donde se requiera un control estricto de la humedad, se utilizan los termohumidígrafos (registradores de temperatura y humedad), los cuales se equipan con alarmas que alertarán a las personas de servicio, en caso de que la temperatura o la humedad falle o deje de permanecer en el nivel apropiado.

¿Por qué Humidificar?

En cualquier casa o edificio donde prevalezca la calefacción en invierno, y que no haya humidificación, se lleva a cabo una reducción substancial de la *hr*.

Como ya sabemos, mientras más caliente está el aire, puede retener más humedad. El aire en un hogar calentado a 21ºC, puede tener aproximadamente 7.1 gramos de humedad por cada kilogramo de aire seco. Esto es, 100% de humedad relativa. Si solamente hubiese 1.77 gramos/kg en el hogar, esto es, una cuarta parte de la capacidad del aire para retener humedad, la *hr* sería también la cuarta parte o 25%. El aire podría retener hasta cuatro veces esa cantidad de agua.

Este fenómeno es muy importante, y es lo que sucede al aire cuando se calienta. En la figura 13.9, se muestra una tabla de conversión de la humedad relativa interior-exterior, que nos ilustra cómo disminuye la *hr* al calentar el aire dentro de una casa o un edificio, a aproximadamente 22ºC, en base a la temperatura y *hr* del exterior.

Para usar esta tabla, primero se determinan la humedad relativa y la temperatura exteriores, mediante un psicrómetro o con las tablas psicrométricas. Teniendo esos dos valores, se localiza la *hr* exterior en el lado izquierdo de la tabla y la temperatura exterior en la escala inferior. La intersección indica la *hr* interior cuando el aire exterior se calienta dentro del cuarto a 22ºC. Por ejemplo, si la humedad relativa y la temperatura exteriores son de 70% y -4ºC, respectivamente, la humedad relativa interior, será de 12%.

HUMEDAD RELATIVA EXTERIOR (%)	-35	-25	-20	-18	-15	-12	-10	-7	-4	-1	2	4	7	10
100	2	3	4	6	7	9	11	14	17	21	26	31	38	46
95	2	3	4	5	7	8	10	13	16	20	24	30	36	44
90	2	2	4	5	6	8	10	12	15	19	23	28	34	41
85	2	2	4	5	6	8	9	12	15	18	22	27	32	39
80	2	2	4	5	6	7	9	11	14	17	20	25	30	37
75	2	2	3	4	5	7	8	10	13	16	19	23	28	36
70	1	2	3	4	5	6	8	10	12	15	18	22	26	32
65	1	2	3	4	5	6	7	8	11	14	17	20	25	30
60	1	2	3	3	4	5	7	8	10	13	15	19	23	28
55	1	1	2	3	4	5	6	8	9	12	14	17	21	25
50	1	1	2	3	4	4	6	7	9	10	13	16	19	23
45	1	1	2	3	3	4	5	6	8	9	12	14	17	21
40	1	1	2	2	3	4	4	6	7	8	10	12	15	18
35	1	1	2	2	3	3	4	5	6	7	9	11	13	16
30	1	1	2	2	2	3	3	4	5	6	8	9	11	14
25	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	6	8	10	12
20	--	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	6	8	10
15	--	--	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	6	7
10	--	--	--	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5
5	--	--	--	--	--	--	1	1	1	1	1	1	2	2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TEMPERATURA EXTERIOR (°C)

Tabla 13.9 - Tabla de conversión de humedad relativa exterior - interior.

Para superar esto, se agrega humedad artificialmente para que haya disponible más humedad para ese aire seco, y aprovechar esa habilidad mayor de retención de humedad. Se humidifica porque hay beneficios que son tan importantes, como el calentar para un confort y bienestar interior durante el invierno. Estos beneficios, pueden agruparse en tres clasificaciones generales:

1. Confort
2. Conservación
3. Salud

1. Confort.- Cuando uno sale de la regadera en un baño cerrado, generalmente se siente tibio y húmedo. Probablemente la temperatura esté en el rango de 21ºC a 22ºC, con una *hr* de aproximadamente 70 a 80%. Esta alta humedad, resulta del vapor de agua agregado al aire durante el baño.

Cuando hay que salir del cuarto de baño a otra parte de la casa, se siente notablemente más frío, y no es que la temperatura esté más baja, porque puede ser casi la misma. Se debe a que probablemente la *hr* en el resto de la casa, esté entre un 10 ó 15%. Debido a lo seco de este aire, la humedad de la piel comienza a evaporarse inmediatamente, produciendo un efecto de enfriamiento, exactamente como un enfriador evaporativo.

Este tipo de fenómeno se presenta día tras día, cada invierno, en millones de casas. La gente que tiene calefacción, gira sus termostatos hasta 24 o 25ºC, para no sentir ese frío. Aun así, se sienten como corrientes de aire y frío porque el proceso evaporativo continúa. Un nivel adecuado de humedad relativa hace que a 20ºC, se sienta igual o más agradable que a 25ºC.

Este efecto de frío no es el único desconfort causado por el aire seco. La electricidad estática, como ya vimos, es una indicación definitiva de bajos niveles de humedad relativa, y es una condición que es consistentemente molesta. Una *hr* adecuada eliminará, o por lo menos, reducirá ese desconfort.

2. Conservación.- La adición o reducción de humedad, afecta drásticamente las cualidades, dimensiones y peso, de los materiales higroscópicos.

La madera, el papel, las telas, aunque se sienten secos al tacto, contienen agua. No una cantidad fija de agua, sino una cantidad que varía grandemente con el nivel de *hr* del aire circundante. Tomemos, por ejemplo, un metro cúbico de madera seca con un peso de 480 kg. A una *hr* de 60%, la madera tendrá aproximadamente 50 lts. de agua. Si la *hr* disminuye a 10%, el agua retenida por la madera no llegaría ni a 10 litros.

Este tipo de acción sucede no solo con la madera, sino con todo tipo de materiales en casa, que tengan la capacidad de absorber y despedir humedad. Estos materiales se encogen al perder humedad, y se hinchan al absorberla. Si la pérdida de agua es rápida, se suscitan torceduras y grietas. Al cambiar la *hr*, cambian las condiciones y las dimensiones de los materiales. Es por esto que se debe humidificar, se debe controlar la *hr* . Por todo lo anterior, es que la humedad adecuada es importante.

Efectos de Baja Humedad. En el párrafo anterior sobre indicativos de baja humedad, se mencionaron algunos de los efectos ocasionados por la falta de humedad. Esto afecta, principalmente, a la construcción de muebles; las gomas se resecan, las uniones se separan, los escalones se caen, aparecen grietas, etc.

Los emplastes y los entrepaños de madera se separan y se agrietan, al igual que los pisos. Los pianos, órganos y otros instrumentos musicales, pierden su afinación. Obras de arte, libros y documentos se resecan, se rompen o se agrietan.

Las alfombras y tapetes se desgastan rápidamente, simplemente porque una fibra seca se rompe y una húmeda se dobla.

Efectos por Exceso de Humedad. Todos hemos visto ventanas empañadas durante el invierno; esto es indicativo de una humedad relativa interior muy alta. Esta condensación se debe al efecto de la presión de vapor. Las moléculas del vapor de agua se mueven a través de toda la casa. Debido a la tendencia de estas moléculas a dispersarse igualmente o de mezclarse, la humedad del aire se mueve hacia el aire más seco. En una casa, el aire húmedo interior, tiende a alcanzar el aire más seco del exterior; se mueve hacia las ventanas donde hay una temperatura más baja. Por lo tanto, hay un incremento en la *hr*, hasta un punto en el cual el vapor de agua se condensa en las superficies más frías de las ventanas. Este es el punto de rocío y ocurre a varias condiciones, dependiendo del tipo de ventanas en la casa.

Generalmente, la condensación por dentro de las ventanas, es un tipo de medida de la *hr* permisible dentro de la casa. Puede asumirse que, si esta condensación se está llevando a cabo sobre la ventana, también puede estar ocurriendo dentro de los muros, si no hubiera una barrera de vapor.

Una barrera de vapor, como el nombre implica, es un material que restringe el movimiento de las moléculas de vapor de agua. Ejemplos de una barrera de vapor típica, son papel de aluminio, película de polietileno, cubiertas de plástico, azulejo de plástico y algunos tipos de pinturas o barnices. En realidad, prácticamente cada casa tiene algún tipo de barrera de vapor, la cual por lo menos retarda el movimiento de las moléculas de agua, desde una área de alta presión de vapor (interior), hacia una área de baja presión de vapor (exterior).

Se han demostrado que aunque los muros estén aislados, si la humedad relativa en el interior de la casa es muy alta, habrá condensación, ya sea en el interior del aislamiento o entre éste y el muro, y aquí es donde comienzan los problemas si no se tiene una barrera de vapor, o si no está controlado el humidificador.

El aspecto importante es una *hr* controlada adecuadamente, para evitar los dañinos efectos de un aire

demasiado seco e igualmente importante, evitar los efectos dañinos de una *hr* demasiado alta.

3. Salud.- ¿Que dicen los médicos acerca de la humedad y la salud? Un doctor especialista en ojos, nariz y garganta dice al respecto:

En la lucha entre la nariz y el equipo acondicionador del aire, algunas veces gana la calefacción y otras la refrigeración, pero rara vez la nariz. La mucosa nasal contiene como 96% de agua. Para empezar, es más viscosa que cualquier otra mucosidad en el cuerpo, y aun la más ligera resequedad, aumenta la viscosidad lo suficiente para interferir con la función de los cilios. Las demandas de las glándulas nasales son grandes aún bajo condiciones ordinarias, y no pueden competir con una sequedad externa en el interior de una casa en invierno.

La experiencia ha demostrado, que cuando se aproxima el invierno, aparece la primera ola de pacientes con nariz reseca, cuando la *hr* interior baja a 25%. Parece, por lo tanto, que 35% sería considerada del grado aceptable, pero 40% sería un mejor objetivo. Podría concluirse así, parecería que medio litro de agua, es demasiada agua para ser vertida por una pequeña nariz. En los enfermos y en los ancianos, simplemente no se libera, deteniéndose el flujo, cosa que los gérmenes aprovechan.

Otro médico experto en catarros comunes dice: «La prevención del catarro común es actualmente, la más cercana aproximación a la cura. La medida de prevención más importante, parecería ser la regulación adecuada de la humedad, especialmente durante la temporada de invierno y calefacción, con su desastrosa resequedad del aire interior , que crea un ambiente favorable para el virus de la gripe.

Una *hr* adecuada, es útil para aliviar los problemas de salud agravados por un aire demasiado seco. Todos los hechos apuntan hacia una relación positiva entre la humedad y la salud.

¿Cuál es la Humedad Relativa Correcta para Interiores?

Mientras que algunas condiciones de humedad son ideales para el confort y la salud, en muchos casos, son menos ideales por otras razones. Una *hr* interior de 60%, puede cumplir con todos los requisitos para salud y confort, pero puede resultar dañina para paredes, muebles, etc.
El empañamiento de las ventanas es, normalmente, una indicación de *hr* demasiado alta, y debe recordarse que esta misma condensación, se lleva a cabo dentro de las paredes y otros lugares vulnerables al daño por exceso de humedad.

Por lo tanto, es necesario fijar límites de seguridad para los niveles de humedad relativa en interiores, a fin de obtener los máximos beneficios de la humedad correcta, sin exponer la estructura a algún daño. Se recomienda que se sigan los datos de la tabla 13.10, para asegurar esos beneficios.

Temperatura Exterior °C	Humedad Relativa Recomendada %
-7 y mayores	35
-12	30
-18	25
-23	20
-30	15

Tabla 13.10 - Humedad relativa recomendada.

Cartas Psicrométricas

Una carta psicrométrica, es una gráfica de las propiedades del aire, tales como temperatura, *hr*, volumen, presión, etc. Las cartas psicrométricas se utilizan para determinar, cómo varían estas propiedades al cambiar la humedad en el aire.

Las propiedades psicrométricas del aire que se describen en las ilustraciones de las tablas 13.1, 13.3 y 13.5, han sido recopiladas a través de incontables experimentos de laboratorio y de cálculos matemáticos, y son la base para lo que conocemos como la Carta Psicrométrica.

Aunque las tablas psicrométricas son más precisas, el uso de la carta psicrométrica puede ahorrarnos mucho tiempo y cálculos, en la mayoría de los casos donde no se requiere una extremada precisión.

Como se mencionó al inicio de este párrafo, la carta psicrométrica es una gráfica que es trazada con los valores de las tablas psicrométricas; por lo tanto, la carta psicrométrica puede basarse en datos obtenidos a la presión atmosférica normal al nivel del mar, o puede estar basada en presiones menores que la atmosférica, o sea, para sitios a mayores alturas sobre el nivel del mar.

Existen muchos tipos de cartas psicrométricas, cada una con sus propias ventajas. Algunas se hacen para el rango de bajas temperaturas, algunas para el rango de media temperatura y otras para el rango de alta temperatura. A algunas de las cartas psicrométricas se les amplía su longitud y se recorta su altura; mientras que otras son más altas que anchas y otras tienen forma de triángulo. Todas tienen básicamente la misma función; y la carta a usar, deberá seleccionarse para el rango de temperaturas y el tipo de aplicación.

En este texto, utilizaremos una carta psicrométrica basada en la presión atmosférica normal, también llamada presión barométrica, de 101.3 kPa ó 760 mmHg. Esta carta cubre un rango de temperaturas de bulbo seco (*bs*) de -10ºC hasta 55ºC, y un rango de temperaturas de bulbo húmedo (*bh*) desde -10ºC hasta 35ºC.

En la figura 13.11, se muestra una carta psicrométrica básica. Está hecha con datos basados a la presión atmosférica normal de 101.325 kPa, y las unidades son las del Sistema Internacional, S.I. (ver capitulo 15 sobre equivalencias entre sistemas de unidades). Las tempera-

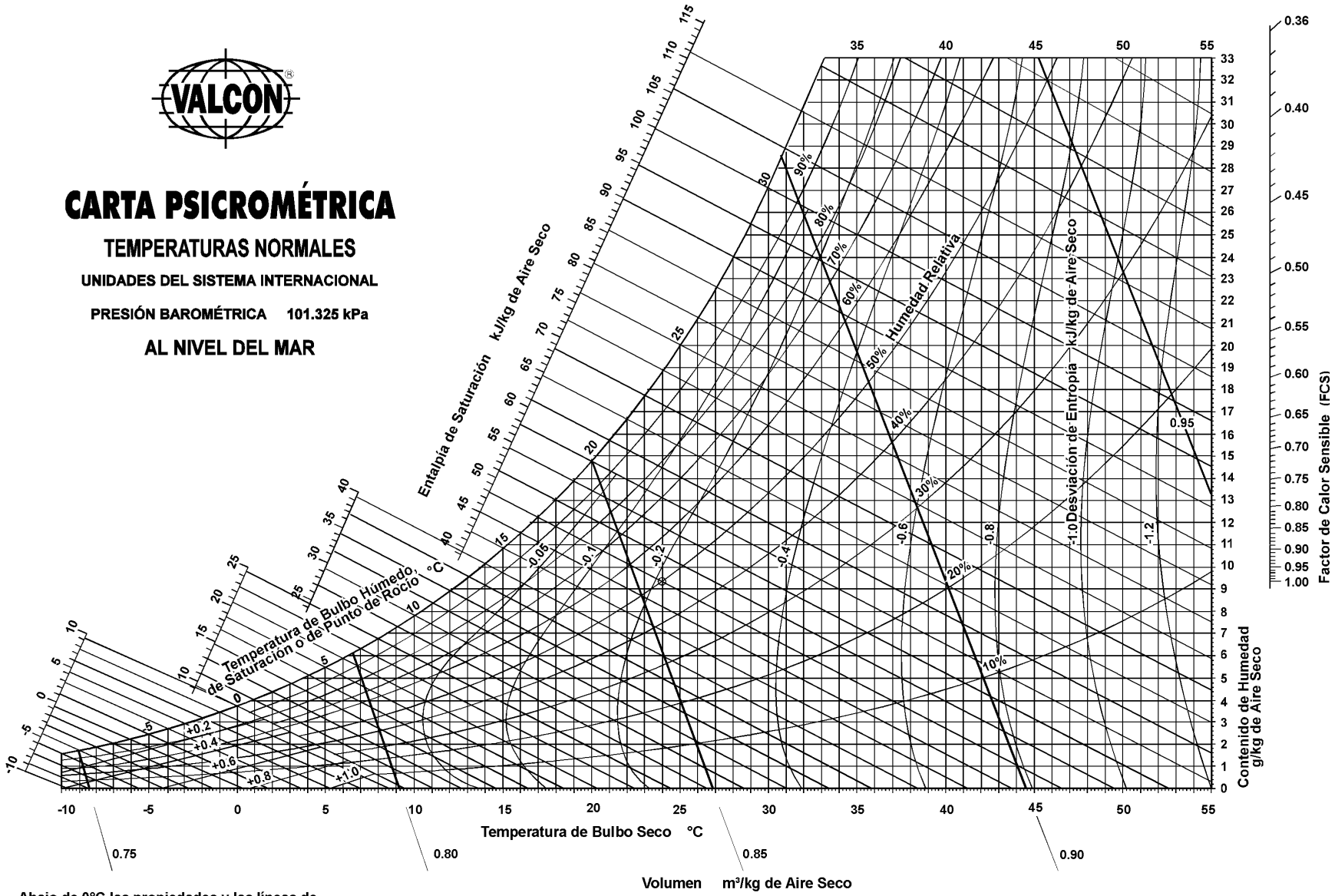


Figura 13.11 - Carta psicrométrica a temperaturas normales y presión barométrica de 101.325 kPa (al nivel del mar). Las unidades están en el sistema internacional (SI).

turas están en grados centígrados; el volumen en m³/kg; la humedad relativa en porcentajes; el contenido de humedad en g/kg aire seco; la entalpía y la entropía están en kilo Joules (kJ) por kg de aire seco. Un kJ/kg = 0.239 kcal/kg = 0.430 btu/lb.

En una carta psicrométrica se encuentran todas las propiedades del aire, de las cuales las de mayor importancia son las siguientes:

1. Temperatura de bulbo seco (*bs*).
2. Temperatura de bulbo húmedo (*bh*).
3. Temperatura de punto de rocío (*pr*)
4. Humedad relativa (*hr*).
5. Humedad absoluta (*ha*).
6. Entalpía (*h*).
7. Volumen específico.

Conociendo dos de cualquiera de estas propiedades del aire, las otras pueden determinarse a partir de la carta.

1. Temperatura de Bulbo Seco.- En primer término, tenemos la temperatura de bulbo seco. Como ya sabemos, es la temperatura medida con un termómetro ordinario. Esta escala es la horizontal (abcisa), en la parte baja de la carta, según se muestra en la figura 13.12. Las líneas que se extienden verticalmente, desde la parte baja hasta la parte alta de la carta, se llaman líneas de temperatura de bulbo seco constantes, o simplemente «líneas de bulbo seco». Son constantes porque cualquier punto a lo largo de una de estas líneas, corresponde a la misma temperatura de bulbo seco indicada en la escala de la parte baja. Por ejemplo, en la línea de 40ºC, cualquier punto a lo largo de la misma, corresponde a la temperatura de bulbo seco de 40ºC.

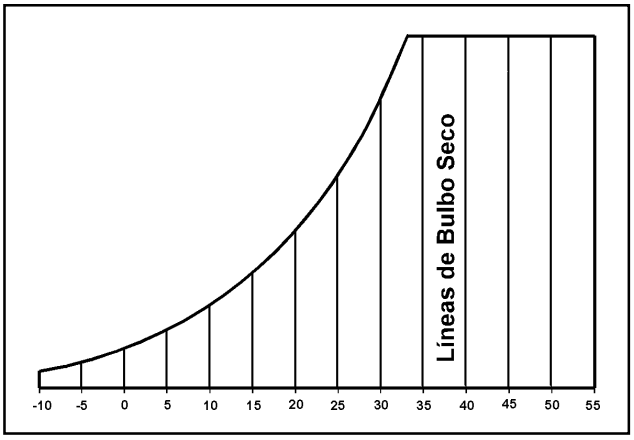


Figura 13.12 - Líneas de temperatura de bulbo seco ºC.

2. Temperatura de Bulbo Húmedo.- Es la segunda propiedad del aire de nuestra carta psicrométrica. Corresponde a la temperatura medida con un termómetro de bulbo húmedo. Como ya se explicó en la sección anterior, es la temperatura que resulta cuando se evapora el agua de la mecha, que cubre el bulbo de un termómetro ordinario.

La escala de temperaturas de bulbo húmedo, es la que se encuentra del lado superior izquierdo, en la parte curva de la carta psicrométrica, como se muestra en la figura 13.13. Las líneas de temperatura de bulbo húmedo constantes o líneas de bulbo húmedo, corren diagonalmente de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, en un ángulo de aproximadamente 30º de la horizontal. También se les dice constantes, porque todos los puntos a lo largo de una de estas líneas, están a la misma temperatura de bulbo húmedo.

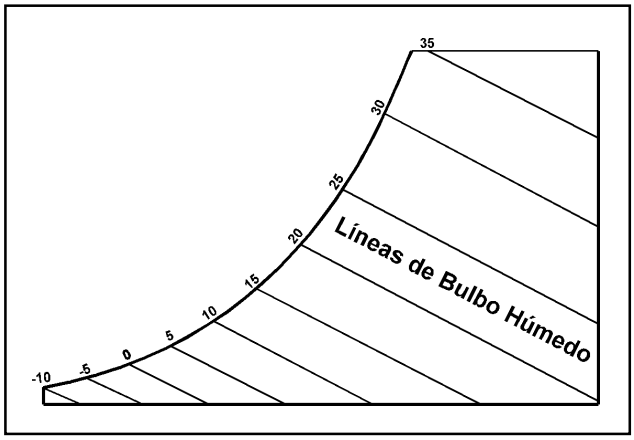


Figura 13.13 - Líneas de temperatura de bulbo húmedo ºC.

3. Temperatura de Punto de Rocío.- Es otra propiedad de aire incluida en una carta psicrométrica. Esta es la temperatura a la cual se condensará la humedad sobre una superficie. La escala para las temperaturas de punto de rocío es idéntica que la escala para las temperaturas de bulbo húmedo; es decir, es la misma escala para ambas propiedades. Sin embargo, las líneas de la temperatura de punto de rocío, corren horizontalmente de izquierda a derecha, como se ilustra en la figura 13.14, no en forma diagonal como las de bulbo húmedo (ver figura 13.13).

Cualquier punto sobre una línea de punto de rocío constante, corresponde a la temperatura de punto de rocío sobre la escala, en la línea curva de la carta.

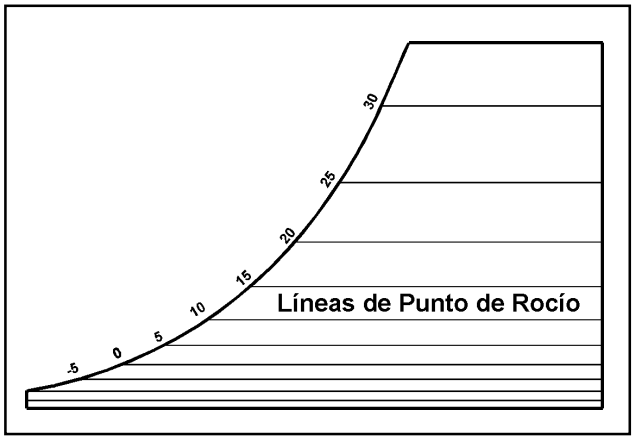


Figura 13.14 - Líneas de temperatura de punto de rocío ºC.

4. Humedad Relativa.- En una carta psicrométrica completa, las líneas de humedad relativa constante, son las líneas curvas que se extienden hacia arriba y hacia la derecha. Se expresan siempre en porciento, y este valor se indica sobre cada línea.

Como ya hicimos notar previamente, la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de punto de rocío, comparten la misma escala en la línea curva a la izquierda de la carta. Puesto que la única condición donde la temperatura de bulbo húmedo y el punto de rocío, son la misma, es en condiciones de saturación; esta línea curva exterior, representa una condición de saturación o del 100% de humedad relativa. Por lo tanto, la línea de 100% de *hr*, es la misma que la escala de temperaturas de bulbo húmedo y de punto de rocío.

Las líneas de *hr* constante, disminuyen en valor al alejarse de la línea de saturación hacia abajo y hacia la derecha, como se ilustra en la figura 13.15.

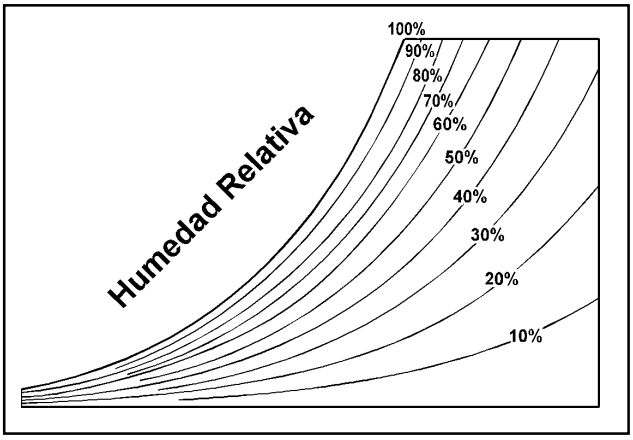


Figura 13.15 - Líneas de humedad relativa %.

5. Humedad Absoluta.- La humedad absoluta, es el peso real de vapor de agua en el aire. También se le conoce como humedad específica. La escala de la humedad absoluta, es la escala vertical (ordenada) que se encuentra al lado derecho de la carta psicrométrica, como se indica en la figura 13.16.

Los valores de esta propiedad se expresan, como ya sabemos, en gramos de humedad por kilogramo de aire seco (g/kg), en el sistema internacional, y en granos por libra (gr/lb), en el sistema inglés.

Las líneas de humedad absoluta, corren horizontalmente de derecha a izquierda, y son paralelas a las líneas de punto de rocío y coinciden con éstas. Así pues, podemos ver que la cantidad de humedad en el aire, depende del punto de rocío del aire.

A continuación, veremos algunos ejemplos sencillos del uso de la carta psicrométrica, con las cinco propiedades físicas descritas hasta este punto. Luego, veremos las demás propiedades que faltan por estudiar. Como se mencionó anteriormente, conociendo dos de estas propiedades del aire, se pueden determinar las demás con el uso de la carta psicrométrica.

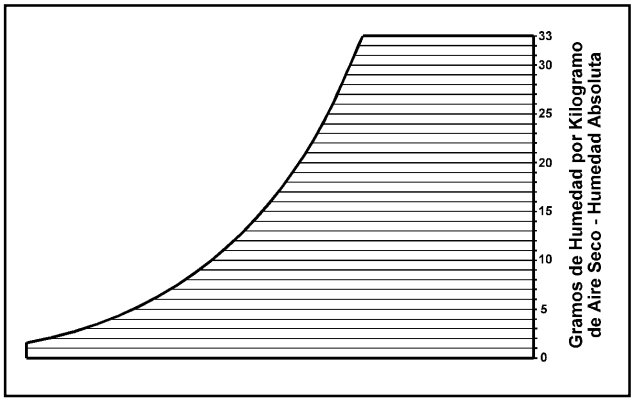


Figura 13.16 - Líneas de humedad absoluta en gramos/kg.

Ejemplo: Supongamos que con un psicrómetro se tomaron las lecturas de las temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo, siendo éstas de 24ºC y de 17ºC, respectivamente. ¿Cuál será la humedad relativa?

Refiriéndonos a la carta psicrométrica de la figura 13.17, encontramos la temperatura de bulbo seco (24ºC) en la escala inferior, y la temperatura de bulbo húmedo (17ºC) en la escala curva del lado izquierdo de la carta. Extendiendo estas dos líneas, se intersectan en el punto "A". A partir de este punto, se puede determinar toda la demás información. La humedad relativa es de 50%.

En esa misma muestra de aire, ¿cuál será el punto de rocío?

Partiendo del punto "A" y desplazándonos hacia la izquierda en forma horizontal, la línea corta a la escala de temperatura de punto de rocío en 12.6ºC.

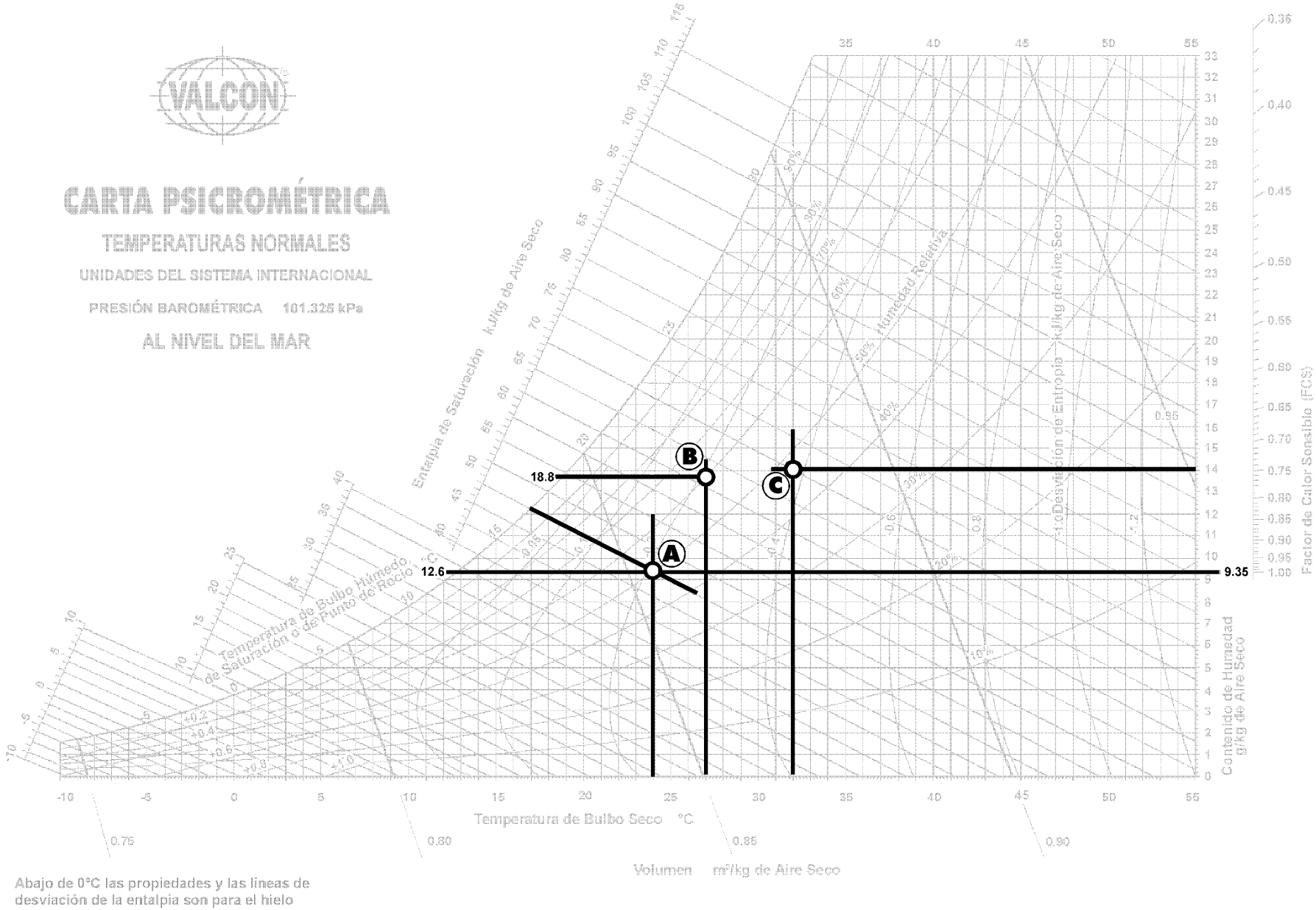
¿Cuál será la humedad absoluta? Partiendo nuevamente del punto "A", en forma horizontal, pero hacia la derecha de la carta, la línea intersecta en la escala de humedad absoluta en un valor de 9.35 g/kg de aire seco.

Ejemplo: A una muestra de aire se le midió la humedad relativa, utilizando un higrómetro y ésta es de 60%. Si la temperatura de bulbo seco es de 27ºC, ¿cuál será el punto de rocío?

Encontramos el punto donde la temperatura de 27ºC de bulbo seco, cruza con la línea de 60% de *hr*, en la fig. 13.17. A este punto lo llamamos "B". Si la muestra de aire en estas condiciones fuera enfriada, sin cambiar su contenido de humedad, lo cual está representado en la carta psicrométrica como una línea horizontal, la línea del punto de rocío seria intersectada aproximadamente en 18.8ºC.

Ejemplo: Encontrar la *hr* cuando la temperatura de bulbo seco es de 32ºC, y el contenido de humedad (presión del vapor de agua) es de 14 g/kg de aire seco.

Primero, se encuentra la línea vertical que representa la temperatura de bulbo seco constante de 32ºC. Subiendo a lo largo de esta línea, hasta cruzar la línea horizontal que representa 14 g de humedad por kg de aire seco. A la intersección le llamamos punto "C", (ver fig. 13.17). Este punto cae entre las líneas de 40% y 50% de humedad relativa. La respuesta sería una humedad relativa de 47%.



Abajo de 0°C las propiedades y las líneas de desviación de la entalpía son para el hielo

Figura 13.17 - Ejemplo del uso de la carta psicrométrica.

6. Entalpía.- Las líneas de entalpía constantes en una carta psicrométrica, son las que se muestran en la figura 13.18. Debe notarse que estas líneas, son meramente extensiones de las líneas de bulbo húmedo; puesto que el calor total del aire, depende de la temperatura de bulbo húmedo. La escala del lado izquierdo lejana a la línea curva, da el calor total del aire en kJ/kg (kilojoules por kilogramo) de aire seco, en el sistema internacional o en btu/lb de aire seco, en el sistema inglés. Esta escala aumenta de -6 kJ/kg a la temperatura de -10ºC de bulbo húmedo, hasta aproximadamente 115 kJ/kg a 33ºC de bulbo húmedo.

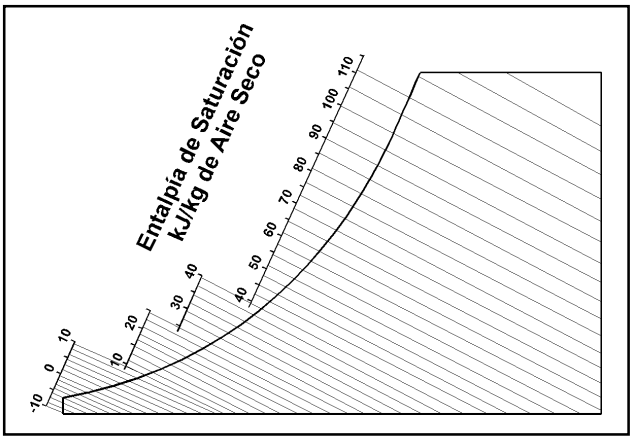


Figura 13.18 - Líneas de entalpía en kJ/kg de aire seco.

7. Volumen Específico.- En la figura 13.19, se muestran las líneas del volumen específico constante en una carta psicrométrica. Estas líneas están en un ángulo aproximado de 60º con la horizontal, y van aumentando de valor de izquierda a derecha. Por lo general, el espacio entre cada línea, representa un cambio de volumen específico de 0.05 m³/kg. Cualquier punto que caiga entre dos de estas líneas, naturalmente debe ser un valor estimado. Si se desea saber la densidad del aire a cualquier condición, como ya sabemos, se debe dividir uno entre el volumen específico, puesto que la densidad es la inversa del volumen especifico y viceversa. Debido a que la mayoría de los cálculos en trabajos de aire acondicionado, se basan en el peso del aire en lugar del volumen de aire, se recomienda el uso del volumen específico (m³/kg de aire) en vez de la densidad (kg/m³ de aire).

Ahora, echemos un vistazo a la carta psicrométrica de la figura 13.11. Su constitución consiste de la sobreimposición de las siete propiedades descritas, ocupando la misma posición relativa sobre la carta.

En la descripción de cada una de las siete propiedades, se definió la línea constante como una línea que puede contener un número infinito de puntos, cada uno a la misma condición; esto es, si fuésemos a trazar una sola condición del aire, tal como la temperatura del bulbo seco sobre la carta psicrométrica, ésta podría caer en cualquier punto sobre la línea constante, correspondiente a esa temperatura de bulbo seco.

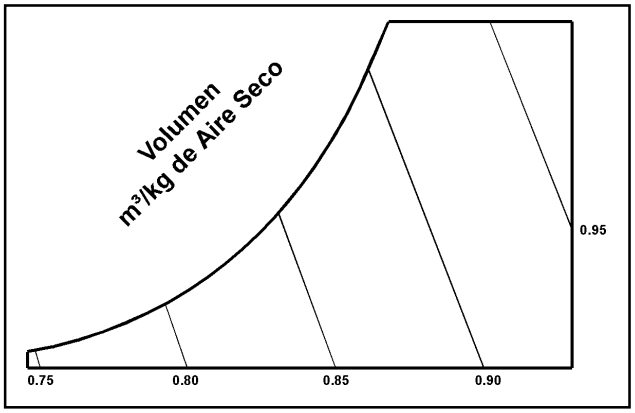


Figura 13.19 - Líneas de volumen específico en m³/kg de aire seco.

Pero ahora, en la carta psicrométrica compuesta, tenemos un número de líneas que se cruzan una con otra; así que si trazamos un punto sobre una línea de bulbo seco constante, este punto también corresponderá a diferentes valores sobre las líneas constantes para la temperatura de bulbo húmedo, punto de rocío, humedad relativa, volumen específico, humedad específica y entalpía. Suponiendo que dos de cualquiera de estas líneas constantes se cruzaran en un punto común sobre la carta, podremos trazar ese punto exactamente, si conocemos dos de cualquiera de esas propiedades del aire. A partir de este punto, podemos entonces movernos a lo largo de las respectivas líneas constantes para las otras propiedades del aire, y podemos leer el valor en sus escalas respectivas, sin tener que recurrir al problema de calcularlos, como vimos en la sección de las tablas psicrométricas. Aunque este método no es tan preciso como el método de las tablas, es mucho más rápido, y el grado de precisión es suficientemente cercano para fines prácticos.

Ejemplo: Si a una muestra de aire se le toman las temperaturas de bulbo seco (35ºC) y bulbo húmedo (22ºC), ¿cuáles serán las demás propiedades?

Primero, trazamos un punto donde estas dos líneas se cruzan, como se muestra en la figura 13.20, y lo marcamos como punto "A". Este es el único punto en la carta donde existen estas dos condiciones (35ºC *bs* y 22ºC *bh*).

Las demás condiciones pueden encontrarse fácilmente, simplemente nos desplazamos a lo largo de la línea constante correspondiente, leyendo el valor en esa escala.

El orden no es importante, y puede comenzarse por cualquier propiedad. Por ejemplo, la temperatura de punto de rocío. Para determinarla, partimos del punto "A", horizontalmente hacia la izquierda de la carta, y donde cruza la escala de temperatura de bulbo húmedo, esa es la temperatura de punto de rocío, ya que es la misma escala, puesto que en esa línea curva el aire está en su condición de saturación. La temperatura de punto de rocío para este ejemplo es de 15.8ºC (punto "B").

El contenido de humedad se determina sobre la escala del lado derecho de la carta; por lo que, partiendo del

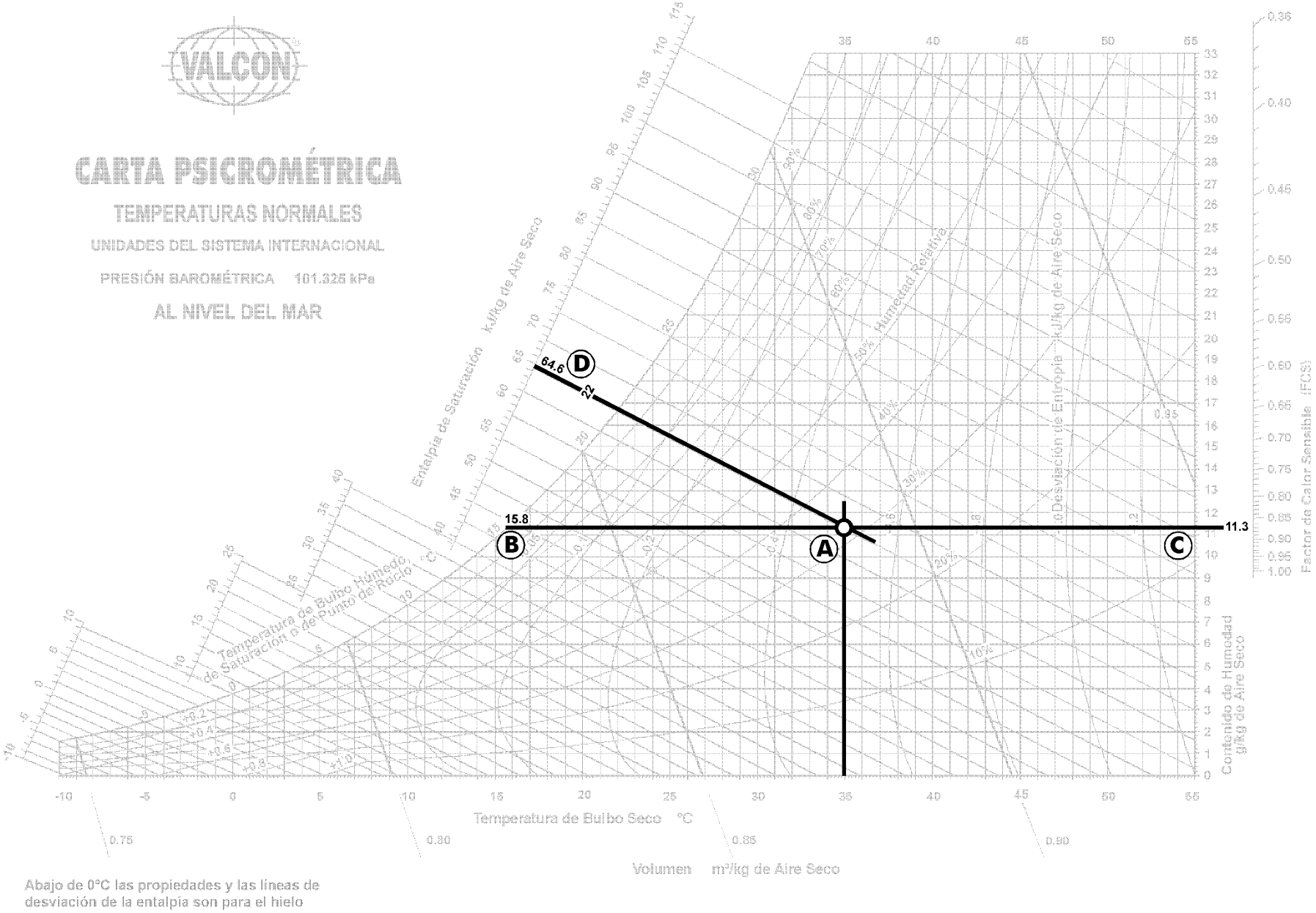


Figura 13.20 - Ejemplo del uso de la carta psicrométrica para encontrar las propiedades del aire.

punto "A", nos desplazamos horizontalmente hacia la derecha, y cruzamos la escala en aproximadamente 11.3 g/kg de aire seco (punto "C").

La humedad relativa se determina por la posición del punto "A", con respecto a las líneas de humedad relativa de la carta. Examinando de cerca este punto, vemos que está aproximadamente a una quinta parte de la distancia entre las líneas de 30% y 40% de *hr*. Por lo que podemos estimar que la *hr* es de 32%.

La ubicación del punto "A", con respecto a las líneas constantes del volumen específico, indica que cae aproximadamente a 4/5 partes de la distancia entre la línea de 0.85 y 0.90 m³/kg de aire seco, (4 ÷ 5 = 0.80). Como hay una diferencia de 0.05 m³/kg entre una línea y otra, podemos estimar que el volumen específico es 0.85 + 0.80 veces 0.05, o sea 0.89 m³/kg de aire seco, 0.85 + (0.80 x 0.05) = 0.89. La densidad sería lo inverso del volumen específico, o sea 1 ÷ 0.89 = 1.12 kg/m³.

Extendiendo la línea constante de bulbo húmedo, de 22ºC directo hacia arriba y a la izquierda, hasta cortar la escala de calor total o entalpía (punto "D"), podemos leer que la entalpía del aire es de 64.6 kJ/kg de aire seco. Para convertir kilojoules por kilogramo a kilocalorías por kilogramo, dividimos los kJ/kg entre 4.184(64.6 kJ/kg ÷ 4.184 = 15.44 kcal/kg). Para convertir los kJ/kg a btu/lb, se dividen los kJ/kg entre 2.326(64.6 kJ/kg ÷ 2.326 = 27.77 btu/lb).

Mientras que los valores de las demás propiedades obtenidos en la carta psicrométrica, son muy parecidos a los calculados mediante el método de las tablas psicrométricas, parecería que el valor de la entalpía es considerablemente menos preciso; pero, debe recordarse que en el proceso de acondicionamiento de aire, nos interesa el cambio de calor, en lugar del valor absoluto del calor total. La diferencia entre las tablas y la carta, es consistente a través de todo el rango de temperaturas con las cuales se va a trabajar; así que, los cambios en los valores de entalpía en la carta, serán casi idénticos a los cambios en las tablas.

Como se puede observar, es relativamente simple determinar las propiedades del aire en una carta psicrométrica, conociendo dos (cualquiera) de ellas. Se requiere que a partir de un punto dado en la carta, las demás propiedades se obtengan siguiendo una serie de líneas, que pueden ser horizontales, verticales, diagonales o curvas. La precisión del resultado, depende grandemente de la versión individual, la habilidad para trazar líneas y el método de interpolación. La interpolación significa obtener matemáticamente, los valores de los puntos que caen entre dos líneas; lo cual, en ocasiones, puede consumir una gran cantidad de tiempo y esfuerzo.

Pero, el uso de la carta no se limita solamente a determinar las propiedades de una muestra de aire, también se pueden calcular las cargas térmicas al calentar o enfriar la muestra de aire, con o sin humidificación o deshumidificación, cambios en el volumen, mezclas de aire, etc.

Enfriamiento de Aire

En el enfriamiento o calentamiento del aire, desde condiciones indeseables hasta condiciones que son adecuadas para el confort humano, se debe considerar la adición o remoción de dos tipos de calor: calor sensible y calor latente. A continuación, veremos algunos ejemplos de cambios de calor sensible y cambios de calor latente.

Enfriamiento Sensible

El término «cambio de calor sensible», se refiere a un cambio en calor que provocará un cambio en la temperatura del aire. Con frecuencia, al enfriar el aire seco y caliente del desierto, o al calentar aire helado, se requerirá tan sólo un cambio en el calor sensible del aire. Puesto que un cambio en el calor sensible del aire no afectará la cantidad de humedad de éste; dicho cambio puede graficarse en la carta psicrométrica, paralelo a las líneas constantes de punto de rocío. Esto significa que el punto de rocío del aire, no cambiará mientras sea solamente calor sensible el que se agrega o se quita. Por otra parte, el peso total del aire en kg permanece constante, pero su volumen (m³/kg) sí cambia, puesto que el aire se contrae al ser enfriado.

Veamos un ejemplo de enfriamiento sensible de aire. Si originalmente está a 43ºC de *bs,* y 21ºC de *bh*, y se quiere enfriarlo a 17ºC de *bs* y 12º de *bh*. Comparando las propiedades de la condición inicial (1), con las de la condición final (2), podemos ver que hemos aumentado la *hr* del aire de aproximadamente 13%, a aproximadamente 56%, como se muestra en la figura 13.21, aunque no se ha cambiado el contenido de humedad del aire. Esto es porque al enfriar el aire, se le reduce su capacidad de retención de humedad en saturación, y consecuentemente, se aumenta la relación de humedad en el aire, con la máxima que podría retener a esa temperatura de *bs*.

Esta línea de enfriamiento sensible (1-2), es casi paralela a las líneas constantes de contenido de humedad, que son las mismas de la temperatura de punto de rocío; por lo que estos dos valores son constantes y no cambian durante el enfriamiento sensible. En este ejemplo, el contenido de humedad es de aproximadamente 6.4 g/kg de aire seco, y la temperatura de punto de rocío es de 8.2ºC.

También podemos ver que al enfriar el aire, se ha disminuido su volumen específico de aproximadamente 0.905 m³/kg, que tenía en el punto 1, a aproximadamente 0.835 m³/kg en el punto 2. Consecuentemente, al disminuir su volumen específico, aumenta su densidad. Como es lógico, el aire con un cierto contenido de humedad, mientras más frío está es más denso.

Al graficar el cambio de entalpía para este efecto de enfriamiento sensible, se puede ver que en la condición 1, contenía 61 kJ/kg (14.58 kcal/kg), mientras que en la condición 2 contiene 34.2 kJ/kg (8.17 kcal/kg). Si restamos la entalpía 2 de la entalpía 1, llegamos a un cambio total de entalpía de 6.41 kcal/kg. Por lo tanto, por cada kilogramo de aire que se enfríe de la condición

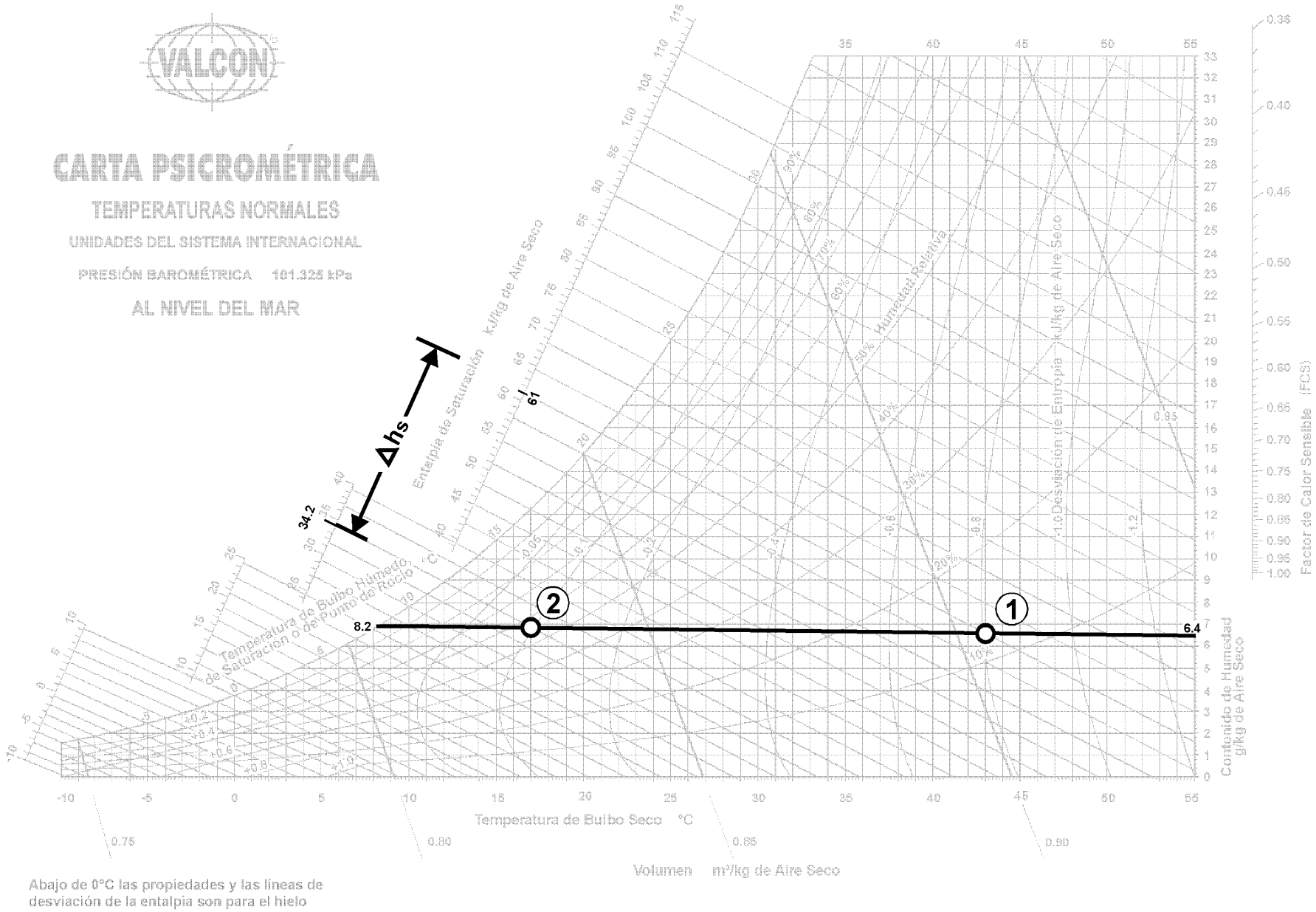


Figura 13.21 - Ejemplo de un enfriamiento sensible del aire.

inicial a la final, se deben quitar 6.41 kcal/kg. Este cambio de calor sensible se muestra en la figura 13.21 como $\hat{h}s$.

En la figura 13.22, se indican los resultados del enfriamiento sensible para las temperaturas de bulbo seco, bulbo húmedo y de punto de rocío, y también para el volumen al pasar el aire a través del equipo enfriador, en este caso, el serpentín (evaporador).

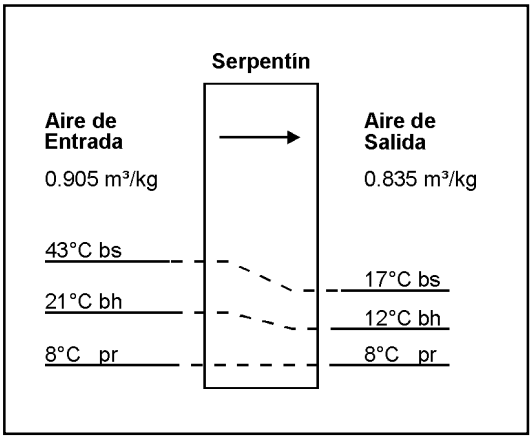


Figura 13.22 - Ejemplo de enfriamiento sensible a través del serpentín del equipo de refrigeración.

Aunque el ejemplo anterior muestra un proceso de enfriamiento sensible solamente, los cálculos para hacer exactamente lo opuesto, como los sistemas de calefacción en invierno, son los mismos. Esto es, cada kilogramo de aire calentado de 17°C de *bs* y 12°C de *bh*, hasta 43°C de *bs* y 21°C de *bh*, requerirá que se le agreguen 6.41 kilocalorías. Cualquier fuente de calor seco, ya sea un horno, un serpentín de agua caliente o un calentador eléctrico, producirá un cambio en el calor sensible solamente. Sin embargo, en el proceso de enfriamiento, la superficie exterior del serpentín de enfriamiento (evaporador), debe estar arriba de la temperatura de punto de rocío del aire, o se condensará la humedad, resultando en una transferencia de su calor latente también.

Enfriamiento y Deshumidificación

La combinación de enfriamiento y deshumidificación, se encuentra en prácticamente todos los sistemas de aire acondicionado. La deshumidificación misma, no puede llevarse a cabo por la refrigeración mecánica, sin remover también el calor sensible. Si solamente se desea deshumidificar individualmente, entonces deben utilizarse desecantes químicos.

La deshumidificación es la remoción del vapor de agua presente en el aire. La cantidad del vapor de agua, presente dentro de una zona ocupada, variará dependiendo del número de personas presentes y de su actividad, la condición del aire exterior, la estructura del edificio y la cantidad de infiltración.

Al enfriamiento y deshumidificación del aire para confort humano, se le conoce comúnmente como aire acondicionado. Esto no es totalmente correcto, ya que el término «aire acondicionado», se refiere a cualquiera o todas las fases de enfriar, calentar, ventilar, filtrar, distribuir, etc., el aire, para que cumpla los requerimientos del espacio acondicionado. El enfriamiento y deshumidificación del aire, es la fase del aire acondicionado que le concierne al técnico en refrigeración, ya que normalmente, requiere el uso de un equipo de refrigeración mecánica. Para poder producir el enfriamiento y la deshumidificación requeridos para el espacio acondicionado, el equipo de refrigeración debe estar funcionando adecuadamente, y debe tener la capacidad correcta para la aplicación.

Cuántas veces hemos oído al desesperanzado cliente decir: «Sí, el equipo trabaja bien, pero no enfría lo suficiente». Los cálculos para determinar la carga térmica en el espacio, y los requerimientos de la distribución del aire, no serán cubiertas en este texto; pero, sí podemos hacer una revisión rápida con la ayuda de la carta psicrométrica, para ver qué tanta capacidad tiene un equipo de refrigeración, bajo condiciones reales de trabajo.

Las herramientas necesarias para estos cálculos consisten de un psicrómetro, un instrumento para medir velocidades del aire (un anemómetro, un tubo de pitot, etc.), una calculadora y una carta psicrométrica.

Por ejemplo, revisaremos la capacidad de un sistema de aire acondicionado, el cual ha sido clasificado por el fabricante en 10 T.R o sea 30,240 kcal/h (120,000 btu/h). En nuestra prueba de capacidad, no usaremos las mismas condiciones de prueba que el fabricante, pero podemos aproximarnos, utilizando 100% de aire de retorno a la entrada del evaporador en un día caluroso de verano, ajustando la velocidad del ventilador para que dé una velocidad del aire de aproximadamente 150 m/min, sobre la superficie del serpentín.

Mientras que este ejemplo se refiere específicamente al acondicionamiento de aire de verano, las condiciones de humedad controlada se aplican igualmente al almacenamiento de carne, por ejemplo, en una cámara de conservación.

Lo primero que hay que hacer, es medir las temperaturas de *bs* y de *bh* del aire que entra y sale del serpentín del evaporador. En este ejemplo, las condiciones iniciales del aire son de 27°C de *bs* y de 20°C de *bh*; las condiciones a la salida o finales son de 10°C de *bs* y 9°C de *bh*. Las lecturas de la velocidad del aire sobre el serpentín, se sacan dividiendo mentalmente la superficie frontal del serpentín en cuadros de entre 5 y 8 cm (2 a 3 pulg.). Se toman lecturas en cada cuadro imaginario, se registran estas lecturas y se saca un promedio. Mientras más lecturas se tomen, mayor será la precisión. En nuestro ejemplo, usaremos una velocidad promedio del aire de 158 m/min, y un evaporador de 91 cm de largo por 46 cm de alto.

El primer paso para calcular la capacidad del sistema, es trazar las condiciones del aire a la entrada y a la salida del serpentín sobre la carta psicrométrica, tal como se

muestra en la figura 13.23. El punto 1 representa las condiciones de entrada del aire, y el punto 2 representa de salida.
El punto 3, representa la temperatura aproximada real del serpentín. El punto 3 se encuentra extendiendo la línea recta que conecta los puntos 1 y 2, hasta la curva de saturación. Este punto, también llamado el «punto de rocío del aparato», es la temperatura promedio del agua que se condensa sobre la superficie del serpentín. Conforme sea la condición se mueve a la izquierda de la carta, removiendo calor del aire, pero también humedad.

Enseguida, encontramos el cambio de calor total en un kilogramo de aire, restando la entalpía en la condición de salida, de la entalpía en la condición de entrada:

$\triangle h_t$ = 57.5-27.0= 30.5 kJ/kg (13.74-6.45 = 7.29 kcal/kg).

Puesto que el volumen del aire sobre el serpentín, es controlado por el ventilador, y que éste mismo aire cambiará de densidad y volumen específico al cambiar la temperatura a través del sistema, el siguiente paso será determinar el peso total del aire que circula por el ventilador. El peso del aire no cambiará, puesto que la materia no puede ser creada ni destruida.

El área frontal del evaporador es de 91 x 46 cm o 0.4186 m² (0.91 m x 0.46 m). Si multiplicamos esto por la velocidad del aire sobre el serpentín, tendremos un valor de 66.138 m³/min (0.4186 m² x 158 m/min). Ahora, para poder convertir este volumen de aire a peso, dividimos los m³/min entre el volumen específico del aire a las condiciones de entrada, ya que siempre debemos hacer los cálculos para el punto al cual se tomó la medición de la velocidad del aire. Un vistazo a la carta, muestra que la condición de entrada cae un poco menos de la mitad, entre las líneas constantes de volumen de 0.85 y 0.90 m³/kg de aire seco. Podemos estimar por interpolación, que el valor de volumen específico es de 0.87 m³/kg; así pues, tenemos un peso total de aire circulado de 76.02 kg/min (66.138 ÷ 0.87).

Ahora, del cálculo anterior, tenemos un cambio de entalpía de 7.29 kcal/kg y tenemos 76.02 kg de aire circulando por minuto. Multiplicando estos dos valores, nos dará el cambio de entalpía en el aire por minuto, o sea, 7.29 x 76.02 = 554.2 kcal/min. La capacidad total del equipo, bajo condiciones reales, se obtiene multiplicando las kcal/min por 60, para obtener las kcal/h, 554.2 x 60 = 33,252 kcal/h, que son aproximadamente 11 T.R.

Para efecto de simplificar los cálculos, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$Qt = \frac{A \times V \times \triangle h_t \times 60}{v} \text{ (kcal/h)}$$

donde:

Qt = calor total (kcal/h).
A = área frontal del serpentín (m²).
V = velocidad del aire entrando al serpentín (m/min).
$\triangle h_t$ = cambio de entalpía, de la carta psicrométrica (kcal/kg).
v = volumen específico del aire entrando al serpentín (m³/kg).

Ejemplo:

$$Qt = \frac{0.4186 \text{ m}^2 \times 158 \text{ m/min} \times 7.29 \text{ kcal/kg} \times 60 \text{ min/h}}{0.87 \text{ m}^3\text{/kg}}$$

Qt = 33,252 kcal/h

Cambios de Calor Latente y Sensible

Algunas veces, es deseable calcular los cambios de calor latente y de calor sensible, en las condiciones del aire según se muestra en la figura 13.23. Cuando se traza sobre la carta psicrométrica un cambio de calor sensible, el resultado es una línea horizontal, y el cambio de puro calor latente, es una línea vertical. La condición resultante en el ejemplo anterior, figura 13.23, no es una línea horizontal ni vertical, sino que cae enmedio de estas dos. Si trazamos una línea vertical paralela a las líneas de *bs* del punto 1, y trazamos una línea horizontal paralela a las líneas de punto de rocío del punto 2, las tres líneas formarán un triángulo rectángulo. Las longitudes de las líneas vertical y horizontal, representarán los dos componentes del calor total: calor latente y calor sensible.
Si ahora trazamos una línea paralela a las líneas constantes de *bh*, partiendo de la intersección de las líneas vertical y horizontal, hasta la escala de entalpía, veremos que el calor total se divide en dos componentes. El componente más bajo en la escala, es el cambio de calor sensible y la parte alta, es el cambio de calor latente. Encontramos, pues, que esta línea intersecta la escala de entalpía 45 kJ/kg. Entonces, el cambio de calor sensible se saca restando el contenido de calor en el punto 2, que es 27 kJ/kg de los 45 kJ/kg, lo que nos da 18 kJ/kg ($\triangle h_s$).
El cambio de calor latente se encuentra restando los 45 kJ/kg del calor total en el punto 1, lo que nos da (57.5 - 45) 12.5 kJ/kg ($\triangle h_l$).

Remoción de Humedad

Con mucha frecuencia, los técnicos de servicio requieren información sobre la cantidad de humedad que remueve un equipo de aire acondicionado.

Para determinar esa cantidad de agua removida del aire, se debe calcular el peso total del aire circulado, de la misma manera que lo hicimos en el cálculo de capacidad anterior. Se trazan las líneas constantes de punto de rocío para las condiciones inicial y final, figura 13.23, hacia la derecha a la escala de humedad específica. El cambio de humedad específica es de 5 g/kg de aire seco (11.9 - 6.9). Multiplicando este valor por el peso total de aire circulado por hora, nos dará la cantidad de humedad removida en gramos por hora. En este caso, los 76.02 kg/min los multiplicamos por 60 para tener 4,561.2 kg aire/h y luego por 5 g/kg aire, lo que nos da un resultado de 22,806 g/h que es igual a 22.81 kg/h. Si se desea saber en volumen, un kilogramo de agua es igual a un litro de agua; por lo que, la cantidad de agua que removerá del aire este equipo de aire acondicionado es de 22.81 kg/h = 22.81 l/h.

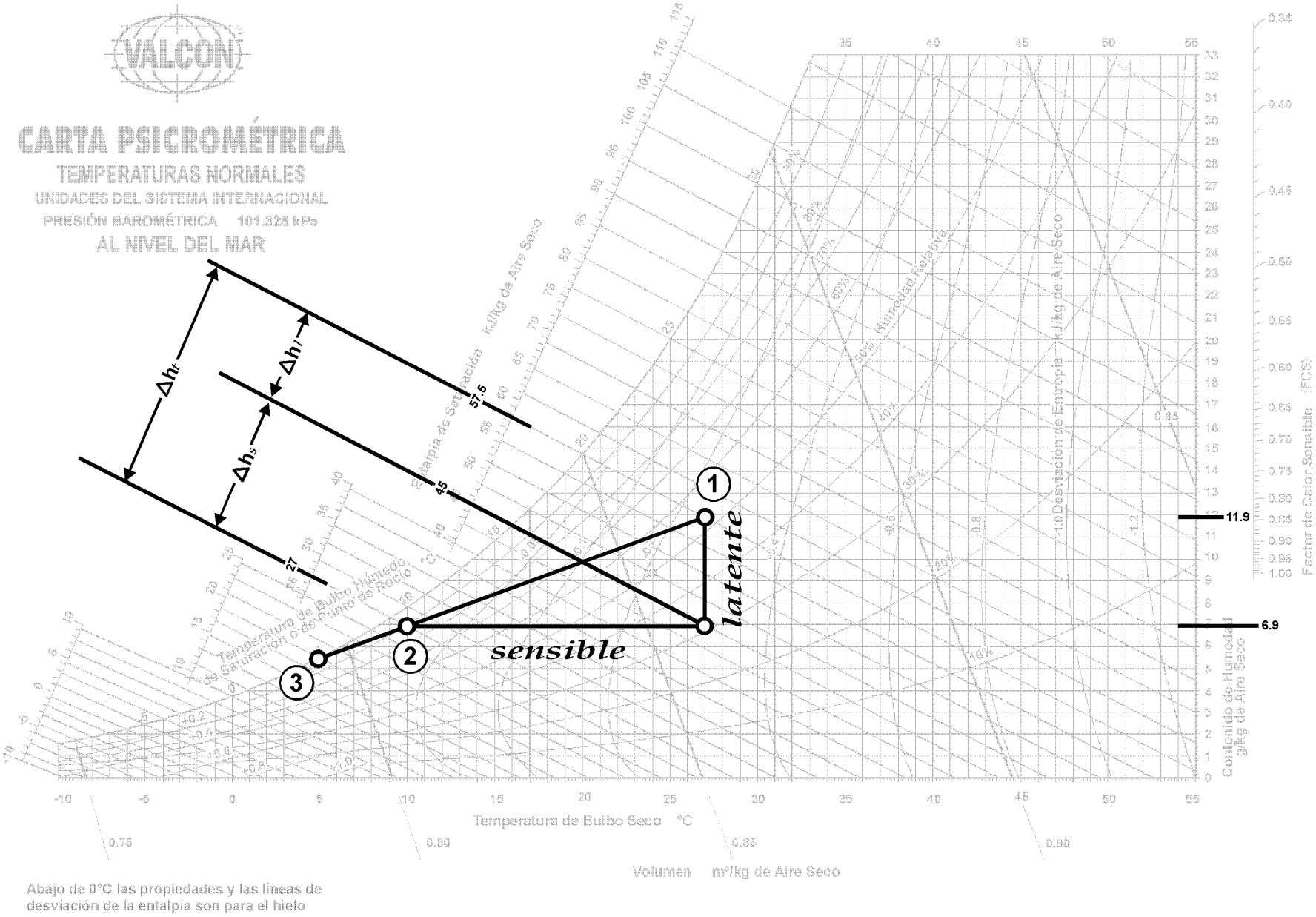


Figura 13.23 - Ejemplo de cambios de calor sensible y calor latente.

Mezclando Aire a Diferentes Condiciones

En el acondicionamiento de aire, con mucha frecuencia se requiere mezclar aire a diferentes temperaturas de *bh* y de *bs*, para lograr una determinada condición final de aire. La mayoría de las aplicaciones de aire acondicionado comercial, requieren de un cierto volumen de aire exterior fresco que sea introducido al espacio ocupado. La mayoría de las leyes locales o estatales, requieren que se reemplace entre 0.21 y 0.42 m³/min de aire por persona, para evitar que se envicie o se contamine el aire interior. Puesto que la introducción del 100% de aire exterior no es práctico, desde el punto de vista de costo operacional, se debe mezclar el aire exterior requerido, con un porcentaje de aire de retorno, antes de calentarlo o enfriarlo.

Esto de mezclar dos cantidades de aire a diferentes temperaturas y contenidos de humedad, también se usa extensivamente en el acondicionamiento del aire, donde se requieren condiciones de abastecimiento de aire constantes, sin importar las condiciones del aire a la entrada. En este método, una porción del aire entrante es desviada del serpentín de enfriamiento (o del de calefacción), y luego mezclada con el aire tratado para proporcionar las condiciones deseadas, como se muestra en la figura 13.24-A. Otro método, es desviar una parte del aire de retorno y la otra mezclarla con el aire exterior, antes de entrar al aparato acondicionador, como se muestra en la figura 13.24-B.

Desde luego, cuando no sea necesario, se pueden mezclar cantidades de aire exterior con aire de retorno, sin hacer ningún desvío. La mezcla completa pasa a través del aparato acondicionador.

En cualquiera de estos procesos de mezclado, la condición resultante o final, dependerá del peso o de la temperatura de cada cantidad individual de aire. De nuevo, para una precisión absoluta, deberán emplearse los pesos de las mezclas, aunque para pequeñas diferencias en temperaturas y sacar los cálculos respectivos en el campo, se pueden emplear las relaciones de los m³/min individuales con los m³/min totales.

Por ejemplo, si se mezclan 0.71 m³/min de aire exterior, a 35ºC de *bs* y 24ºC de *bh*, con 2.12 m³/min de aire de retorno a 27ºC de *bs* y 19ºC de *bh*, el flujo total del aire será de 2.83 m³/min. Esto dará una relación de mezcla de 25% de aire exterior y 75% de aire recirculado (en base a volumen).

En una carta psicrométrica trazamos las condiciones del aire exterior (punto 1), y las del aire recirculado o de retorno (punto 2), como se muestra en la figura 13.25.

Calculando los pesos de estas cantidades de aire, tenemos que el peso del aire exterior se calcula con la densidad. Como ya sabemos, la densidad es lo inverso del volumen específico, por lo que determinamos a partir de la carta psicrométrica, que el volumen específico del aire exterior, es de aproximadamente 0.893 m³/kg de aire.

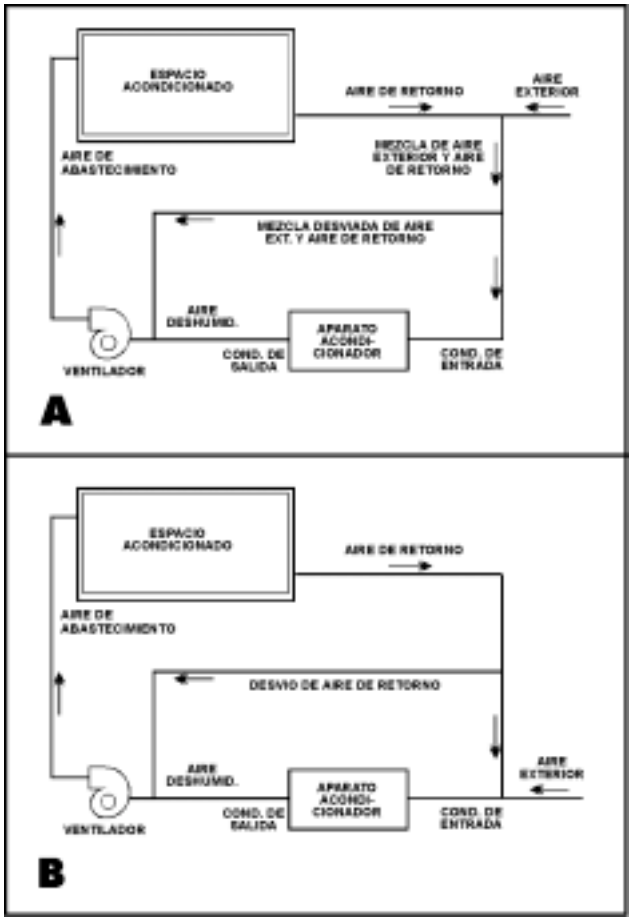


Figura 13.24 - Dibujos esquemáticos de los sistemas de desvío de aire. "A", desvío de una mezcla de aire exterior y aire de retorno; "B", desvío de aire de retorno solamente.

Este dato corresponde a las condiciones del aire en el punto 1 de la figura 13.25. El peso del aire exterior es: 1/ 0.893 x 0.71 = 0.795 kg/min. El peso del aire recirculado se calcula procediendo de la misma manera y tenemos 1/ 0.814 x 2.12 = 2.604 kg/min, y el peso total del aire es 0.795 + 2.604 = 3.399 kg/min. Los porcentajes (ahora en peso) son 24.45% de aire exterior y 75.54% de aire de retorno.

La diferencia en porcentajes es aproximadamente de 0.5%, lo que a una temperatura de -9ºC da un error de solamente 0.04ºC. Debido a que con un termómetro utilizado en el campo no se puede leer con esta precisión, se pueden usar los m³/min como una base para los cálculos de mezclas.

La línea recta que une los puntos 1 y 2, en la figura 13.25, representa el trayecto de la temperatura de la mezcla de estas dos condiciones del aire, en cualquier proporción. Los puntos extremos 1 y 2, representan el 100% de la mezcla a esas temperaturas; es decir, si la mezcla constituye 99% de aire a 35ºC de *bs* y 24ºC de *bh*, el restante 1% sería aire a 27ºC de *bs* y 19ºC de *bh*, y este punto estaría muy cercano al punto 1. Si la mezcla contiene 50% de cada una de las dos condiciones, la condición de la mezcla resultante caerá sobre la línea, en un punto a la mitad de la distancia entre 1 y 2.

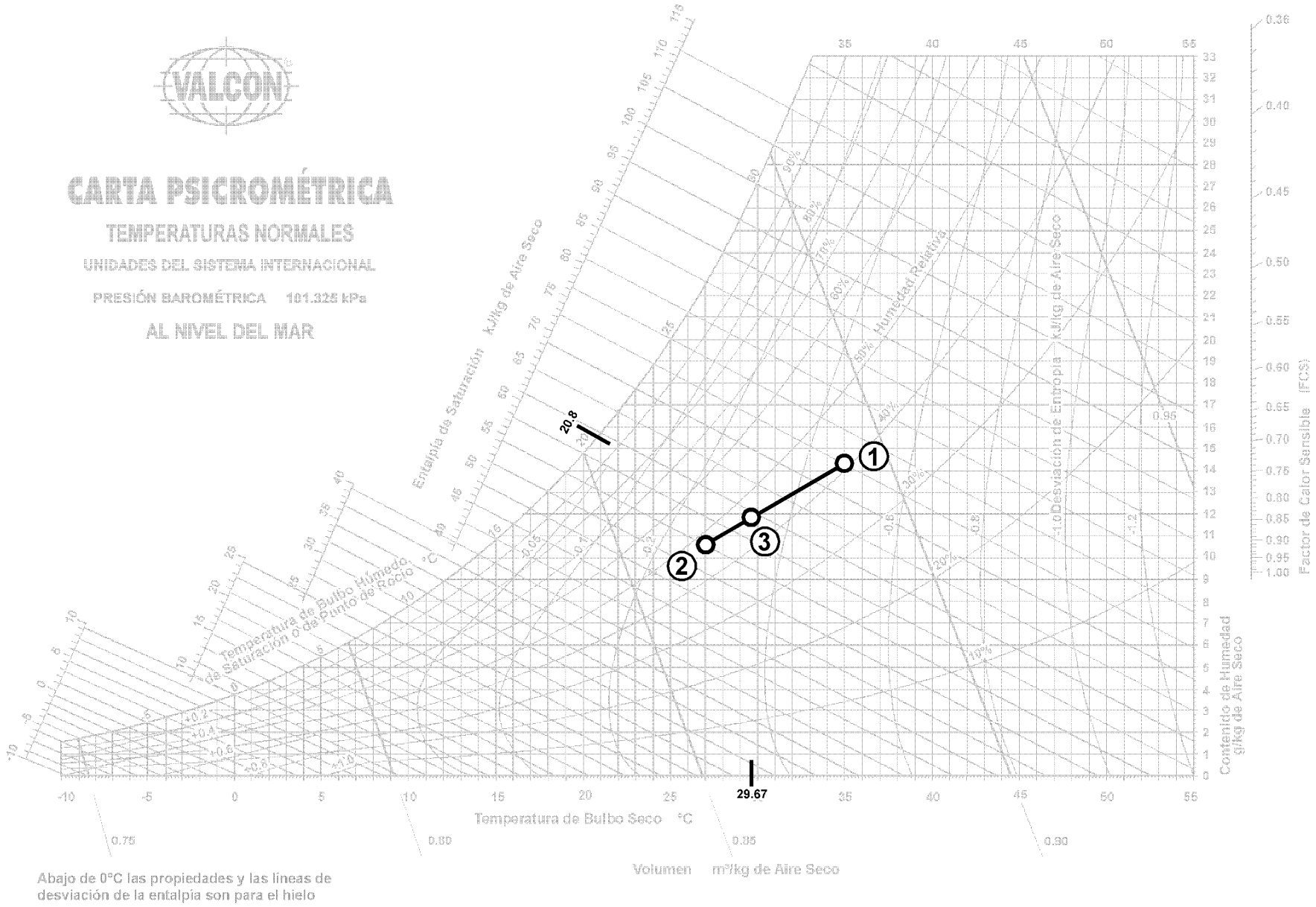


Figura 13.25 - Ejemplo de mezclado de aire a diferentes condiciones.

Por ejemplo, si se mezclan 3.68 m³/min de aire exterior a las condiciones 1, y 7.36 m³/min de aire recirculado a las condiciones 2, antes de enfriarlos, la condición resultante antes de entrar al equipo de enfriamiento, caerá sobre la línea 1-2 y a una tercera parte (3.68 ÷ 11.04 x 100 = 33.33%) de la distancia total entre los dos puntos.

Puesto que la distancia entre los dos puntos es también la diferencia de las temperaturas de *bs*, la temperatura de *bs* final, será una tercera parte (33.33%) de 35-27 más la temperatura menor; esto es, tbs= (35-27)(0.3333)+27= 29.67°C, que es la temperatura de *bs* de la mezcla. Puesto que es más fácil sumar que restar, siempre usamos el porcentaje de la cantidad de aire a mayor temperatura que se va a mezclar, multiplicando por la diferencia total de temperatura, y sumando esto al valor más bajo de temperatura.

Para encontrar la temperatura de *bh* de la mezcla resultante, simplemente localizamos el punto donde la línea de la mezcla cruza la línea constante de temperatura de *bs* de 29.67°C. Este punto (3) es la condición de la mezcla, y de aquí podemos seguir la línea constante de temperatura de *bh* hacia la izquierda, hasta donde cruza la escala para encontrar la temperatura de 20.8°C. Las demás propiedades, pueden encontrarse siguiendo las líneas correspondientes, a partir del punto 3.

***Ejemplo*:** En un proceso típico de acondicionamiento de aire, se requiere que dentro del espacio acondicionado, el aire llegue a las siguientes condiciones: 11°C de *bs* y 90% de *hr*. El ventilador del equipo tiene una capacidad para manejar 60 m³/min. El aire de retorno, sale del cuarto con una temperatura de *bs* de 27°C y una temperatura de *bh* de 18°C. Las condiciones de diseño de verano del aire exterior, son de 34°C de *bs* y 24°C de *bh*. Para obtener las condiciones deseadas en el cuarto, la mezcla de aire debe llegar al equipo con una temperatura de *bs* de 29°C y 20°C de *bh*. ¿Qué cantidad de aire de retorno se debe recircular? y ¿qué cantidad de aire exterior se debe mezclar con el aire recirculado?

Primeramente, trazamos en la carta psicrométrica los puntos correspondientes a las cuatro condiciones del aire. Si unimos estos puntos, como se muestra en la figura 13.26, las líneas resultantes representan un proceso típico de aire acondicionado. El aire exterior (1) se mezcla con el aire que retorna del cuarto, (2) y entran luego éstos al equipo acondicionador (3). La mezcla de aire fluye a través del equipo, con lo que disminuye su contenido de humedad y su temperatura (línea 3-4). Cuando sale del equipo acondicionador (4), el aire queda a las condiciones requeridas para entrar al cuarto. Dentro del cuarto, el aire aumenta su contenido de humedad y su temperatura (línea 4-2), y sale del cuarto nuevamente a las condiciones del punto (2). Se inicia otro proceso repitiéndose el ciclo.

Podemos observar en la figura 13.26, que el punto (4) no llega a la temperatura de saturación, por lo que el enfriamiento es solamente sensible.

Simultáneamente a la resolución de este ejemplo, iremos definiendo y describiendo algunos términos, procesos y factores, que son usuales en cálculos de aire acondicionado.

La cantidad de aire de retorno que se debe recircular, se calcula de la siguiente manera: Como vimos en el ejemplo anterior, la distancia entre las condiciones de aire exterior y las condiciones de aire de retorno (línea 2-1), corresponde también a la diferencia de temperaturas de *bs*; por lo que, si la mezcla debe entrar al aparato con una temperatura de *bs* de 29°C, el porcentaje de aire de retorno en esta mezcla es: (29-27)÷(34-27)= 0.2857 o sea, 28.57% de volumen total. Si el ventilador tiene capacidad para manejar 60 m³/min, entonces las cantidades de aire que se deben mezclar son:

Aire de retorno= 60 m³/min x 0.2857=	17.14 m³/min
Aire exterior= 60 m³/min x (1-0.2857)=	42.86 m³/min
	60.00 m³/min

Factor de Calor Sensible (FCS).- Es la relación de calor sensible con respecto al calor total, siendo este último la suma de los calores sensible y latente. Esta relación se expresa así:

$$FCS = \frac{h_s}{h_s + h_l} = \frac{h_s}{h_t}$$

En una carta psicrométrica, los valores del factor de calor sensible (FCS), corresponden a la escala vertical del lado derecho de la carta, paralela a la escala de humedad absoluta.

Factor de Calor Sensible del Cuarto (FCSC).- Es la relación del calor sensible del cuarto, con respecto a la suma de calor sensible y latente en dicha área, y se expresa con la siguiente fórmula:

$$FCSC = \frac{h_{sc}}{h_{sc} + h_{lc}} + \frac{h_{sc}}{h_{tc}} = \frac{\text{(Calor Sensible del Cuarto)}}{\text{(Calor Total del Cuarto)}}$$

La línea que une los puntos 4 y 2, en nuestro ejemplo de la figura 13.26, representa el proceso psicrométrico del aire abastecido al cuarto, y se le llama línea de "Factor de Calor Sensible del Cuarto". El aire que entra al cuarto acondicionado, debe ser capaz de compensar las cargas dentro del mismo, tanto del calor latente como de calor sensible.

Esta línea se puede dividir en sus componentes de calor sensible y calor latente, igual que como lo hicimos en el ejemplo de la figura 13.23. Si trazamos las líneas correspondientes, obtenemos los siguientes valores:

$\triangle h_t$ = 51-29.4=21.6 kJ/kg (= 12.19 - 7.03= 5.16 kcal/kg).
$\triangle h_s$ = 46-29.4=16.6 kJ/kg (= 11.00 - 7.03= 3.97 kcal/kg).
$\triangle h_l$ = 51 - 46= 5.0 kJ/kg (= 12.19 - 11.00= 1.19 kcal/kg).

$$FCSC = \frac{3.97}{5.16} = 0.769$$

Lo anterior significa que el calor total que se debe abatir en el cuarto, son 5.16 kilocalorías por cada kilogramo de aire, de las cuales 3.97 (77%) son de calor sensible y 1.19 (23%) son de calor latente. De esta manera, si se

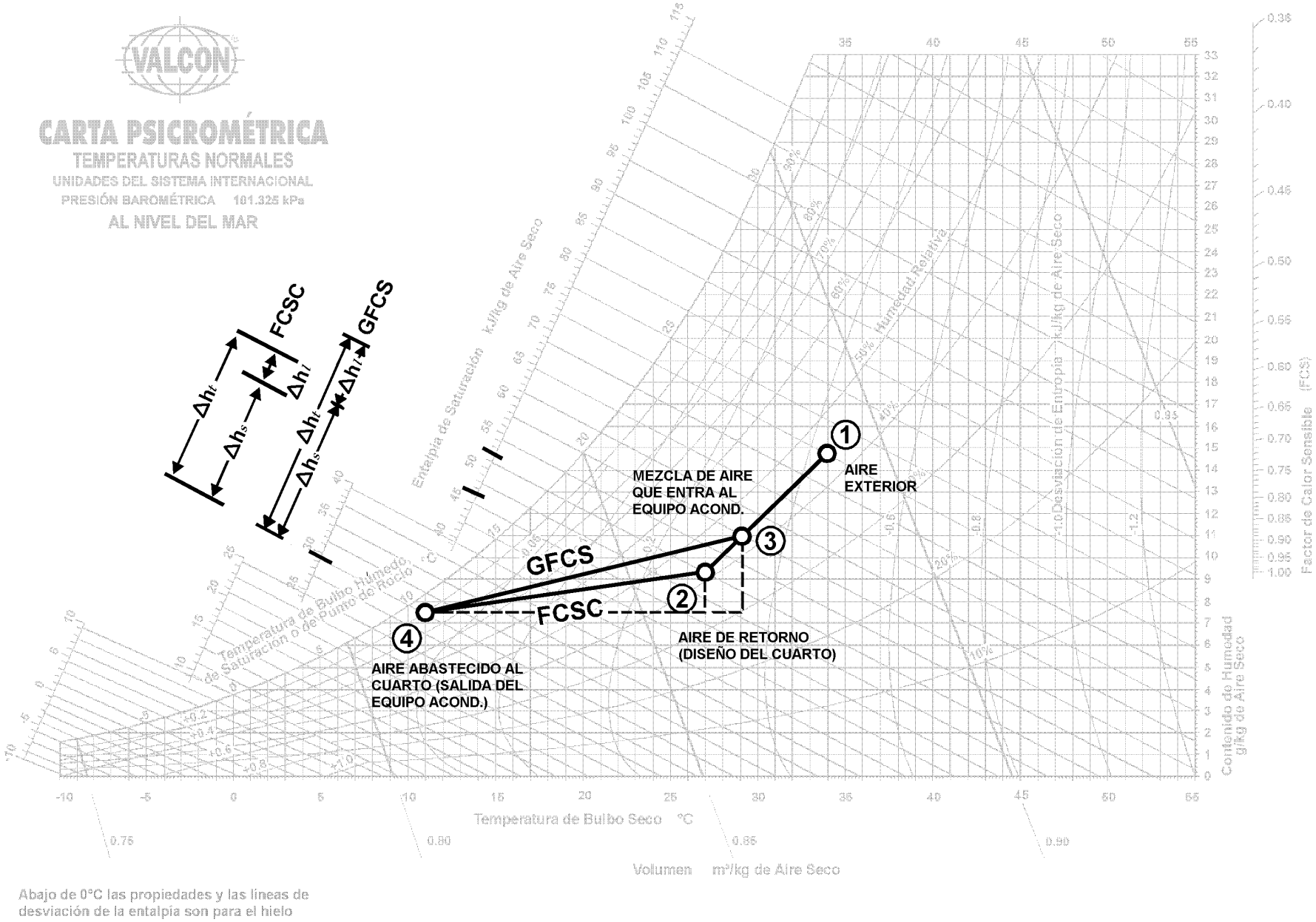


Figura 13.26 - Proceso de aire acondicionado típico, mostrando las líneas de FCSC y GFCS.

abastece aire en las condiciones y cantidad adecuadas, los requerimientos del cuarto estarán satisfechos, siempre y cuando las temperaturas de *bs* y *bh* del aire abastecido, caigan sobre esta línea.

Existe otra forma de trazar la línea 2-4 (FCSC) sobre la carta psicrométrica, aún sin conocer las condiciones del aire de abastecimiento (punto 4). Esta consiste en utilizar el círculo de alineación y el valor del factor de calor sensible del cuarto (FCSC) calculado. El círculo de alineación, es un punto de referencia que se incluye en todas las cartas psicrométricas, y corresponde a la intersección de 24°C de *bs* y una *hr* de 50% (en algunos textos se usa la temperatura de *bs* de 27°C). El procedimiento es como sigue:

a) Se traza una línea base desde el círculo de alineación, hasta el valor del FCSC calculado (0.769), en la escala vertical que se encuentra en la parte superior derecha de la carta.

b) La línea del factor de calor sensible del cuarto , se traza dibujando una línea paralela a la línea base dibujada en el inciso (a), partiendo de las condiciones del aire de retorno (punto 2), hasta cruzar la línea de saturación.

Gran Factor de Calor Sensible (GFCS).- Es la relación entre el calor sensible total, con respecto a la carga total de calor que debe manejar el equipo acondicionador. Esta incluye los calores sensible y latente, tanto del aire de retorno como del aire exterior. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$GFCS = \frac{h_{st}}{h_{st} + h_{lt}} = \frac{h_{st}}{GCT} = \frac{\text{(Calor Sensible Total)}}{\text{(Gran Calor Total)}}$$

A la línea que resulta al unir los puntos (3) y (4), se le llama línea de “Gran Factor de Calor Sensible”, y representa el proceso psicrométrico del aire al fluir a través del equipo acondicionador. En nuestro ejemplo, cuando el aire fluye a través del equipo acondicionador, disminuyen su contenido de humedad y su temperatura.

Nuevamente, esta línea se puede dividir en sus componentes de calor latente y sensible. Trazando las líneas correspondientes obtenemos:

$\triangle h_t$ = 57.5 - 29.4=28.1 kJ/kg (13.74 - 7.03= 6.71 kcal/kg)
$\triangle h_s$ = 48.0 - 29.4=18.6 kJ/kg (11.47 - 7.03= 4.44 kcal/kg)
$\triangle h_l$ = 57.5 - 48.0=9.5 kJ/kg (13.74 - 11.47= 2.27 kcal/kg)

$$GFCS = \frac{4.44}{6.71} = 0.662$$

La línea GFCS, al igual que la línea FCSC, pueden trazarse en la carta psicrométrica, sin conocer la condición del aire de abastecimiento, utilizando el GFCS calculado, la condición de la mezcla de aire que entra al aparato, la escala del FCS y el círculo de alineación de la carta psicrométrica.

Cantidad de Aire Requerido. En un párrafo anterior mencionamos que el punto (4), corresponde a las condiciones del aire que entra al cuarto y que son las mismas del aire que sale del equipo acondicionador. Esto no es totalmente cierto, ya que en la práctica real, el aire que sale del equipo acondicionador antes de entrar al cuarto, tiene una ganancia de calor. Este aumento de calor se debe a que es manejado por un ventilador y forzado a circular por un ducto. Esta ganancia debe de considerarse al estimar la carga de enfriamiento, lo cual no es el objetivo de este texto; pero, para facilitar la explicación, aquí las consideraremos como la misma temperatura. En un sistema normal bien diseñado y bien aislado, la diferencia de temperaturas entre el aire que sale del aparato y el aire que entra al cuarto, es de tan sólo unos pocos grados.

La cantidad de aire requerida para satisfacer la carga del cuarto, puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$m^3/min = \frac{CSC}{16.75\,(t_c - t_{aa})}$$

donde:

CSC = Calor Sensible del Cuarto kcal/h).

16.75 = Valor constante

$$\left(0.244\ \text{kcal/kg}\ ^{o}\text{C} \times \frac{60\ \text{min/h}}{0.874\ \text{m}^3/\text{kg}}\right) = 17.37\ \frac{\text{kcal min}}{^{o}\text{C h m}^3}$$

t_c = Temp. del cuarto, *bs* (°C)

t_{aa} = Temp. del aire de abastecimiento, *bs* (°C)

m³/min = Flujo de aire de abastecimiento.

La cantidad de aire requerida a través del aparato acondicionador, para satisfacer la carga total del aire acondicionado (incluyendo las cargas suplementarias), se calcula con la siguiente ecuación:

$$m^3/min = \frac{CST}{16.75\,(t_m - t_{as})}$$

donde:

m³/min = Flujo de aire deshumidificado.

CST = Calor sensible total (kcal/h).
16.75 = Valor constante.
t_m = Temp. de la mezcla que entra al aparato, *bs* (°C)
t_{as} = Temp. del aire que sale del aparato, *bs* (°C)

La temperatura tm se determina a base de prueba y error, excepto cuando el aire que entra al aparato es solamente aire del exterior.

El procedimiento es laborioso y tedioso, aun cuando no se tomen en cuenta las cargas suplementarias, y se consideren iguales las temperaturas del aire que entra al equipo y del aire que sale del mismo ($t_m = t_{aa}$), el cálculo de la cantidad de aire requerido sigue siendo un procedimiento de prueba y error, igualmente tedioso y laborioso.

Bajo un conjunto específico de condiciones, la relación FCSC (4-2) permanece constante (a plena carga). Sin embargo, la relación GFCS (3-4) puede aumentar o disminuir, al variar la cantidad de aire exterior y las condiciones de la mezcla, y cuando esto sucede, la condición del aire suministrado al cuarto, varía a lo largo de la línea GFCS (4-2).

La cantidad de aire requerido para compensar las cargas de calor sensible y de calor latente del cuarto, es determinada por la diferencia de temperaturas entre la del cuarto (t_c) y la del aire suministrado (t_{aa}). Si esta diferencia de temperaturas aumenta, disminuye la cantidad de aire que se requiere abastecer al cuarto, lo cual sucede sólo si se abastece aire más frío, ya que las condiciones del cuarto son fijas. Tal diferencia de temperaturas sólo puede aumentar hasta un límite, donde la línea FCSC cruza la línea de saturación, suponiendo que el equipo acondicionador sea capaz de llevar todo el aire a un 100% de saturación. Como esto no es posible, la condición del aire cae normalmente sobre la línea FCSC, cerca de la línea de saturación.

El proceso para determinar la cantidad de aire requerido puede simplificarse, relacionando todas las cargas del acondicionamiento con el desempeño físico del equipo, e incluyendo luego este desempeño del equipo en el cálculo real de la carga. A esta relación, se le reconoce generalmente como una correlación psicrométrica de las cargas con el desempeño del equipo, y se realiza calculando la "*temperatura de superficie efectiva*", el "*factor de desvío*" y el "*factor de calor sensible efectivo*". Esto simplifica el cálculo de la cantidad del aire a suministrar.

Temperatura de Superficie Efectiva (t_{se}). En la práctica real, cuando el equipo acondicionador está en operación, la temperatura de la superficie no es uniforme cuando el aire está en contacto con el mismo. La temperatura de superficie efectiva, puede considerarse como una temperatura de superficie uniforme, la cual le produce al aire que sale, las mismas condiciones que cuando la temperatura de superficie no es uniforme.

Cuando se acondiciona aire a través de un equipo, se aplica el principio básico de transferencia de calor, entre el medio de enfriamiento del equipo y el aire que pasa a través del mismo; por lo que debe de existir un punto de referencia común. Este punto es la temperatura de superficie efectiva del equipo.

La temperatura de superficie efectiva se utiliza para calcular la cantidad de aire requerido, y por lo tanto, para seleccionar el equipo más económico.

Para aplicaciones de enfriamiento y deshumidificación, la temperatura de superficie efectiva está en el punto donde la línea GFCS cruza la curva de saturación, por lo cual, se le considera como el punto de rocío del aparato, de allí que este término, "*punto de rocío del aparato*" (*pra*) se usa comúnmente para procesos de enfriamiento y deshumidificación. La psicrometría del aire puede aplicarse igualmente, a otros tipos de aplicaciones de transferencia de calor, tales como calentamiento sensible, enfriamiento evaporativo, enfriamiento sensible, etc., pero para estas aplicaciones, la temperatura de superficie efectiva no caerá necesariamente sobre la curva de saturación.

Factor de Desvío (FD). Este factor depende de las características del equipo acondicionador, y representa la porción de aire que se considera que pasa totalmente inalterada, a través del equipo acondicionador. Las características que afectan este factor son físicas y operacionales, y son las siguientes:

1. El FD disminuye cuando aumenta la superficie de transferencia de calor disponible, como por ejemplo, mas área de serpentín, menos espacio entre los tubos del serpentín, más hileras en el serpentín.
2. El FD disminuye al disminuir la velocidad del aire a través del equipo, por ejemplo, cuando se permite que el aire esté más tiempo en contacto con la superficie de transferencia de calor.

De los dos puntos anteriores, el primero tiene mayor efecto sobre el FD; es decir, la variación de la superficie de transferencia de calor, afecta más al FD, que aumentar o disminuir la velocidad del aire que pasa por el equipo.

La variación del FD afecta la posición relativa de GFCS, con respecto a FCSC, y cuando la posición de GFCS cambia, también cambian el punto de rocío del aparato (*pra*), la cantidad de aire requerido, el FD y las condiciones del aire a la entrada y a la salida del equipo. Para mantener las condiciones de diseño del cuarto adecuadas, el aire deberá abastecerse en algún punto a lo largo de la línea FCSC. Los efectos de variar el FD en el equipo acondicionador, son como sigue:

1. Factor de Desvío más pequeño -
   a) Punto de rocío del aparato (*pra*) más alto.
   b) Menos aire - motor y ventilador más chicos.
   c) Más superficie de transferencia de calor - disponibles más hileras del serpentín o más superficie del serpentín.
   d) Tubería más chica si se usa menos agua fría.
2. Factor de Desvío más grande -
   e) *pra* más chico.
   f) Más aire - ventilador y motor más grandes.
   g) Menos superficie de transferencia de calor - menos hileras de serpentín o menos superficie de serpentín disponibles.
   h) Tubería más grande si se usa más agua fría.

Así pues, cuando se haga el cálculo de las cargas para una aplicación en particular, si se utiliza el FD apropiado, el equipo seleccionado ofrecerá los costos más bajos inicial y de operación.

El FD no es función de una verdadera línea recta, pero puede calcularse con las siguientes ecuaciones, en las que intervienen el *pra*, y las condiciones del aire al entrar y salir del equipo, puesto que el FD está relacionado psicrométricamente con estos valores.

$$FD = \frac{t_{as} - t_{pra}}{t_{ae} - t_{pra}} = \frac{h_{as} - h_{pra}}{h_{ae} - h_{pra}} = \frac{H_{as} - H_{pra}}{H_{ae} - H_{pra}} \quad y$$

$$1\text{-}FD = \frac{t_{ae} - t_{as}}{t_{ae} - t_{pra}} = \frac{h_{ae} - h_{as}}{h_{ae} - h_{pra}} = \frac{H_{ae} - H_{as}}{H_{ae} - H_{pra}}$$

donde:

t = temperaturas (bulbo seco).
h = entalpía.
H = contenido de humedad.

as = aire de salida.
ae = aire de entrada.
pra = punto de rocío del aparato.

El valor **1-FD**, es la porción del aire que sale del equipo a la temperatura del punto de rocío del aparato (*pra*), y comúnmente se le conoce como *Factor de Contacto.*

Factor de Calor Sensible Efectivo (FCSE). Este factor, es la relación del calor sensible efectivo del cuarto, con los calores latente y sensible efectivos dentro del mismo. Fue desarrollado para relacionar el FD y el *pra* con los cálculos de la carga, lo cual simplifica los cálculos de la cantidad de aire y de selección del equipo. El calor sensible efectivo del cuarto, es la suma del calor sensible del mismo (CSC), más el calor sensible del aire exterior, la cual se considera que es desviada inalterada a través del equipo acondicionador. A su vez, el calor latente efectivo del cuarto, se compone del calor latente del cuarto (CLT) más la porción del calor latente del aire exterior, la cual se considera que es desviada inalterada a través del equipo acondicionador. Esta relación se expresa con la siguiente fórmula:

$$FCSE = \frac{CSCE}{CSCE + CLCE}$$

Al igual que la carga procedente de infiltraciones a través de puertas y ventanas, el calor desviado del aire exterior es considerado como una infiltración a través del sistema de distribución de aire.

Si trazamos en una carta psicrométrica los puntos de *pra* (A), y las condiciones del cuarto (1), como se muestra en la figura 13.27, y luego unimos esos puntos, la línea resultante (A-1) es el *factor de calor sensible efectivo* (FCSE). La relación de los demás valores como el FCSC, el FD, el *pra* y el GFCS, también se muestran gráficamente en la figura 13.27.

Cantidad de Aire Usando el FCSE, el *pra* y el FD.- Puesto que hay una relación psicrométrica entre el FCSE, el *pra* y el FD, se puede determinar la cantidad de aire requerido de una manera simple, empleando la siguiente fórmula:

$$m^3/min = \frac{CSCE}{16.75\ (t_c - t_{pra})\ (1\text{-}FD)}$$

La cantidad de aire calculada con esta fórmula, es aire deshumidificado, y compensa las cargas latente y sensible del cuarto. También maneja las cargas totales latente y sensible, para las cuales está diseñado el equipo, incluyendo las cargas suplementarias y las del aire exterior.

Función del Serpentín

En el acondicionamiento de aire, el equipo requerido para la transferencia de calor, debe seleccionarse de acuerdo a los requerimientos de cada aplicación particular. Existen tres tipos básicos de estos equipos: serpentines, rociadores y deshumidificadores, los cuales pueden utilizarse en forma independiente o combinados. Estos componentes deben ser capaces de controlar las propiedades psicrométricas del aire que pasa a través de ellos.

El más común de los componentes para transferencia de calor es el serpentín, el cual está formado por una serie de tubos, a través de los cuales circula un refrigerante, agua fría, salmuera, agua caliente o vapor. El aire es inducido o forzado a pasar por entre los tubos, y al estar en contacto con la superficie del serpentín, dependiendo de la temperatura del fluido dentro de los tubos, se calienta, se enfría o se enfría y se deshumidifica. A su vez, el fluido dentro de los tubos se enfría o se calienta.

La cantidad de calor transferido y el factor de desvío (FD) del serpentín, van en función de la superficie del serpentín, así como de la velocidad del aire; es decir, del tiempo que el aire esté en contacto con la superficie del serpentín al pasar a través de él.

En la figura 13.28, se muestra una tabla con los factores de desvío aproximados para serpentines aletados, a diferentes velocidades y diferentes superficies. Estos factores se aplican a serpentines con tubos de 5/8" de D.E. y espaciados aproximadamente 1-¼". En la figura 13.29, se ilustran algunas de las aplicaciones más comunes de los serpentines, con sus FD representativos. Estas tablas se sugieren como una guía para los ingenieros de diseño. Para otros tipos de serpentines, o combinaciones que no se muestran en estas tablas, deberá consultarse al fabricante.

PROFUNDIDA DE LOS SERPENTINES (HILERAS)	SIN ROCIADORES		CON ROCIADORES	
	8 aletas/pulg	14 aletas/pulg	8 aletas/pulg	14 aletas/pulg
	velocidad m/min			
	90 - 200	90 - 200	90 - 185	90 - 185
2	0.42 - 0.55	0.22 - 0.38	---	---
3	0.27 - 0.40	0.10 - 0.23	---	---
4	0.15 - 0.28	0.05 - 0.14	0.12 - 0.22	0.04 - 0.10
5	0.10 - 0.22	0.03 - 0.09	0.08 - 0.16	0.02 - 0.06
6	0.06 - 0.15	0.01 - 0.05	0.05 - 0.11	0.01 - 0.03
8	0.02 - 0.08	0.00 - 0.02	0.02 - 0.06	0.00 - 0.02

Tabla 13.28 - Factores de desvío típicos para serpentines aletados.

Procesos del Serpentín

En el serpentín de un equipo de aire acondicionado, se le pueden efectuar varios procesos al aire que pasa a través del mismo. Se puede enfriar permaneciendo constante el contenido de humedad (enfriamiento sensible), se puede enfriar y deshumidificar al mismo tiempo y se puede calentar (calentamiento sensible). Con el serpentín, se puede controlar la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa del aire, pero no se puede aumentar el contenido de humedad; para esto se

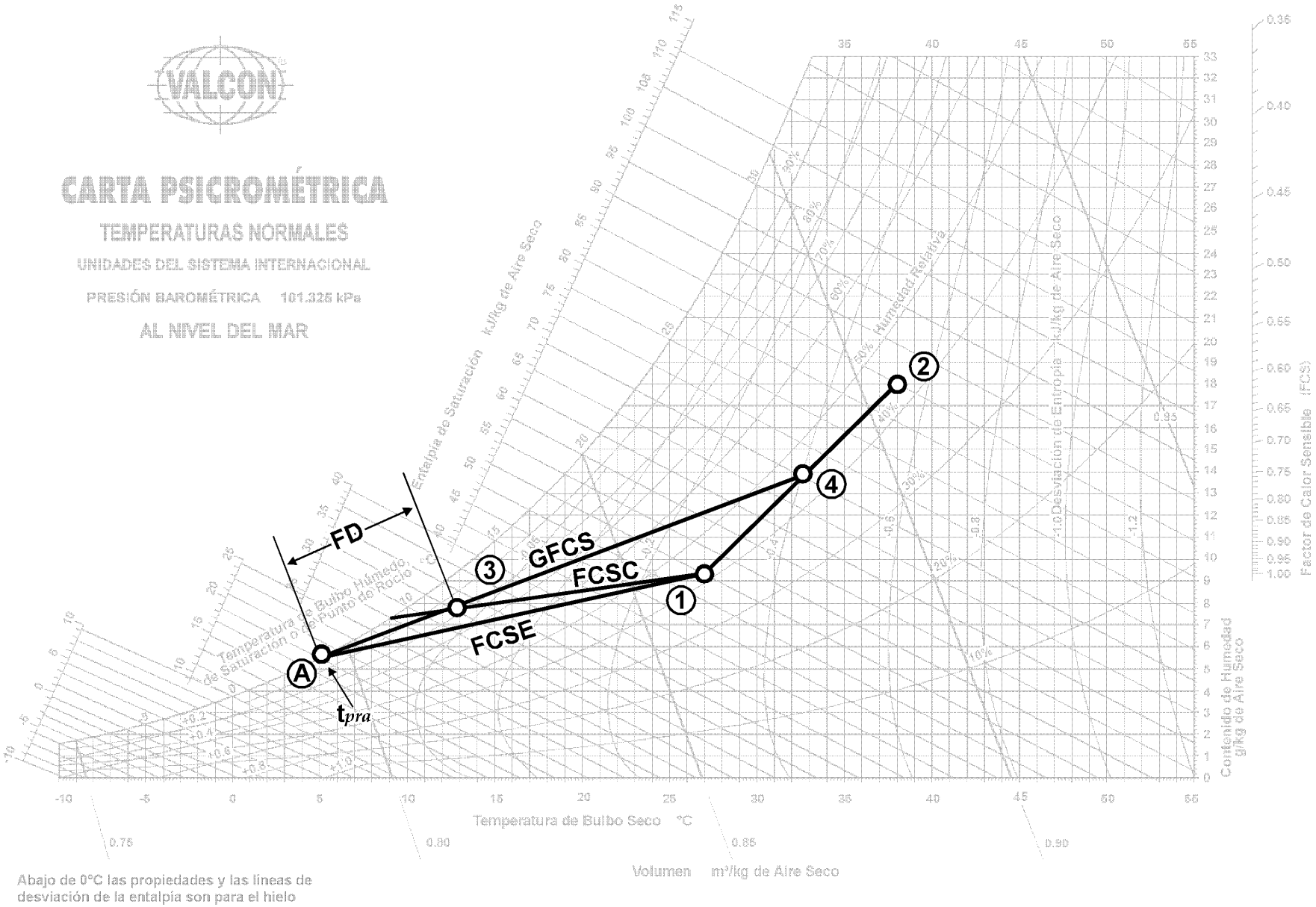


Figura 13.27 - Líneas de FCSC, GFCS y FCSE.

FACTOR DE DESVIO DEL SERPENTIN	TIPO DE APLICACION	EJEMPLO
0.03 a 0.50	Una carga total pequeña o una carga que es algo más grande con un factor de calor sensible bajo (alta carga latente).	Residencial.
0.20 a 0.30	Típica aplicación de confort con una carga total relativamente pequeña o un bajo factor de calor sensible con una carga algo más grande.	Residencial, tiendas pequeñas y fábricas.
0.10 a 0.20	Típica aplicación de confort.	Tiendas departamentales, bancos y fábricas.
0.05 a 0.10	Aplicaciones con altas cargas internas sensibles o que requieren una gran cantidad de aire exterior para ventilación.	Tiendas departamentales, restaurantes y fábricas.
0.00 a 0.10	Todas las aplicaciones de aire exterior.	Sala de operaciones de un hospital y fábricas.

Tabla 13.29 - Factores de desvío (FD) típicos para diferentes aplicaciones.

requiere un rociador de agua (humidificador) sobre la superficie del serpentín.

Para entender mejor estos procesos, a continuación se verán algunos ejemplos de cada uno de ellos:

Enfriamiento y Deshumidificación

Es la eliminación simultánea de calor y humedad del aire. El enfriamiento y la deshumidificación ocurren cuando el FCSE (factor de calor sensible efectivo) y el GFCS (gran factor de calor sensible), son menores de 1.0. El FCSE para estas aplicaciones puede variar desde 0.95, cuando la carga es predominantemente sensible, hasta 0.45 cuando la carga es predominantemente latente.

***Ejemplo*:** Se va a acondicionar aire a un tienda. Las condiciones de diseño de verano son 35ºC de *bs* y 24ºC de *bh*, y las condiciones requeridas dentro de la tienda son 24ºC de *bs* y 50% de *hr*. El calor sensible del cuarto es de 50,400 kcal/h, y el calor latente dentro del mismo es de 12,600 kcal/h. La ventilación proporcionada por el ventilador (manejadora) es de 56.63 m³/min de aire exterior.

Encontrar:

1. La carga del aire exterior (CTAE).
2. Gran calor total (GCT).
3. Factor de calor sensible efectivo (FCSE).
4. Temperatura de punto de rocío del aparato (t_{pra}).
5. Flujo de aire deshumidificado.
6. Condiciones de entrada y salida del aparato.

Solución: En una carta psicrométrica tracemos las condiciones del aire exterior (35ºC de *bs* y 24ºC de *bh*), llamémosle punto 1. Luego tracemos las condiciones dentro del espacio (24ºC de *bs* y 50% *hr*), llamémosle punto 2, como se muestra en la figura 13.30. Unamos estos dos puntos con una línea recta.

1. Carga del aire exterior.- Esta carga es la suma del calor sensible más el calor latente del aire exterior, por lo que hay que calcular cada uno por separado.

El calor sensible es igual al peso del aire, multiplicado por su calor específico, por la diferencia de temperaturas, o sea:

CSAE (calor sensible del aire exterior)= w x ce x t_1 - t_2

Como no conocemos el peso, sólo el flujo de m³/min, hay que convertirlos a kg/min. Para esto, dividimos los 56.63 m³/min por el volumen específico del aire exterior, que en la fig 13.30, a las condiciones del punto 1 es: 0.893 m³/kg

Peso del aire exterior= 56.63 m³/min ÷ 0.893 m³/kg= 63.42 kg/min, lo multiplicamos por 60 para obtener kg/h

63.42 kg/min x 60 min/h= 3,805 kg/h

El calor específico del aire es un dato conocido, y es igual a 0.244 kcal/(ºC)(kg aire)

CSAE = 3,805 kg/hx0.244 kcal/kgºCx(35-24)ºC=10,213 kcal/h

Este cálculo puede simplificarse empleando la siguiente fórmula:

CSAE= 16.75 x (m³/min)ae x (t_1 - t_2)

CSAE= 16.75 x 56.63 x (35-24)= 10,434 kcal/h

La diferencia en los resultados se debe a que en la fórmula, la constante 16.75 considera el volumen específico del aire como 0.874 m³/kg, y en el cálculo que hicimos, el volumen considerado es de 0.893 m³/kg. Sin embargo, para fines prácticos, el valor obtenido con la fórmula es satisfactorio.

Para calcular el calor latente del aire exterior (CLAE), también se utiliza una ecuación y es la siguiente:

CLAE= 41.05 x (m³/min)ae x (H_1 - H_2)

Como podemos observar, en esta fórmula se utiliza la diferencia de contenido de humedad (H_1-H_2), en lugar de la diferencia de temperaturas de *bs*, como en la fórmula de calor sensible. La razón, obviamente, es que en el enfriamiento sensible sólo hay cambio de temperatura, y la humedad permanece constante. En cambio, en la remoción de calor latente, la temperatura de *bs* permanece constante y el contenido de humedad cambia.

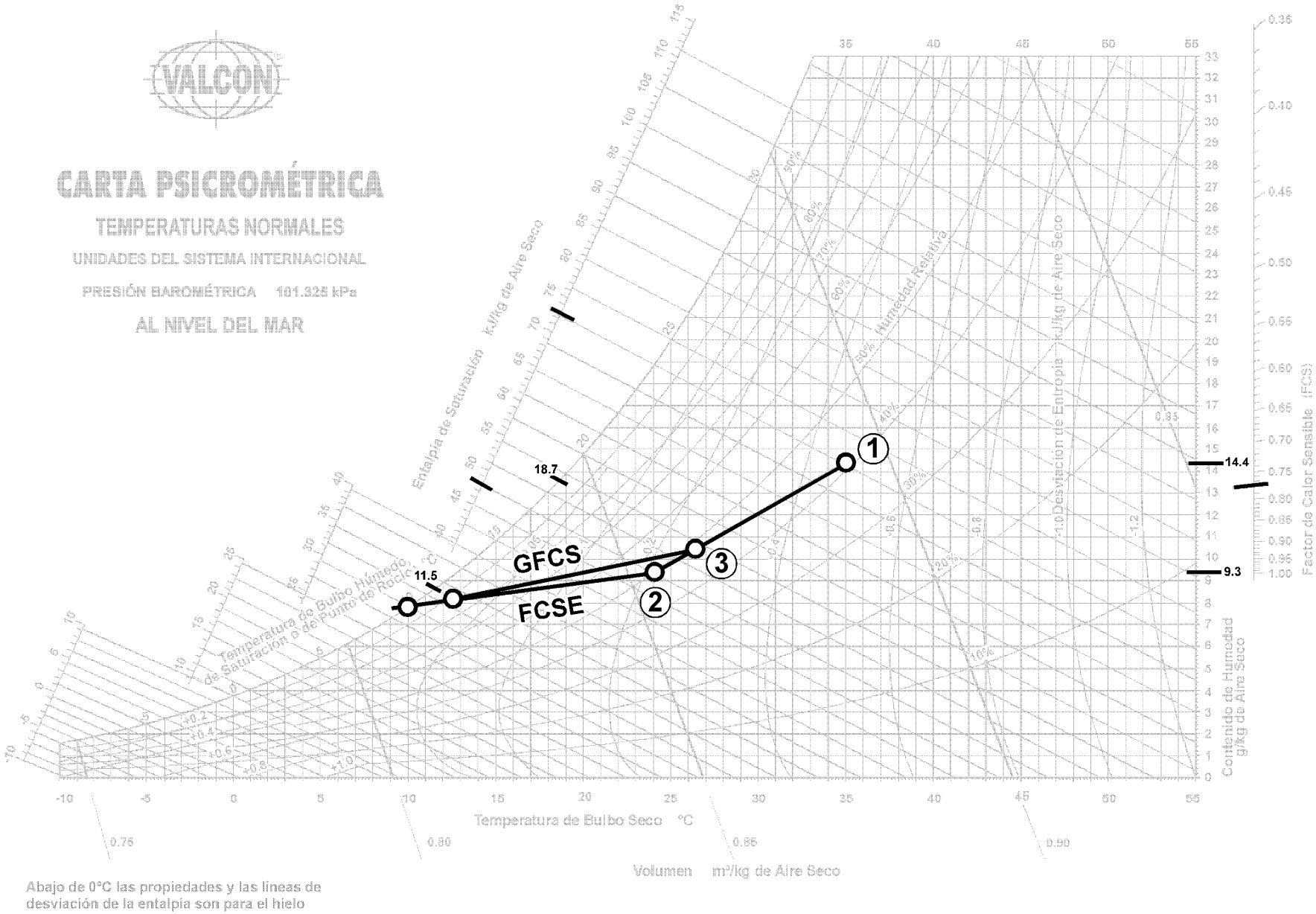


Figura 13.30 - Ejemplo de acondicionamiento de aire con enfriamiento y deshumidificación.

Así pues, de la figura 13.30, los contenidos de humedad en los puntos 1 y 2 son 14.4 y 9.3 g/kg de aire, respectivamente. Aplicando la fórmula tenemos:

CLAE= 41.05 x 56.63 x (14.4-9.3)= 11,856 kcal/h

El calor total del aire exterior es:

CTAE= CSAE + CLAE= 10,434 + 11,856= 22,290 kcal/h

El calor total del aire exterior también se puede calcular con la fórmula siguiente:

CTAE= 68.65 x (m^3/min)ae x (h_1 - h_2)

donde:

h_1 = entalpía del aire exterior= 72.3 kJ/kg (17.28 kcal/kg)

h_2 = entalpía del aire del cuarto= 48.0 kJ/kg (11.47 kcal/kg)

CTAE= 68.65 x 56.63 x 5.81= 22,587 kcal/h

2. El gran calor total (GCT) es igual a la suma del calor sensible total más el calor latente total (CST + CLT).

CST= 50,400 + 10,434= 60,834 kcal/h
CLT= 12,600 + 11,856= 24,456 kcal/h
GCT= 60,834 + 24,456= 85,290 kcal/h

3. El factor de calor sensible efectivo (FCSE), se encuentra empleando la fórmula:

$$FCSE = \frac{CSCE}{CSCE + CLCE} = \frac{CSCE}{CTCE}$$

A su vez, el CSCE y el CLCE se calculan con las fórmulas:

CSCE= CSC + (FD)(CSAE)
CLCE= CLC + (FD)(CLAE)

El factor de desvío típico, para aplicaciones de confort, está entre 0.10 y 0.20; por lo que, asumiendo un FD de 0.15 tenemos:

$$FCSE= \frac{50{,}400 + (0.15x10{,}434)}{50{,}400+(0.15x10{,}434)+12{,}600+(0.15x11{,}856)} = 0.783$$

4. La temperatura de punto de rocío, se determina de las condiciones dentro del espacio y el FCSE. En la escala que está a la extrema derecha de la carta psicrométrica, localizamos el FCSE de 0.783, y unimos este punto con el punto 2. Continuamos esta línea hasta donde intersecta con la curva de saturación, y esa es la temperatura de punto de rocío del aparato: t_{pra}= 10°C

5. El flujo de aire deshumidificado, se calcula con la ecuación vista anteriormente:

$$m^3/min = \frac{CSCE}{16.75\ (t_c - t_{pra})(1-FD)}$$

$$m^3/min = \frac{50{,}400 + (0.15x10{,}434)}{16.75\ (24-10)(1-0.15)} = 260.70\ m^3/min$$

6. Supongamos para este ejemplo, que el aparato seleccionado para 260.7 m^3/min, 10°C de *pra* y GCT=85,290 kcal/h, tiene un factor de desvío igual o muy cercano al FD supuesto de 0.15. También, supongamos que no es necesario desviar físicamente el aire alrededor del aparato.

La temperatura de *bs* de entrada (t_{ae}), se calcula con la fórmula:

$$t_{ae} = \frac{(m^3/min\ x\ t_1)\ ext. + (m^3/min\ x\ t_c)\ retorno}{(m^3/min)\ abast.}$$

$$t_{ae} = \frac{(56.63\ x\ 35)+(204.07\ x\ 24)}{260.7} = 26.39°C\ de\ bs$$

Esta temperatura se traza en la carta psicrométrica, subiendo verticalmente hasta que intersecta la línea 1-2, como se muestra en la figura 13.30, a este punto le llamamos 3. De aquí trazamos una línea paralela a las líneas de temperatura de bulbo húmedo, y leemos esta temperatura que corresponde a la temperatura de *bh*, que entra al aparato. Esta temperatura es de 18.7°C.

La temperatura de bulbo seco del aire de salida del aparato (t_{as}), se calcula con la ecuación:

t_{as}= t_{pra} + FD(t_{ae}-t_{pra})= 10 + 0.15(26.39-10)= 12.46°C

La temperatura de *bh* del aire que sale del aparato, se determina trazando una línea recta entre la temperatura de punto de rocío del aparato, y la condición de entrada al aparato (punto 3), ésta es la línea GFCS. Donde la t_{as} intersecta esa línea, se lee la temperatura de *bh* a la salida del aparato: 11.5°C

Enfriamiento Sensible

Es aquél en el que se remueve calor del aire a un contenido de humedad constante. El enfriamiento sensible ocurre, cuando existe cualquiera de las siguientes condiciones:

1. El GFCS como se calculó o se trazó en la carta psicrométrica es 1.0.
2. El FCSE calculado al estimar la carga de aire acondicionado es 1.0.

En una aplicación de calor sensible, el GFCS es igual a 1.0. El FCSE y el FCSC pueden ser igual a 1.0. Sin embargo, esto no necesariamente indica un proceso de enfriamiento sensible, porque la carga latente introducida por el aire exterior, puede dar un GFCS menor de 1.0.

El punto de rocío del aparato (*pra*), es referido como la temperatura de superficie efectiva (t_{se}) en aplicaciones de enfriamiento sensible. La t_{se} debe ser igual, o mayor, que la temperatura de punto de rocío del aire que entra. En la mayoría de los casos, la t_{se} no cae en la línea de saturación, por lo tanto, no será el punto de rocío del aparato.

El uso del término m^3/min de aire deshumidificado, en una aplicación de enfriamiento sensible, no deberá interpretarse para indicar que está ocurriendo una deshumidificación. Se usa en la estimación de cargas de aire acondicionado y en el ejemplo siguiente, para determinar la cantidad de aire que se requiere a través del aparato, para compensar las cargas de acondicionamiento.

Ejemplo. Se va a acondicionar aire frío a un espacio donde se requiere a 24°C de *bs* y una *hr* máxima de 50%. Las condiciones de diseño en verano son de 41°C de *bs* y 21°C de *bh*. Se obtuvieron los siguientes datos:

CSC (calor sensible del cuarto)= 50,400 kcal/h.

CLC (calor latente del cuarto)= 12,600 kcal/h.

ventilación= 368.12 m³/min de aire exterior.

Encontrar:

1. Carga de aire exterior (CTAE).
2. Gran calor total (GCT).
3. Gran factor de calor sensible (GFCS).
4. Factor de calor sensible efectivo (FCSE).
5. Punto de rocío del aparato (t_{pra}), o la temperatura de superficie efectiva (t_{se}).
6. Cantidad de aire deshumidificado (m³/min) ad
7. Condiciones de entrada y salida del aparato (t_{ae}, t_{aeh}, t_{as} y t_{ash}).

Solución:

1. CSAE= 16.75 x (m³/min)ae x (t_a-t_c)= 16.75 x 368.12 x (41-24)= 104,822 kcal/h

CLAE= 41.05 x (m³/min)ae x (H_a-H_c)

De la figura 13.31, después de haber trazado los puntos 2 y 1, correspondientes a las condiciones del cuarto y del aire exterior, respectivamente, determinamos el contenido de humedad o humedad absoluta para cada uno de ellos y tenemos:

Contenido de humedad del aire del cuarto (H_c)= 9.3 g/kg

Contenido de humedad del aire exterior (H_a)= 7.5 g/kg

CLAE= 41.05 x 368.12 x (7.5-9.3)= -27,200 kcal/h

La carga latente es negativa y de un valor absoluto mucho mayor que el CLC; por lo tanto, las condiciones de diseño interiores deberán ajustarse, a menos que haya un medio para humidificar el aire. Para hacer este ajuste, despejaremos Hc de la fórmula y la calculamos.

$$H_c = \frac{12{,}600}{41.05 \times 368.12} + 7.5 = 8.334 \text{ g/kg}$$

Las condiciones ajustadas del cuarto son ahora 24°C de *bs* y 8.34 g/kg. Tracemos este punto en la fig. 13.31, y llamémosle punto 3.

CLAE= 41.05 x 368.12 x (7.5-8.334)= -12,600 kcal/h

CTAE= (104,822)+(-12,600)= 92,222 kcal/h

2. GCT= CST + CLT

CST= CSC + CSAE= 50,400 + 104,822= 155,222 kcal/h

CLT= CLC + CLAE= 12,600 + (-12,600)= -0 kcal/h

GCT= 155,222 + 0= 155,222 kcal/h

3. $$\text{GFCS} = \frac{\text{CST}}{\text{GCT}} = \frac{155{,}222}{155{,}222} = 1.0$$

Puesto que GFCS = 1.0, ésta es una aplicación de enfriamiento sensible.

4. De las tablas 13.28 y 13.29, suponemos un factor de desvío de 0.05

$$\text{FCSE} = \frac{\text{CSCE}}{\text{CSCE} + \text{CLCE}} \quad \text{de donde}$$

CSCE= CSC + (FD)(CSAE)= 50,400 + (0.05)(104,822)= 55,641 kcal/h

CLCE= CLC + (FD)(CLAE)= 12,600 + (0.05)(-12,600)= 11,970 kcal/h

$$\text{FCSE} = \frac{55{,}641}{55{,}641 + 11{,}970} = 0.823$$

5. Para encontrar la t_{pra}, se traza una línea desde el valor de 0.823 en la escala del factor de calor sensible, hasta la curva de saturación, pasando por las condiciones ajustadas del aire del cuarto (punto 3) en la figura 13.31.

La t_{pra}= 7 °C

6. $$(\text{m}^3/\text{min})ad = \frac{\text{CSCE}}{16.75\,(1\text{-FD})(t_c\text{-}t_{pra})} =$$

$$(\text{m}^3/\text{min})ad = \frac{55{,}641}{16.75\text{x}(1\text{-}0.05)(24.8)} = 502.687$$

Puesto que la cantidad de aire deshumidificado, es menor que los requerimientos de ventilación exterior, se sustituyen los m³/min de aire exterior por los m³/min de aire deshumidificado. Esto da como resultado una nueva temperatura de superficie efectiva, la cual no cae sobre la línea de saturación.

$$t_{se} = 24 - \frac{55{,}641}{16.75\,(1\text{-}0.05)\text{x}\ 368.12} = 14.5^{\circ}\text{C}$$

Esta temperatura cae sobre la línea GFCS.

7. Esta es una aplicación de aire exterior solamente, ya que, los m³/min son menores que los requerimientos de ventilación, por lo tanto:

t_{ae}= 41°C

t_{aeh}= 21°C

La temperatura del suministro de aire, que es igual a la temperatura a la salida del aparato, se calcula sustituyendo la temperatura de superficie efectiva, por la temperatura del *pra* en la ecuación:

$$(1\text{-FD}) = \frac{t_{ae} - t_{as}}{t_{ae} - t_{pra}} \quad \text{por lo tanto } t_{as} = t_{ae} - (1\text{-FD})(t_{ae}\text{-}t_{se})$$

t_{as}= 41 - (1-0.05)(41 - 14.5)= 15.83°C

La temperatura de bulbo húmedo del aire a la salida del aparato, se determina trazando una línea recta entre la t_{se} y las condiciones de entrada del aparato, punto 1. (Esta es la línea GFCS).

Donde la temperatura de salida t_{as} intersecta esta línea, se lee la temperatura de bulbo húmedo de salida, la cual es igual a 12°C.

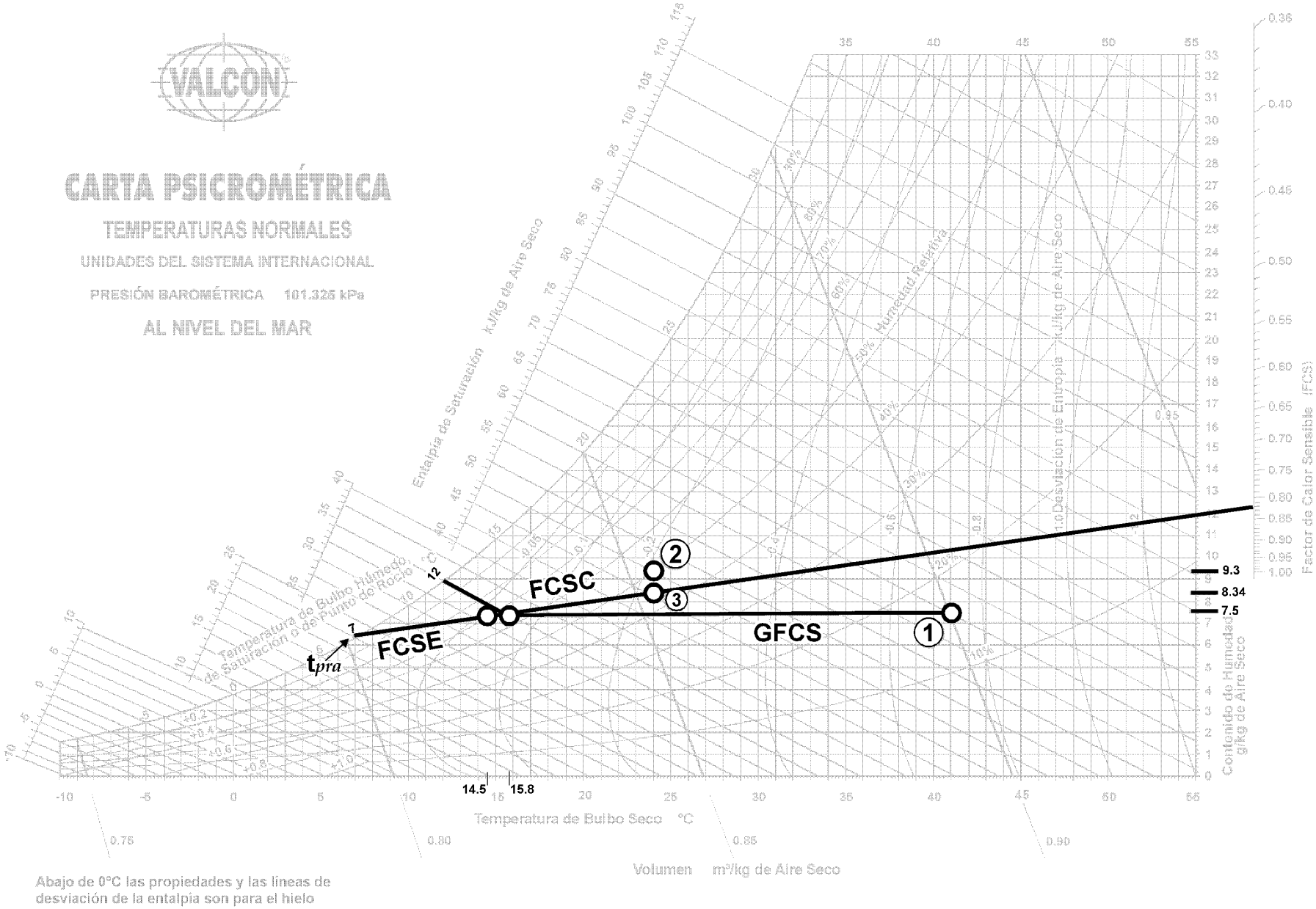


Figura 13.31 - Ejemplo de un enfriamiento sensible.

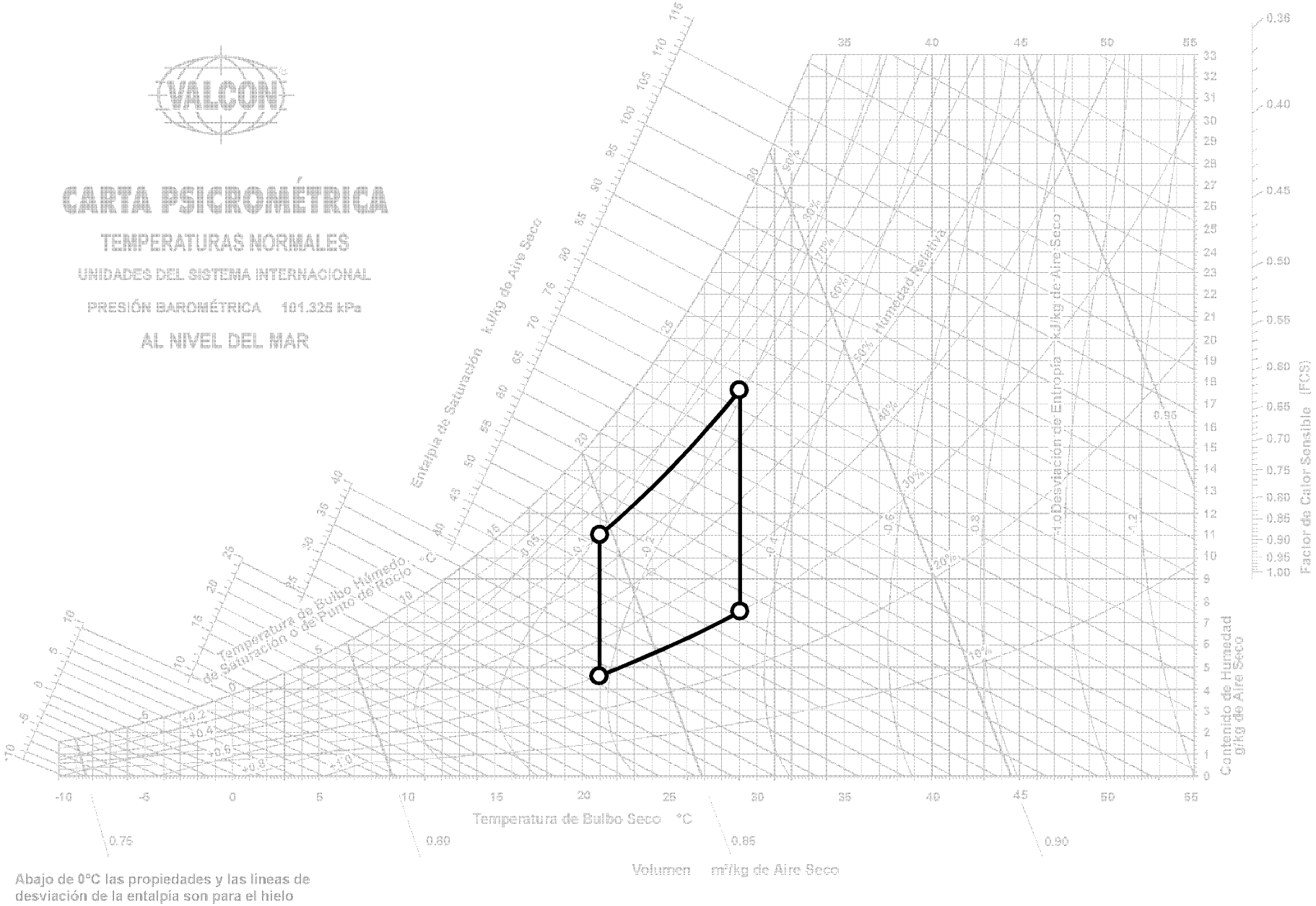


Figura 13.32 - Carta Psicrométrica mostrando la zona de confort.

Zona de Confort

El ser humano estará confortable bajo una variedad de combinaciones de temperatura y humedad. La mayoría de la gente está confortable en una atmósfera con una humedad relativa de entre 30% y 70%, y una temperatura entre 21ºC y 29ºC. Estos puntos están representados por el área resaltada en la carta psicrométrica de la figura 13.32. Dicha área se conoce como zona de confort.

La razón por la cual existe la industria del acondicionamiento de aire (refrigeración, ventilación y calefacción), es porque la naturaleza no siempre proporciona las condiciones ideales anteriores. Un sistema de aire acondicionado, debe modificar las condiciones existentes, utilizando diferentes procesos para lograr las condiciones deseadas.

Estos procesos pueden modelarse sobre la carta psicrométrica.

En el interior, es posible controlar completamente los factores que determinan el confort en un espacio encerrado. Hay una relación definida entre confort y las condiciones de temperatura, humedad y movimiento del aire. En la figura 13.33, se ilustra la condición de confort constante, con temperaturas y humedades variantes.

Nótese la zona de confort. El área delineada, indica el rango usual de temperaturas y humedades, en el cual la mayoría de la gente se siente confortable. Nótese también, que con una alta humedad relativa, uno está confortable a menor temperatura, que a una temperatura deseada a condiciones de baja humedad relativa.

TEMP. (°C)	90		70		50		30		10	
38	39	37	36	35	33	32	30	29	28	27
	36	35	33	32	31	29	28	27	26	25
32	33	32	31	29	28	28	27	26	24	24
	31	29	28	27	27	26	25	24	23	22
27	28	27	26	26	24	24	23	22	22	21
	24	24	23	23	22	22	21	21	20	19
21	22	22	21	21	20	20	19	19	19	18
	20	19	19	19	18	18	18	18	17	17
16	17	17	17	17	16	16	16	16	15	15
	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

HUMEDAD RELATIVA (%)

Figura 13.33 - Temperaturas equivalentes (o efectivas).

Capítulo 14

CONTROLES DE FLUJO DE FLUIDOS PARA REFRIGERACION Y GUIA DE PROBLEMAS Y SOLUCIONES DEL SISTEMA

Clasificaciones Nominales de las Válvulas Termo Expansión

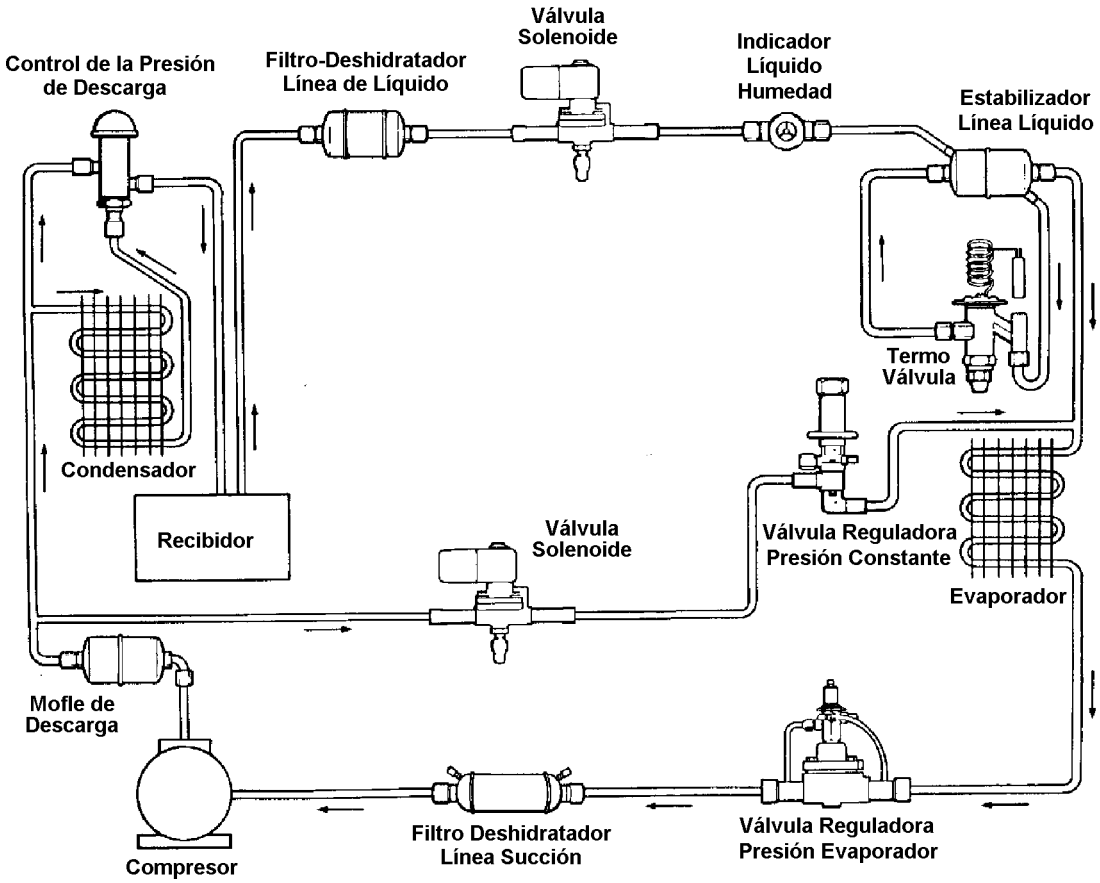
¿Que significa la clasificación nominal de una válvula termo expansión? ALCO, al igual que otros fabricantes de válvulas termo expansión, publica extensas tablas de capacidad para las válvulas de termo expansión (VTE). Estas tablas se basan en las siguientes condiciones (para usarse como punto de referencia):

- Líquido libre de vapor entrando a la válvula termo expansión a 38 ºC (100ºF).
- Temperatura de evaporación de 4 ºC (40ºF).
- Caída de presión de 60 psi a través de la válvula termo expansión para R-12, R-500 Y R-134a.
- Caída de presión de 100 psi a través de la válvula termo expansión para R-22 y R-502.
- Se requiere un cambio de sobrecalentamiento de 2º a 3 ºC (4º a 6ºF), para mover la aguja de la válvula a través de su carrera «clasificada».

NOTA: Las tablas de capacidad extendida en este catálogo de válvulas termo expansión, están resaltadas por un margen negro grueso. Ejemplo: El modelo TER22HW, por las tablas de capacidad extendida, es una válvula de 22 ton. Esta válvula de R-22 producirá 22 tons si:

- Se ve líquido libre de vapor a 38 ºC (100 ºF) en su entrada.
- Está trabajando a una temperatura de evaporación de 4 ºC (40ºF).
- La caída de presión a través de la válvula es de 100 psi.

Tan pronto como alguna de las condiciones de arriba cambie de lo nominal, la capacidad de la válvula también cambiará. Las tablas de capacidad extendida se hacen necesarias, cuando las condiciones de operación del sistema difieren de las condiciones nominales.



ALTO SOBRECALENTAMIENTO (Salida del Evaporador)

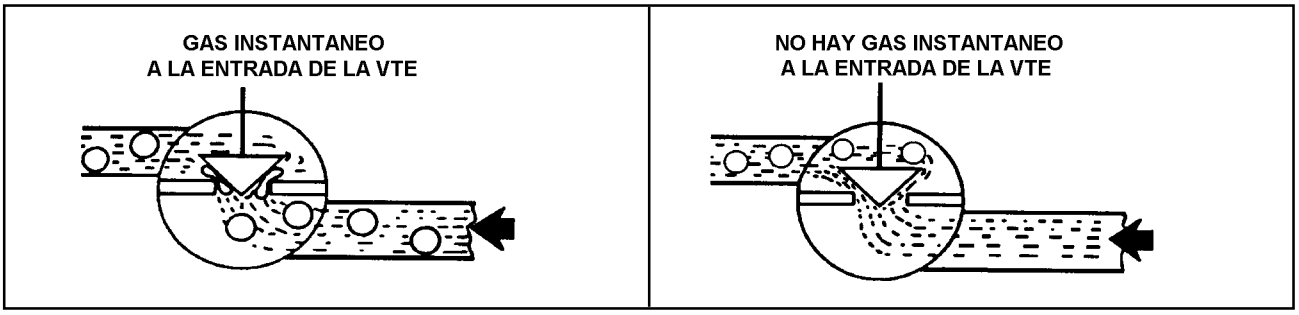
Gas Instantáneo en la Línea de Líquido

El gas instantáneo a la entrada de la válvula termo expansión obstruirá el flujo de refrigerante líquido, y por lo tanto, no alimentará lo suficiente al evaporador. Nota: Si la presión sobre un refrigerante líquido disminuye mientras la temperatura permanece igual, o la temperatura aumenta mientras la presión permanece igual, algo del refrigerante se evaporará instantáneamente. Si esto ocurre y el gas instantáneo entra a la válvula termo expansión:

a) la válvula operará ineficientemente.

b) el sistema pierde algo de su capacidad.

c) aumenta el sobrecalentamiento.



Causa probable:

- Insuficiente carga de refrigerante.
- Excesiva caída de presión en la línea debido a la fricción del fluido, o una excesiva altura vertical de la línea de líquido (vea "Diseño Inadecuado de Tubería").

Si no hay mirilla en la línea de líquido, a la entrada de la válvula termo expansión:

a) el gas instantáneo algunas veces puede detectarse, por un silbido continuo característico, en la válvula termo expansión.

b) el gas instantáneo también puede detectarse instalando una trampa de presión en, o cerca de, la entrada de la válvula termo expansión. Tome la lectura de presión y temperatura en este punto. Si la temperatura medida está arriba de su temperatura de saturación (tomada de una tabla de presión-temperatura), entonces hay presente gas instantáneo.

- La falta de un control de presión de condensación positiva, causará presiones de alta erráticas.

Solución:

- Agregue refrigerante al sistema - esto aumenta la presión de descarga. Hay varios métodos a seguir para cargar un sistema:
  a) en un sistema con válvulas termo expansión y sin recibidor, subenfriando el refrigerante líquido unos 6 °C (a plena carga si es posible).
  b) en un sistema con válvulas termo expansión y recibidor, cargue de la manera usual , hasta que no se vean burbujas a través de la mirilla (ubicación de la mirilla a la entrada de la válvula termo expansión).
  c) en un sistema que tenga condensador, recibidor y válvulas de presión ajustables, el diferencial de presión mínimo debe ser 10 psi, entre la válvula de entrada al condensador (IPR) y la válvula de presión del recibidor (OPR). Sin embargo, el diferencial generalmente se fija en 20 psi o,
  d) se puede subenfriar el líquido, lo suficiente para asegurar refrigerante líquido a la entrada de la válvula termo expansión.

- Revise o instale un control de presión de condensación positiva (vea "Baja Presión de Condensación y Baja Presión de Descarga" para información sobre el sistema de control de presión de condensación).

Restricciones en la Línea de Líquido

Causa probable:

- Filtro-deshidratador de la línea de líquido parcialmente tapado. Verifique la temperatura del deshidratador a la entrada y salida, si la temperatura a la entrada es mayor que a la salida, el deshidratador está restringido.
  a) Esto significa que el deshidratador ha cumplido con su trabajo. Ha retenido tanta contaminación, que la alta caída de presión a través del mismo, está causando que el líquido dentro del deshidratador se evapore instantáneamente.
- Si el indicador de humedad muestra que el refrigerante contiene humedad, significa que el deshidratador está saturado con humedad y ya no puede remover más.
  a) Un exceso de humedad puede causar que se forme hielo en el puerto de la válvula termo expansión (si está operando abajo de 0 °C), provocando una restricción de líquido, esto es, no alimentará suficiente refrigerante al evaporador.
- La solenoide de la línea de líquido, no opera apropiadamente, o es de menor tamaño.
  a) Una excesiva caída de presión a través de la válvula, causará formación de gas instantáneo.
- Línea de líquido torcida.
  a) Esto causará una excesiva caída de presión-gas instantáneo.
- Válvula de servicio en el recibidor de líquido instalada en el campo, la válvula manual puede ser muy pequeña o no estar totalmente abierta.
- Unión de tubería en la línea de líquido, parcialmente tapada con soldadura.

Solución:

- Reemplace el filtro-deshidratador de la línea de líquido por un TD sellado, o los bloques desecantes de VALYCONTROL.

Un filtro-deshidratador saturado con humedad, tiene poco efecto en el aumento de la caída de presión a través de la cápsula (vea "Contaminación en el Sistema").

- Repare o reemplace con una válvula solenoide ALCO del tamaño correcto, e instálela en la dirección apropiada del flujo de refrigerante.
- Reemplace la sección dañada.
- Asegúrese que todas las válvulas estén totalmente abiertas, sean del tamaño correcto y que estén limpias internamente.

Diseño Inadecuado de Tubería

Causa probable:

- Una excesiva altura vertical de la línea de líquido.
  a) Generalmente, por cada 30 cm (un pie) de altura vertical, utilizando R-22, hay aproximadamente una caída de ½ psi.
  b) Si un sistema tiene una altura vertical excesiva, entonces se formará gas instantáneo.
- Línea de líquido demasiado larga, línea de líquido de diámetro muy pequeño, o demasiadas conexiones. Las tres causan una caída de presión excesiva en la línea de líquido.

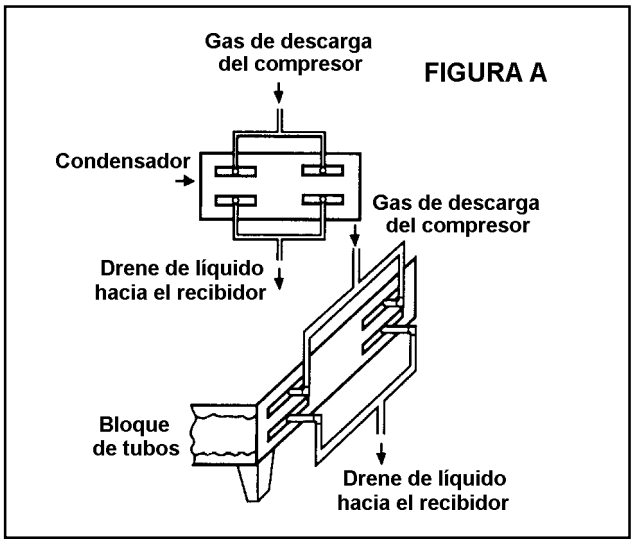
Remedios:

- Asegúrese que el refrigerante se subenfríe lo suficiente, antes de subir por la línea vertical, para evitar que se evapore cuando su temperatura disminuya a la que existe en la parte alta de la tubería vertical.
  a) En la práctica, un subenfriamiento de 5 °C (10 °F) es, generalmente, suficiente para elevaciones hasta de 8 metros (25 pies). Para estar seguros, revise las especificaciones del fabricante.
- Reemplace las secciones de tubería con el tamaño correcto de línea.

Diseño Inadecuado de Tubería (continúa)

Causa probable:

- Al dimensionar las líneas del refrigerante, el diseñador de tuberías debe resolver dos problemas: caída de presión y velocidad. Esto significa que el sistema de tubería, debe tener el diámetro suficiente, para reducir la caída de presión.
- En sistemas con múltiples evaporadores o con deshielo por gas caliente, en cada caso, tenga cuidado con la costumbre de diseñar incorrectamente la tubería. En la válvula termo expansión del primer evaporador, puede haber una línea llena de líquido, pero no en las demás sobre la misma alineación.
- En condensadores remotos, la salida de líquido del condensador, debe caer abajo del bloque de tubos del condensador (vea figura A).



Subenfriamiento Inadecuado

Causa probable:

- Si el sistema ha sido diseñado para proporcionar equis cantidad de grados de subenfriamiento, para compensar las pérdidas de presión del sistema, y el líquido no es subenfriado adecuadamente, ocurrirá una evaporación instantánea en la válvula termo expansión.

Solución:

- Aumente el subenfriamiento a los niveles deseados, para un funcionamiento adecuado del sistema.

Baja Presión de Condensación

Para unidades de condensación enfriadas por aire, cuando el sistema de control de presión de condensación está defectuoso o mal ajustado. Todos los condensadores enfriados por aire, están dimensionados para una cierta temperatura del aire ambiente, usualmente 32 a 35 ºC (90 a 95 ºF). Cuando la temperatura ambiente cae abajo de 10ºC (50ºF), el condensador estará sobredimensionado, y se necesitará algún tipo de control de presión de condensación (vea "Baja Presión de Descarga").

Causa probable:

- Ventilador cicleando/el ventilador de velocidad variable ya no es efectivo, debido a la baja temperatura ambiente y/o a los vientos predominantes.
  - a) Ajuste inadecuado (cicleando, ajuste de velocidad muy retrasado o muy alto).
  - b) Mal conectado.

Solución:

- Encuentre el origen del problema y corríjalo.
- Instale un control de presión de condensación tipo inundado.
  - a) Ajuste el ciclo del ventilador, basándose en la temperatura ambiente, con la presión prevaleciente.
  - b) Encuentre el origen del problema y corríjalo.

Baja Presión de Condensación (continúa)

Causa probable:

- Control del humidificador.
  - a) Mal conectado.
  - b) Componentes defectuosos.
  - c) Abierto por falla mecánica (roto o algo trabado que lo mantiene abierto).
  - d) Ajuste incorrecto (empieza a cerrar demasiado tarde).

Solución:

- Encuentre el origen del problema y corríjalo. Nota: No se recomienda para usarse en unidades de refrigeración, cuando el condensador está expuesto a temperaturas ambiente abajo de 0 ºC (32 ºF).

- Sistema de control de presión de condensación inundado.
  - a) Ajuste de presión demasiado bajo.
  - b) Componentes defectuosos.
  - c) La cabeza de la válvula de presión constante, pierde su carga.
  - d) En un sistema de dos válvulas, la válvula de retención diferencial (check), está instalada en posición invertida.
  - e) Pérdida del sello de líquido en el recibidor, debido a carga insuficiente para operación en invierno.

- Encuentre el origen del problema y corríjalo.
  - a) Fije el ajuste de presión al nivel deseado.
  - b) Reemplace los componentes defectuosos.
  - c) Método de carga (vea "Gas Instantáneo en la Línea de Líquido").
  - d) Instale las válvulas en el sentido correcto.
  - e) Agregue refrigerante adicional para un funcionamiento apropiado del sistema (vea "Gas Instantáneo en la Línea de Líquido").

Restricción en el Tubo Capilar o en el Distribuidor de la VTE

Causa probable:

- Restricción del flujo hacia el evaporador debido a contaminación en el sistema.
- El orificio de flujo es demasiado pequeño.

Solución:

- Reemplace los componentes tapados, incluyendo los filtros deshidratadores.
- Reemplace con un orificio del tamaño apropiado.

Carga Excesiva en el Evaporador, Arriba de las Condiciones de Diseño

Causa probable:

- La válvula termo expansión está limitada a la cantidad de flujo que puede pasar por el tamaño de su orificio, por lo tanto, si la carga aumenta arriba de los límites de diseño, resultará un alto sobrecalentamiento.

Solución:

- Utilice una válvula termo expansión ALCO de puerto balanceado. Las válvulas de puerto balanceado ALCO modulan abajo de un 20% de sus clasificaciones nominales.

Contaminación en el Sistema

Causa probable:

- La humedad dentro del sistema puede ser causada por el aire húmedo el cual ha entrado al sistema por cargarlo con refrigerante húmedo o aceite refrigerante de pobre calidad, o por humedad en las partes internas y/o fugas.
- Mangueras de carga y manómetros internamente húmedos.
- El filtro deshidratador tapado causará una excesiva caída de presión, resultando gas instantáneo.

Solución:

- La manera efectiva de eliminar humedad de un sistema, es deshidratarlo adecuadamente, antes de cargar y de instalar filtros deshidratadores VALYCONTROL, para la línea de líquido y de succión. (Vea la tabla 1 para los puntos de ebullición del agua a diferentes temperaturas).
- Reemplace como sea necesario.
- Mantenga su recipiente de aceite para refrigeración sellado de la atmósfera todo el tiempo. El aceite para refrigeración atrae por la humedad; si se deja abierto a la atmósfera, el aceite absorberá la humedad rápidamente.

Contaminación en el Sistema (continúa)

Causa probable:

- La formación de hielo o cera, restringiendo el flujo de refrigerante, puede ser indicada por un repentino aumento en la presión de succión después de un paro, cuando el sistema se calienta.

a) Para verificarlo mientras el sistema está trabajando, utilice algún medio para calentar la válvula termo expansión (esto derretirá el hielo), y notará el aumento en la presión de succión.

b) Ese calentamiento, generalmente no derrite la cera, lo que hace que la cera sea difícil de descubrir.

c) La formación de cera puede ocurrir en unidades de baja temperatura, que operan abajo de -32 °C (-25 °F) de evaporación.

d) La cera formada, usualmente se licúa y fluye de nuevo cerca de -18 °C (0 °F) o más.

- La humedad puede ser creada por el aire. El aire con su oxígeno libre, puede oxidar el aceite y combinarse con el hidrógeno liberado en el serpentín para formar agua.
- La humedad puede combinarse con los refrigerantes para formar ácidos (un calor excesivo acelera la formación de ácidos).

a) Los ácidos corroen todo lo que tocan, y eventualmente, causan una descomposición química del sistema.

Solución:

- La cera en el sistema puede indicar que se está utilizando un aceite equivocado. Recupere/recicle el refrigerante, haga vacío, recargue con refrigerante limpio y seco y con aceite de refrigeración apropiado.

TABLA 1 - PUNTOS DE EBULLICION DEL AGUA

Presión Absoluta				Punto de Ebullición del Agua		Presión Manométrica Correspondiente al Nivel del Mar		Presión Absoluta				Punto de Ebullición del Agua		Presión Manométrica Correspondiente al Nivel del Mar	
kPa	psia	mm Hg	microns	°C	°F	kPa	pulg Vacío	kPa	psia	mm Hg	microns	°C	°F	kPa	pulg Vacío
101.3	14.7	760	760,000	100	212	0.0	0.0	2.1	0.30	15.7	15,748	18.3	65	99.2	29.30
84.4	12.24	633	632,968	81.6	179	16.9	5.0	1.8	0.26	13.2	13,208	15.5	60	99.5	29.40
67.4	9.78	5.6	505,968	88.8	192	33.8	10.0	1.5	0.21	10.7	10,668	12.2	54	99.9	29.50
50.5	7.33	379	378,968	81.6	179	50.8	15.0	1.1	0.16	8.1	8,128	8.3	47	100.2	29.60
33.6	4.88	252	251,968	71.6	161	67.7	20.0	0.8	0.11	5.6	5,558	2.8	37	100.6	29.70
16.6	2.41	125	124,968	56.1	133	84.7	25.0	0.4	0.06	3.0	3,048	-5.0	23	100.9	29.80
6.6	0.95	48.7	48,768	37.8	100	94.8	28.0	0.3	0.04	2.0	2,000	-9.4	15	101.0	29.84
3.1	0.45	23.4	23,368	25.0	77	98.2	29.0	0.2	0.03	1.5	1,500	-12.8	9	101.1	29.86
2.8	0.41	20.8	20,828	23.3	74	98.5	29.10	0.1	0.02	1.0	1,000	-17.2	1	101.2	29.88
2.4	0.35	18.3	18,288	20.5	69	98.8	29.20	0.07	0.01	0.5	500	-24.4	-12	101.3	29.90

La tabla de arriba claramente ilustra la reducción del punto de ebullición del agua con la reducción de presión. Está claro que a temperaturas ambientes normales, la deshidratación por evacuación requiere presiones abajo de 2.76 kPa (0.4 psia), lo que significa una lectura de vacío correspondiente al nivel del mar de 18.288 mm Hg (29.2 pulg.Hg). A presiones mayores, la ebullición simplemente no se llevará a cabo. Desde un punto de vista práctico, se necesitan presiones mucho más bajas para crear una diferencia de temperatura al agua en ebullición para que se pueda llevar a cabo la transferencia de calor y también, para compensar la caída de presión en las líneas de conexión, lo cual es extremadamente crítico a muy bajas presiones. Se requieren presiones desde 1,500 a 2,000 microns para una deshidratación efectiva y el equipo para realizar esto normalmente se describe como designado para trabajo de alto vacío. Se deberá aplicar calor a los sistemas en los cuales se sabe que contienen agua libre para ayudar en la evacuación. La tabla 1 se reimprime con permiso de Copeland Corporation de: Copeland Refrigeration Manual-Installation and Service, Part 5.

Válvulas Termo Expansión de Menor Capacidad

Causa probable:

- El orificio de la válvula es demasiado pequeño, no alimenta lo suficiente al evaporador.

Solución:

- Seleccione el tamaño apropiado de válvula termo expansión, utilizando la siguiente información:
  a) Tipo de refrigerante.
  b) Temperatura de evaporación.
  c) Caída de presión a través de la válvula.
  d) Carga deseada.
  e) Temperatura del líquido a la entrada de la válvula termo expansión. Después de obtener lo anterior, consulte las tablas de capacidad extendida, en el catálogo de válvulas termo expansión ALCO, para seleccionar apropiadamente la válvula.

Válvulas Termo Expansión con Igualador Interno

Causa probable:

- La válvula termo expansión con igualador interno, está operando contra una excesiva caída de presión a través del evaporador.
- Válvula con igualador interno usada con un distribuidor de refrigerantes.

Solución:

- Utilice una válvula con igualador externo, y asegúrese que la línea del igualador externo esté conectada (vea "Ubicación Deficiente del Bulbo y del Igualador").
- Generalmente, una válvula termo expansión con igualador interno, no se utiliza arriba de una capacidad de 2 ton.

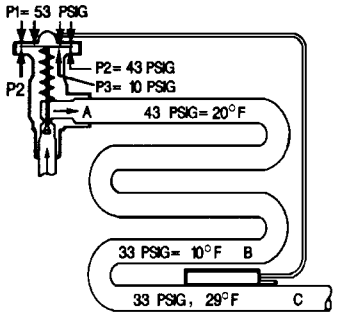
EJEMPLO: Un evaporador de R-22, es alimentado por una válvula con igualador interno, donde hay presente una caída de presión medida de 10 psig a través del evaporador (vea figura 1). La presión en el punto «C» es de 33 psig, o sea, 10 psig menos que el valor en la salida, punto «A». Sin embargo, la presión de 43 psig en el punto «A», es la presión que actúa en el lado de baja del diafragma en dirección de cerrar. Con el resorte de la válvula, fijado a una compresión equivalente a 10 ºF (5.5 ºC) de sobrecalentamiento, o una presión de 10 psig, la presión requerida arriba del diafragma para igualar las fuerzas es de (43 + 10) = 53 psig. Esta presión corresponde a la temperatura de saturación de 29 ºF (-1.7 ºC), para el R-22. Es evidente que la temperatura del refrigerante en el punto «C», debe ser de 29 ºF (-1.7 ºC), si se quiere que la válvula esté en equilibrio. Puesto que la presión en este punto es de sólo 33 psig, y la temperatura de saturación correspondiente es de 10 ºF (-12.2 ºC), se requiere un aumento en el sobrecalentamiento de (29-10 ºF) ó 19 ºF (10.5 ºC), para abrir la válvula. La caída de presión a través del evaporador, la cual causó esta condición de alto sobrecalentamiento, aumenta con la carga debido a la fricción — este efecto de «restricción» o de insuficiencia de refrigerante en el evaporador, aumenta cuando la demanda sobre la capacidad de la termo válvula es mayor.

Para las figuras 1 y 2 - la carga del bulbo y el refrigerante = R-22.
P1 = Presión del bulbo (fuerza que abre)
P2 = Presión del evaporador (fuerza que cierra)
P3 = Presión del resorte (fuerza que cierra)

REGLA EMPIRICA GENERAL - VTE CON IGUALADOR EXTERNO

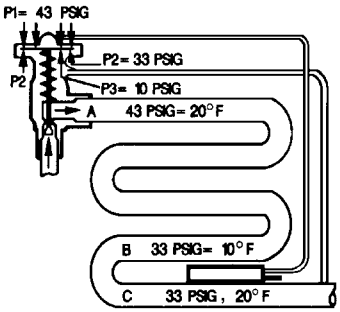
1. Utilice una válvula con igualador externo, cuando la caída de presión sea más de:
   a) 3 psi a través de un evaporador, en una aplicación de temperatura alta.
   b) 2 psi a través de un evaporador, en una aplicación de temperatura media.
   c) 1 psi a través de un evaporador, en una aplicación de temperatura baja.
2. Utilice siempre una válvula con igualador externo, cuando se use un distribuidor. Dependiendo de la marca, tamaño y número de salidas, la caída de presión a través del distribuidor, sólo puede estar en cualquier punto del rango de 5 a 30 psi.

FIGURA 1 - VTE con igualador interno



Válvula de Termo Expansión con igualador interno en un evaporador con una caída de presión de 10 psi.

FIGURA 2 - VTE con igualador externo



Válvula de Termo Expansión con igualador externo en un evaporador con una caída de presión de 10 psi.

Puesto que la función de la VTE, es controlar el sobrecalentamiento en el punto «C», lo más sensato es que obtengamos las fuerzas de abrir y cerrar variables de esa ubicación. Esto se puede lograr, utilizando una válvula con igualador externo (figura 2). La VTE con igualador externo detecta la presión de cierre real «P2», a la salida del serpentín, en lugar de la presión «A» en la entrada. Ahora la caída de presión a través del serpentín, ya no le concierne a la VTE.

Válvulas Termo Expansión con Carga Gaseosa (MOP)

Causa probable:

- La válvula termo expansión con carga gaseosa pierde control.
- Los contenidos de estas cargas, son tales, que a una predeterminada temperatura del bulbo, el gas en el bulbo se sobrecalienta, maximizando la presión del bulbo (fuerza que abre).
- Puesto que estos bulbos están cargados con solamente una pequeña cantidad de vapor, cada que el tubo capilar o el elemento de poder se enfrían más que el bulbo, la carga de gas dentro del bulbo, emigrará completamente a estos puntos fríos y se condensará. Si esto sucede, no queda nada en el bulbo remoto para detectar la temperatura a la salida del evaporador, por lo tanto, la válvula se cierra o se «cruza».

Solución:

- La cabeza de la válvula y el capilar, deben mantenerse más calientes que el bulbo remoto.
- Se puede utilizar cinta térmica, para envolver el elemento de poder y el capilar.
- Aisle la válvula completa.
- Instale la válvula fuera del espacio refrigerado.

Falla del Elemento de Poder o Pérdida de Carga

Causa probable:

- El elemento de poder ha fallado o perdido su carga.

Solución:

- Donde sea posible, reemplace el ensamble de poder o reemplace la válvula termo expansión.

Carga Termostática Equivocada

Causa probable:

• Carga termostática equivocada.

Solución:

• Seleccione la carga apropiada, basándose en el refrigerante del sistema y el funcionamiento de operación deseado (vea el catálogo de válvulas termo expansión ALCO).

Medición y Ajuste del Sobrecalentamiento de Operación

Medición:

1. Con un manómetro de precisión, determine la presión de succión o la temperatura de saturación, a la salida del evaporador. En instalaciones compactas, la presión de succión puede leerse en la conexión de succión del compresor.

2. De la tabla de presión-temperatura al final de esta sección, determine la temperatura de saturación correspondiente a la presión de succión observada.

3. Mida la temperatura del gas de succión en la ubicación del bulbo remoto, como sigue:

a) Limpie el área de la línea de succión en la ubicación del bulbo, y encinte el termocople al área limpiada.
b) Aisle el termocople y lea la temperatura, utilizando un termómetro electrónico.

4. Reste la temperatura de saturación determinada en el paso 2, de la temperatura sensible medida en el paso 3. La diferencia, es el sobrecalentamiento del gas de succión a la salida del evaporador.

Preparación del Sistema de Refrigeración para el Ajuste del Sobrecalentamiento de la Válvula:

1. Se requiere presión de descarga operacional y una columna de líquido puro, a la entrada de la válvula termo expansión. - Si no se utiliza un sistema de control de presión de condensación inundado, ponga una carga falsa en el condensador.

2. El contenedor o el espacio, deben estar bajo una condición de carga total. - Ponga una carga falsa en el evaporador.

3. Los reguladores de presión del evaporador, deberán estar en una posición completamente abierta. Use el vástago manual para abrir cuando esté disponible, o cerrar el abastecimiento de gas caliente al piloto del regulador de presión del evaporador «BEPR(S)», o rotación en el sentido inverso de las manecillas del reloj del vástago de ajuste del regulador. (Asegúrese que haya una caída de presión mínima a través del regulador de presión del evaporador).

4. En un sistema de compresores múltiples, se requiere tomar precauciones extras:

a) Asegure presión de succión constante en el diseño.
b) Asegure presión de descarga constante en el diseño.
c) Asegure presión de salida del recibidor constante en el diseño.
d) Controle los ciclos de paro y arranque del compresor, para igualar las presiones de succión de diseño, aislando los controles de baja presión automáticos electrónicos. Apague los compresores necesarios, para mantener las presiones de succión de diseño.
e) Aisle el control de deshielo, especialmente en sistemas de deshielo con gas, para mantener la presión de descarga/recibidor.
f) Aisle el recuperador de calor, para asegurarse que no opere durante los ajustes del sobrecalentamiento.

5. Fije el sobrecalentamiento de la válvula termo expansión. - El ajuste de una válvula externamente ajustable, se lleva a cabo sin remover ninguna línea de la válvula, eliminando así, la necesidad de vaciar la unidad. Al quitar el tapón sello de la válvula, quedará expuesto el vástago de ajuste. Girando el vástago en sentido de las manecillas del reloj, disminuye el flujo de refrigerante a través de la válvula, y aumenta el sobrecalentamiento. Girando el vástago en el sentido contrario de las manecillas del reloj, aumenta el flujo de refrigerante a través de la válvula, y disminuye el sobrecalentamiento.

6. Vuelva a revisar el sobrecalentamiento bajo condiciones de baja carga.

7. Reajuste los ajustes de presión de los reguladores de presión de evaporación EPR.

8. Remueva todas las cargas falsas al evaporador y condensador, y reajuste todos los controles aislados.

Evaporador de Mayor Capacidad o Compresor de Menor Capacidad

Solución:

• Redimensione el evaporador o el compresor, para igualar los requerimientos de carga.

REGLA EMPIRICA GENERAL-SOBRECALENTAMIENTO A LA SALIDA DEL EVAPORADOR

1. Alta temperatura: 5º a 7 ºC (10º a 12 ºF) de sobrecalentamiento (para temperaturas de evaporación de -1 ºC [30 ºF] o mayores).
2. Temperatura media: 3º a 5 ºC (5º a 10 ºF) de sobrecalentamiento (para temperaturas de evaporación de -18º a -1 ºC [0º a 30 ºF]).
3. Temperatura baja: 1º a 3 ºC (2º a 5 ºF) de sobrecalentamiento (para temperaturas de evaporación abajo de -18 ºC [0 ºF]).

Ajuste muy Alto del Sobrecalentamiento

Solución:

- Reduzca el ajuste del sobrecalentamiento. En las válvulas ALCO, una vuelta al vástago de ajuste en el sentido contrario de las manecillas del reloj, disminuye el sobrecalentamiento.

NOTA: Una medición verdadera del sobrecalentamiento puede obtenerse, por medio del método de presión-temperatura (vea "Medición y Ajuste del Sobrecalentamiento de Operación").

Tabla Temperatura-Presión

ºC	ºF	R12	R13	R22	R500	R502	R717	ºC	ºF	R12	R13	R22	R500	R502	R717
-73.3	-100	**27.0**	7.5	**25.0**	---	**23.3**	**27.4**	-8.9	16	18.4	211.9	38.7	24.2	47.8	29.4
-70.5	-95	**26.4**	10.9	**24.1**	---	**22.1**	**26.8**	-7.8	18	19.7	218.8	40.9	25.7	50.1	31.4
-67.7	-90	**25.7**	14.2	**23.0**	---	**20.7**	**26.1**	-6.7	20	21.0	225.7	43.0	27.3	52.5	33.5
-65.0	-85	**25.0**	18.2	**21.7**	---	**19.0**	**25.3**	-5.6	22	22.4	233.0	45.3	29.0	55.0	35.7
-62.2	-80	**24.1**	22.2	**20.2**	---	**17.1**	**24.3**	-4.4	24	23.9	240.3	47.6	30.7	57.5	37.9
-59.4	-75	**23.0**	27.1	**18.5**	---	**15.0**	**23.2**	-3.3	26	25.4	247.8	49.9	32.5	60.1	40.2
-56.6	-70	**21.8**	32.0	**16.6**	---	**12.6**	**21.9**	-2.2	28	26.9	255.5	52.4	34.3	62.8	42.6
-53.8	-65	**20.5**	37.7	**14.4**	---	**10.0**	**20.4**	-1.1	30	28.5	263.2	54.9	36.1	65.4	45.0
-51.1	-60	**19.0**	43.5	**12.0**	---	**7.0**	**18.6**	0.0	32	30.1	271.3	57.5	38.0	68.3	47.6
-48.3	-55	**17.3**	50.0	**9.2**	---	**3.6**	**16.6**	1.1	34	31.7	279.5	60.1	40.0	71.2	50.2
-45.5	-50	**15.4**	57.0	**6.2**	---	0.0	**14.3**	2.2	36	33.4	287.8	62.8	42.0	74.1	52.9
-42.8	-45	**13.3**	64.6	**2.7**	---	2.1	**11.7**	3.3	38	35.2	296.3	65.6	44.1	77.2	55.7
-40.0	-40	**11.0**	72.7	0.5	**7.9**	4.3	**8.7**	4.4	40	37.0	304.9	68.5	46.2	80.2	58.6
-37.2	-35	**8.4**	81.5	2.6	**4.8**	6.7	**5.4**	7.2	45	41.7	327.5	76.0	51.9	88.3	66.3
-34.4	-30	**5.5**	91.0	4.9	**1.4**	9.4	**1.6**	10.0	50	46.7	351.2	84.0	57.8	96.9	74.5
-33.3	-28	**4.3**	94.9	5.9	0.0	10.6	0.0	12.8	55	52.0	376.1	92.6	64.2	106.0	83.4
-32.2	-26	**3.0**	98.9	6.9	0.7	11.7	0.8	15.6	60	57.7	402.3	101.6	71.0	115.6	92.9
-31.1	-24	**1.6**	103.0	7.9	1.5	13.0	1.7	18.3	65	63.8	429.8	111.2	78.2	125.8	103.1
-30.0	-22	**0.3**	107.3	9.0	2.3	14.2	2.6	21.1	70	70.2	458.7	121.4	85.8	136.6	114.1
-28.9	-20	0.6	111.7	10.1	3.1	15.5	3.6	23.9	75	77.0	489.0	132.2	93.9	148.0	125.8
-27.8	-18	1.3	116.2	11.3	4.0	16.9	4.6	26.7	80	84.2	520.8	143.6	102.5	159.9	138.3
-26.7	-16	2.1	120.8	12.5	4.9	18.3	5.6	29.4	85	91.8	---	155.7	111.5	172.5	151.7
-25.6	-14	2.8	125.7	13.8	5.8	19.7	6.7	32.2	90	99.8	---	168.4	121.2	185.8	165.9
-24.4	-12	3.7	130.5	15.1	6.8	21.3	7.9	35.0	95	108.3	---	181.8	131.2	199.7	181.1
-23.2	-10	4.5	135.4	16.5	7.8	22.8	9.0	37.8	100	117.2	---	195.9	141.9	214.4	197.2
-22.2	-8	5.4	140.5	17.9	8.8	24.4	10.3	40.6	105	126.6	---	210.8	153.1	229.7	214.2
-21.1	-6	6.3	145.7	19.3	9.9	26.0	11.6	43.3	110	136.4	---	226.4	164.9	245.8	232.3
-20.0	-4	7.2	151.1	20.8	11.0	27.7	12.9	46.1	115	146.8	---	242.7	177.3	262.6	251.5
-18.9	-2	8.2	156.5	22.4	12.1	29.5	14.3	48.9	120	157.7	---	259.9	190.3	280.3	271.7
-17.7	0	9.1	162.1	24.0	13.3	31.2	15.7	51.7	125	169.1	---	277.9	203.9	298.7	293.1
-16.7	2	10.2	167.9	25.6	14.5	33.1	17.2	54.4	130	181.0	---	296.8	218.2	318.0	315.0
-15.6	4	11.2	173.7	27.3	15.7	35.0	18.8	57.2	135	193.5	---	316.6	233.2	338.1	335.0
-14.4	6	12.3	179.8	29.1	17.0	37.0	20.4	60.0	140	206.6	---	337.3	248.8	359.1	365.0
-13.3	8	13.5	185.9	30.9	18.4	39.1	22.1	62.8	145	220.6	---	358.9	265.2	381.1	390.0
-12.2	10	14.6	192.1	23.8	19.8	41.1	23.8	65.6	150	234.6	---	381.5	282.3	403.9	420.0
-11.1	12	15.8	198.6	34.7	21.2	43.3	25.6	68.3	155	249.9	---	405.2	300.1	427.8	450.0
-10.0	14	17.1	205.2	26.7	22.7	45.5	27.5	71.1	160	265.1	---	429.8	318.7	452.6	490.0

Los números en negritas = vacío en pulg. de Hg. | Los números en claro = psig

BAJO SOBRECALENTAMIENTO (a la Salida del Evaporador)

Sobrecarga de Refrigerante y/o Aceite

Causa probable:

- Sobrecarga de refrigerante: el refrigerante que se agregue de más, reduce la capacidad al aumentar la temperatura del evaporador (en sistemas sin recibidor). Un sistema sobrecargado, es con mucho, más factible que dañe al compresor, que uno al que le hace falta carga. Esta sobrecarga de refrigerante regresa al cárter, como una constante inundación durante la operación, reduciendo la vida útil del compresor, al mismo tiempo que disminuye la eficiencia y la capacidad.

- Deberá evitarse una sobrecarga de aceite, ya que esto crea la posibilidad de golpes de líquido por aceite, pudiendo dañar el compresor y también obstaculizar el funcionamiento del refrigerante en el evaporador. El exceso de aceite en circulación, desplaza algo de refrigerante en el orificio de la válvula. Puesto que hay exceso de aceite en el evaporador, la velocidad de evaporación del refrigerante se hace más lenta, debido a que el aceite actúa como un aislante.

Solución:

- Cargue el refrigerante a los niveles apropiados:
  a) En sistemas con tubo capilar, cargue por el método del sobrecalentamiento determinado en las tablas disponibles de los fabricantes de válvulas.
  b) En sistemas con válvulas termo expansión y sin tanque recibidor, cargue por el método de subenfriar el refrigerante líquido hasta un óptimo de 5.5 °C (10 °F) menos que las temperaturas de condensación (a plena carga, si es posible).
  c) En sistemas con VTE y tanque recibidor, cargue por el método de la mirilla (la ubicación de la mirilla a la entrada de la VTE).
- Remueva aceite y mantenga los niveles de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

Compresor de Mayor Capacidad

Causa probable:

- Debido a la mala selección de capacidad, el motor acoplado directamente trabaja demasiado rápido.
- Polea de tamaño equivocado (baja presión de succión).
- La capacidad de diseño del evaporador, es menor que la carga real.

Solución:

- Vuelva a seleccionar el compresor, reemplace el motor de acoplamiento directo para una velocidad adecuada.
- Reduzca la velocidad del compresor, instalando las poleas de tamaño apropiado, o proporcione un control de capacidad para el compresor.
- Iguale el evaporador a los requerimientos de carga.

Carga en el Evaporador Inadecuada o Dispareja

Causa probable:

- Pobre distribución de aire o de flujo de salmuera (si es enfriador de líquido).

Solución:

- Balancee la distribución de carga del evaporador, proporcionando la distribución correcta de aire o de salmuera.
- Aumente la velocidad del ventilador del evaporador.
- Instale un difusor de aire de rejilla a la entrada del evaporador.

Acumulación Excesiva de Aceite en el Evaporador

Causa probable:

- El exceso de aceite en el evaporador, disminuirá la velocidad de evaporación del refrigerante, porque el aceite actúa como un aislante (vea "Sobrecarga de Refrigeración y/o Aceite").

Solución:

- Modifique la tubería de succión para aumentar la velocidad y proporcionar un adecuado retorno de aceite; o instale un separador de aceite de VALYCONTROL, si se requiere.
- Posible remoción parcial de aceite del cárter.

Deficiente Ubicación del Bulbo y del Igualador

FIGURA 4

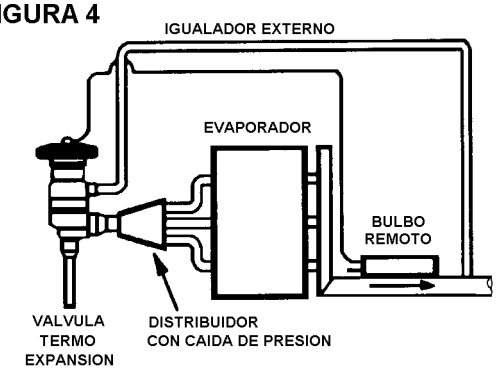
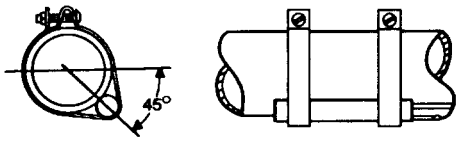


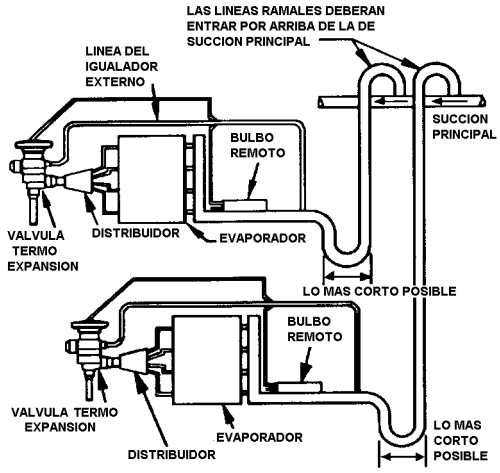
FIGURA 5 - Colocación del bulbo remoto en relación al diámetro de la línea de succión

Bulbo externo en líneas de succión pequeñas (menores de 7/8")



Bulbo externo en líneas de succión grandes (mayores de 7/8")

FIGURA 6 - Instalación adecuada de tubería y ubicación del bulbo



Solución:

- El bulbo deberá ser sujetado a la línea de succión, cerca de la salida del evaporador, y si es posible, sobre un tramo horizontal.
- Limpie la línea de succión completamente, antes de sujetar el bulbo en su lugar.
- Sujete el bulbo a una línea de succión que tenga libre drenaje.
- Aisle el bulbo remoto del ambiente.
- Coloque la línea del igualador tan cerca del bulbo como sea posible, del lado del compresor (vea figura 4).
- Se recomienda posicionar la línea del igualador después del bulbo. ¿Por qué? Si hay una fuga en el empaque del vástago de la válvula termo expansión, entonces, el refrigerante líquido viajará a través de la línea del igualador del lado de alta al de baja, «brincándose» el bulbo.
- Si la línea del igualador está antes del bulbo, del lado del evaporador, y el empaque se fuga, el refrigerante que pase por la línea del igualador, mantendrá el bulbo sensor artificialmente frío, forzando así a la válvula termo expansión a permanecer en posición cerrada (es decir, en alto sobrecalentamiento. Si lo anterior ocurre, con la línea del igualador conectada después del bulbo, la refrigeración se seguirá llevando a cabo. Una fuga relativamente pequeña, no tendrá efecto en el sobrecalentamiento. Sin embargo, una fuga grande, puede causar un alto sobrecalentamiento en el evaporador, causando simultáneamente un bajo sobrecalentamiento en el compresor. NOTA: Una fuga en el empaque del vástago de la válvula, se diagnostica fácilmente, por la escarcha que se forma en la línea del igualador, en sistemas de baja y media temperatura. Cambie el ensamble o la válvula termo expansión, antes que ocurra un daño en el compresor.
- Si se usa más de una válvula termo expansión en evaporadores adyacentes o secciones de evaporadores, asegúrese que el bulbo remoto y la línea del igualador de cada válvula, estén aplicados a la línea de succión del evaporador alimentado por esa válvula (vea figura 6).

Línea del Igualador Externo Tapada

Causa probable:

- La línea del igualador externo, proporciona la presión de salida del evaporador, a la parte de abajo del diafragma de la válvula termo expansión, para cerrar la válvula. Si la línea del igualador externo está obstruida o tapada, lo más probable es que la válvula esté demasiado abierta, causando una condición de inundación. Sin embargo, en ocasiones muy esporádicas, una fuga interna en la válvula vía las varillas de empuje, puede causar una presión constante sobre la parte baja del diafragma, lo que puede ocasionar un alto sobrecalentamiento.

Solución:

- Si el igualador externo está obstruido o tapado, repare o reemplace para asegurar un flujo de presión sin obstrucciones.

Diafragma o Fuelle Agrietado - Válvula de Expansión Automática

Causa probable:

- Un diafragma o fuelle agrietado de una válvula de expansión, dará como resultado una inundación (válvula bastante abierta), si la tapa de ajuste está puesta y segura.

Solución:

- Reemplace la válvula o el elemento de poder, donde sea necesario.

Contaminación en el Sistema (vea "Contaminación en el Sistema")

Causa probable:

- La aguja y el asiento de la válvula de expansión estrangulados, erosionados, o mantenidos abiertos por algún material extraño, dando como resultado una inundación de líquido.
- Congelación de humedad y la aguja de la válvula en posición abierta. Si se sospecha algo, inspeccione el indicador de humedad ILH, para verificar la contaminación por humedad.

Solución:

- Limpie o reemplace las partes dañadas o la válvula completa. Instale un filtro deshidratador TD sellado o uno recargable de bloques desecantes, en la línea de líquido.
- Aplique calor a la válvula para derretir el hielo. Instale un filtro deshidratador TD sellado o uno recargable de bloques desecantes, en la línea de líquido, para asegurar un sistema libre de humedad.

Aspas del Ventilador del Evaporador Invertidas o Girando en Sentido Opuesto

Causa probable:

- Abastecimiento inadecuado de aire a través del serpentín, para evaporar apropiadamente el líquido de refrigerante que entra. Esto causará que el serpentín del evaporador se congele.

Solución:

- Instale las aspas del ventilador en la dirección apropiada. Verifique la polaridad o rotación del motor.

Condensador de Mayor Capacidad

Causa probable:

- Condensador de mayor capacidad en un sistema sin recibidor, o equipado con tanque para evitar fluctuaciones de presión. Esto puede producir subenfriamiento excesivo del refrigerante líquido que entra a la válvula, lo que conduce a un efecto refrigerante mayor, haciendo que la válvula termo expansión tenga mayor capacidad (suponiendo que el efecto de subenfriamiento no haya sido tomado en cuenta en la selección inicial de la capacidad de la válvula), causando un sobrecalentamiento bajo o inundación.

Solución:

- Balancee correctamente los componentes del sistema.

Subenfriamiento Excesivo

Causa probable:

- Circuitos de subenfriamiento en el condensador.
- Intercambiador de calor en la línea de líquido.
- Subenfriamiento mecánico, o
- una combinación de los tres (vea "Condensador de Mayor Capacidad" para complicaciones del sistema).

Solución:

- Balancee correctamente los componentes del sistema.

Distribución Deficiente a Través de los Circuitos del Evaporador

Causa probable:

- Tamaño incorrecto del distribuidor y/o del orificio.
- El líquido toma atajos a través de los pasos desigualmente cargados, estrangulando la válvula, antes de proveer suficiente refrigerante en todos los pasos.

Solución:

- Los tubos del distribuidor deben ser de igual dimensión y longitud.
- Al montar los tubos del distribuidor, deberán evitarse las trampas de líquido.

NOTA: En una carga apropiada, no deberá haber más de 3 ºC (5 ºF) de diferencia, entre dos de cualquiera de los circuitos a la entrada del cabezal.

VTE Defectuosa o Carga Equivocada en el Bulbo Sensor

Causa probable:

- Dependiendo del tipo de carga, la válvula termo expansión puede no estar alimentando lo suficiente, o estar inundando el evaporador.

Solución:

- Reemplazar junto con la válvula termo expansión y carga correctas.
- Ver "Ubicación Deficiente del Bulbo y/o del Igualador".

Interrupción de la Reducción de Presión en el Evaporador (Pump Down)

Causa probable:

- La interrupción de la reducción de presión en el evaporador, dejará refrigerante en el lado de baja (ciclo de paro). Cuando el sistema arranca, hay la posibilidad de una inundación.

Solución:

- Encuentre la causa de la interrupción. Ajuste el control para disminuir, si es necesario, el ajuste de presión de succión.

Válvulas Termo Expansión de Mayor Capacidad

Causa probable:

- Una válvula de termo expansión de mayor capacidad, da como resultado:
  a) inundación de la línea de succión, o
  b) sobrecalentamiento bajo o negativo.

Solución:

- Reemplace la válvula de termo expansión por una seleccionada correctamente, en base a la información de la sección de "VTE de Menor Capacidad".

Línea de Succión Fría, o la Ubicación del Compresor Propicia la Emigración de Líquido al Lado de Baja, Durante el Ciclo de Paro

Causa probable:

- Línea de succión fría, o la ubicación del compresor propicia la emigración de líquido al lado de baja, durante el ciclo de paro.

Solución:

- Reemplace por componentes nuevos, cuando sea necesario.

Fuga en el Asiento de la VTE, en el Asiento de la Solenoide de la Línea de Líquido, o en la Válvula de Descarga del Compresor Durante el Ciclo de Paro

Causa probable:

- Todo lo anterior, causará que el líquido busque su camino hacia el lado de baja del sistema, durante el ciclo de paro. El lado de baja se llenará con líquido, y tan pronto como el sistema arranque de nuevo, el líquido inundará el compresor.

Solución:

- Instale un sistema de control por vacío (pump down) y/o instale un calentador de cárter.

Excesivo Escarchamiento del Serpentín.

Esto conduce a una pobre distribución de aire a través del serpentín del evaporador, reduciendo el área afectiva del evaporador. Como resultado, se darán las siguientes complicaciones: transferencia de calor defectuosa - conduciendo a un escarchamiento del serpentín y reducción de la capacidad de la unidad.

Causa probable:	Solución:
• Serpentín del evaporador obstruido (desechos enfrente del ventilador o del evaporador).	• Revise, limpie y aclare el evaporador.
• Rotación del ventilador.	• Consulte "Aspas del Ventilador del Evaporador Invertidas o Girando en Sentido Opuesto".
• Excesiva humedad relativa del cuarto o cámara.	• Instale suficiente equipo de deshumidificación, reubique la unidad o verifique el uso.
• Ajuste muy bajo de la temperatura de la cámara.	• Ajuste el termostato o el regulador.
• Ajuste defectuoso o equivocado del regulador de presión del evaporador - fíjelo abajo de -2 °C (28 °F) de saturación.	• Repare, o vuelva a fijar el ajuste del regulador de presión del evaporador (RPE).
• Solenoide de deshielo por gas caliente defectuosa.	• Repare, o reemplace la solenoide de deshielo por gas caliente.
• Tiempo de deshielo inadecuado.	• Aumente el tiempo de deshielo.
• Velocidad del ventilador del evaporador ajustada muy baja.	• Aumente la velocidad del ventilador del evaporador.
• Deshielo automático inadecuado.	• Si no hay ciclo de deshielo, y la temperatura del cuarto o del espacio es de 2° a 4 °C (36° a 40 °F), es probable que la temperatura de succión saturada del serpentín sea -1 °C (30 °F) o menor. Se debe utilizar deshielo por aire: - instale relojes de deshielo. - para cuartos o gabinetes abajo de -1 °C (36 °F), la temperatura de succión saturada es de aproximadamente -3 °C (26 °F) o menor, por lo tanto, ocurrirá un escarchamiento rápido. Se requiere un sistema de deshielo positivo (por gas caliente o eléctrico).

Línea de Succión Larga y de Libre Drenaje Hacia el Compresor

Causa probable:

- Puede conducir y/o sumarse a complicaciones de inundación.

Solución:

- Siga la costumbre de un buen cálculo de tubería-use un acumulador de succión.

Ajuste Demasiado Bajo del Sobrecalentamiento de la VTE

Causa probable:

- No se utilizaron los instrumentos necesarios para fijar el ajuste inicial de sobrecalentamiento.

Solución:

- Ajuste el sobrecalentamiento al nivel deseado.
- Mida el sobrecalentamiento usando el método de presión-temperatura (vea "Medición y Ajuste del Sobrecalentamiento de Operación").

PRESION DE DESCARGA

Alta Presión de Descarga

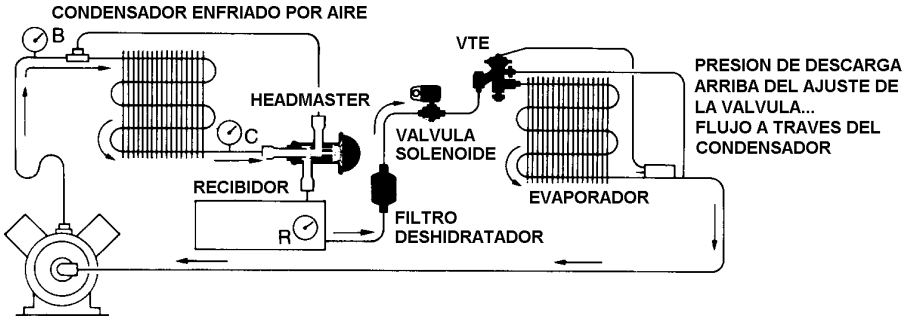
Causa probable:	Solución:
• Aire o gases no condensables en el condensador.	• Purgue los gases no condensables.
• Condensador sucio.	• Limpie el condensador.
• Poco o nada de flujo de agua.	• Revise el abastecimiento de agua, filtros y bomba.
• Agua de abastecimiento al condensador demasiado caliente.	• Revise, repare y ajuste las instalaciones de enfriamiento del agua del condensador.
• Flujo restringido de aire a través del condensador.	• Encuentre la causa del bloqueo del flujo de aire y corríjala.
• Dirección equivocada del flujo de aire a través del condensador.	• Corrija la dirección del flujo de aire.
• Tamaño incorrecto de las aspas del ventilador del condensador, del motor del ventilador o ambos.	• Seleccione de nuevo los componentes del tamaño apropiado.
• El motor del ventilador del condensador no funciona, o está girando en sentido contrario.	• Encuentre el origen del problema y corríjalo.
• El refrigerante líquido retrocedió en el condensador.	• Verifique si están defectuosas las válvulas del control de presión de condensación tipo inundado.
• Sobrecarga de refrigerante.	• Cargue al nivel adecuado (vea "Sobrecarga de Refrigerante y/o Aceite").
• Recibidor muy pequeño para el sistema de control de presión de condensación, inundado operando en el verano.	• Reemplácelo por un recibidor de líquido del tamaño apropiado.
• Interruptor de presión del ventilador descalibrado.	• Reajuste o reemplace, lo que sea necesario.
• Infiltración de aire ambiente hacia el gabinete, en una proporción mayor que sobrepasa el diseño (falta de bastidor), o los ventiladores de extracción descargan debajo en alguna parte, o cerca de la toma de aire del condensador).	• Localice el origen de la infiltración de aire y corríjala.
• Recirculación del aire del condensador.	• Cambie la dirección del flujo de aire.
• Tubería del condensador restringida (daño físico o restricción interna).	• Reemplace el condensador.
• Condiciones ambiente excediendo las de diseño.	• Reevalúe el diseño.

Falla del Sistema de Control de Presión de Condensación Tipo Inundado (Desvío Constante)

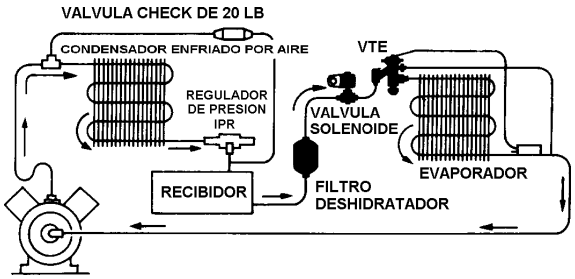
Causa probable:	Solución:
• La caída de presión a través del condensador excede 20 psi, obligando a que el puerto de desvío abra parcialmente.	• Válvula de retención (check) de desvío, en posición invertida.
• Puerto de desvío abierto, debido a material extraño entre el asiento y el disco.	• Ajuste de la presión del regulador de desvío del condensador, demasiado alto.
• Asiento del puerto de desvío, dañado o gastado.	• Cambie los tubos, o los circuitos, o el condensador completo, para reducir la caída de presión abajo de 20 psi.
• El domo (cabeza) de presión de la válvula, no corresponde al refrigerante del sistema.	

Control de Presión de Condensación Inundado para Sistemas con Condensador Enfriado por Aire

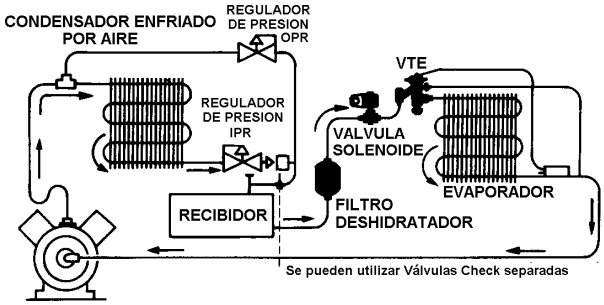
Método de una sola válvula



Método de válvula Check



Método de dos válvulas



Baja Presión de Descarga

Causa probable:	Solución:
• Aire ambiente muy frío.	• Instale un sistema de control de presión de condensación.
• Agua de abastecimiento al condensador muy fría.	• Revise, repare y ajuste las instalaciones de enfriamiento del agua del condensador.
• La cantidad de agua no fue regulada apropiadamente, a través del condensador.	• Instale o repare la válvula reguladora de agua.
• Bajo nivel de refrigerante (faltante de carga para invierno).	• Agregue el refrigerante necesario por un método de carga apropiado (vea "Sobrecarga de Refrigerante y/o Aceite").
• Los interruptores del agua y del ventilador del condensador evaporativo, no están ajustados adecuadamente.	• Reajuste los controles del condensador.
• Ventilador cicleando, o no está operando la velocidad variable.	• Verifique los ajustes de presión y del motor.
• Recibidor sin aislar en un ambiente frío, actuando como condensador.	• Aisle o caliente artificialmente el recibidor.

Falla del Sistema de Control de Presión de Condensación Inundado (Sin Desvío)

Causa probable:	Solución:
• Material extraño atorado entre el puerto del condensador y el asiento.	• Aumente artificialmente la presión de condensación, y golpee levemente el cuerpo de la válvula, para desalojar el material extraño.
• Domo de presión de la válvula, no correspondiente al sistema.	• Cambie el domo o la válvula.
• Línea de desvío de gas caliente restringida o cerrada.	• Despeje la obstrucción.
• La cabeza de poder ha perdido su carga.	• Cambie el domo o la válvula.
• Condensador o unidad de condensación de mayor capacidad.	• Reemplace por un condensador de la capacidad adecuada.
• Bajo ajuste de presión del regulador de desvío del condensador (OPR).	• Ajuste el regulador de desvío del condensador a un nivel apropiado. Normalmente se fija a 20 psi, por abajo del ajuste del regulador de presión del condensador (IPR).

Presión de Descarga Fluctuante

Causa probable:	Solución:
• Válvula reguladora de agua del condensador defectuosa.	• Reemplace la válvula reguladora de agua de condensación.
• Carga insuficiente, usualmente acompañada por la correspondiente fluctuación en la presión de succión.	• Agregue carga al sistema (vea "Sobrecarga de Refrigerante y/o Aceite").
• Cicleo del condensador evaporativo.	• Revise las tuberías rociadoras, la superficie del serpentín, los circuitos de control, sobrecargas del termostato, etc. Repare o reemplace cualquier equipo defectuoso. Limpie cualquier tobera tapada, superficie del serpentín, etc.
• Abastecimiento de agua de enfriamiento al condensador es inadecuado o fluctuante.	• Revise la válvula reguladora de agua y repárela, o reemplácela si está defectuosa. Revise el circuito del agua por si hay restricciones.
• Ventilador de enfriamiento para el condensador está cicleando.	• Determine las causas por las que ciclea el ventilador y corríjalas.
• Controles de presión de descarga están fluctuando, en condensadores enfriados por aire en ambiente bajo.	• Ajuste, repare o reemplace los controles.
• Ventiladores cicleando basados en interruptores de presión.	• Normal para la operación de cicleo del ventilador. Para eliminarlo, fije el cicleo del ventilador en la temperatura ambiente del aire. Use velocidades del ventilador variables, o un sistema de control de presión de condensación (pero, no los dos juntos).

PRESION DE SUCCION

Alta Presión de Succión - Alto Sobrecalentamiento (Salida del Evaporador)

Causa probable:	Solución:
• Sistema desbalanceado, la carga excede las condiciones de diseño.	• Balancear los componentes del sistema, para los requerimientos de carga necesarios.
• Fuga en la válvula de descarga del compresor.	• Repare o reemplace la válvula.
• Fuga en la válvula solenoide del deshielo por gas caliente, o en la válvula de desvío del gas caliente.	• Revise y reemplace, si se requiere, las válvulas de desvío del gas caliente.
• Regulador de desvío del gas caliente conectado directamente a la succión, sin una válvula termo expansión de inyección de líquido.	• Instale una termo válvula de inyección de líquido LCL de ALCO, del tamaño apropiado.

Alta Presión de Succión - Bajo Sobrecalentamiento (Salida del Evaporador)

Causa probable:	Solución:
• Válvula de expansión de mayor capacidad.	• Reemplace con una válvula de expansión de la capacidad correcta.
• Aguja y el asiento de la válvula de expansión estrangulados, erosionados o mantenidos abiertos por algún material extraño, dando como resultado una inundación de líquido.	• Limpie o reemplace las partes dañadas, o reemplace la válvula. Instale un filtro-deshidratador TD sellado o TD recargable de bloques desecantes de VALYCONTROL, para remover el material extraño del sistema.
• Diafragma o fuelle rotos en una válvula de expansión de presión constante (automática), dando como resultado una inundación de líquido.	• Reemplace el elemento de poder de la válvula.
• Línea del igualador externo obstruida, o la conexión del igualador externo tapada, sin haberle proporcionado un ensamble o cuerpo nuevo con igualador interno.	• Si el igualador externo está obstruido, repárelo o reemplácelo. De otra manera, reemplace con una válvula que tenga el igualador correcto.
• Válvula con humedad congelada en posición abierta.	• Aplique calor a la válvula para fundir el hielo. Instale un TD sellado o un TD recargable de VALYCONTROL, para asegurar un sistema libre de humedad.
• Fuga en el empaque del vástago de la válvula (para fugas grandes vea "Deficiente Ubicación del Bulbo y del Igualador").	• Reemplace la válvula de Termo Expansión, o reemplace el ensamble en una termo válvula de la serie «Take-A-Part» de ALCO.
• Ajuste muy bajo del sobrecalentamiento de la válvula.	• Aumente el ajuste de sobrecalentamiento de la válvula, al nivel deseado (girando el vástago en el sentido de las manecillas del reloj).
• Fuga de la línea de líquido en el intercambiador de calor de succión.	• Intercambiador de calor de líquido a la succión, defectuoso (puede no ser necesario, revise los requerimientos).
• Unidad saliendo del ciclo de deshielo.	• Normal, deje que se equilibre el sistema. Consulte "Medición y Ajuste del Sobrecalentamiento en Operación".

NOTA: En un sistema de evaporadores múltiples, la sobrealimentación de cualquiera de las válvulas, puede causar una alta presión de succión común, suponiendo que todos los reguladores de presión de evaporación (EPR) están totalmente abiertos.

4.3 Baja Presión de Succión - Alto Sobrecalentamiento (Salida del Evaporador)

Causa probable:	Solución:
• Insuficiente refrigerante en el evaporador.	• Vea sección 1 en alto sobrecalentamiento.

Baja Presión de Succión - Bajo Sobrecalentamiento (Salida del Evaporador)

Causa probable:	Solución:
• Condición de carga ligera.	• Apague algunos compresores, instale un desvío de gas caliente. Descargue los compresores. Baje las revoluciones (rpm) del compresor. Revise el flujo del proceso.
• Distribución deficiente a través del evaporador, causando que el líquido corte camino a través de pasos beneficiados. A plena carga, no deberá haber una diferencia mayor de 3 °C (5 °F) en el sobrecalentamiento, entre dos de cualquiera de los circuitos al entrar al cabezal.	• Sujete el bulbo remoto del elemento de poder a la línea de succión, que tenga drenaje libre. Limpie completamente la línea de succión, antes de sujetar el bulbo en su lugar. Instale un distribuidor de refrigerante de tamaño adecuado. Equilibre la distribución de carga del evaporador (esto es, revise el flujo de aire sobre la superficie completa del serpentín).
• Compresor de mayor capacidad, evaporador de menor capacidad.	• Balancee los componentes a los requerimientos de la carga.
• Carga del evaporador desigual o inadecuada, debido a una distribución deficiente de aire o de flujo de salmuera.	• Equilibre la distribución de carga del evaporador, proporcionando una adecuada distribución de aire o salmuera.
• Filtros del evaporador sucios.	• Limpie los filtros.
• Formación de hielo en el serpentín.	• Revise, reajuste o reemplace los controles de deshielo.
• Enfriador de líquido congelado o con sarro.	• Revise las válvulas de control para un ajuste apropiado.
• Bajo flujo de agua a través del enfriador de líquido.	• Limpie los filtros, balancee el flujo de agua, revise la bomba.
• Excesiva acumulación de aceite en el evaporador.	• Modifique la tubería de succión para aumentar la velocidad del gas para proporcionar un adecuado retorno de aceite, o instale un separador de aceite de VALYCONTROL si se requiere.

Presión de Succión Fluctuante

Causa probable:	Solución:
• Ajuste incorrecto del sobrecalentamiento.	• Vea "Medición y Ajuste del Sobrecalentamiento".
• Ubicación o instalación inadecuada del bulbo remoto.	• Sujete el bulbo remoto a la línea de succión que tenga drenaje libre. Limpie la línea de succión completamente, antes de sujetar el bulbo en su lugar. (Vea "Deficiente Ubicación del Bulbo y del Igualador").
• «Inundación» de refrigerante líquido, causada por un dispositivo de distribución de líquido pobremente diseñado, o por carga desigual al evaporador.	• Reemplace el distribuidor defectuoso (debe ser del tamaño apropiado). Si la carga en el evaporador es desigual, instale dispositivos de distribución de carga adecuados, para balancear la velocidad del aire sobre los serpentines del evaporador.
• Líneas de igualador externo conectadas a un punto común, aunque hay más de una válvula de expansión en el mismo sistema.	• Cada válvula deberá tener su propia línea igualadora por separado, yendo directamente a la salida de su propio evaporador, para asegurar una respuesta operacional apropiada. Para un ejemplo, vea la figura 6.
• Regulador de agua de condensación defectuoso.	• Reemplace el regulador de agua de condensación.
• Condensador evaporativo cicleando, causando un cambio radical en la diferencia de presión a través de la válvula de expansión. Cicleo de los ventiladores o bombas de salmuera.	• Revise las tuberías rociadoras, la superficie del serpentín, los circuitos de control, sobrecargas de los termostatos, etc. Repare o reemplace cualquier equipo defectuoso. Limpie las tuberías obstruidas, las superficies de los serpentines, etc.
• Línea del igualador externo restringida.	• Despeje la obstrucción o reemplace la línea del igualador.
• Ventilador del condensador cicleando, basado en los ajustes de los interruptores de fuerza.	• Es normal para una operación de cicleo del ventilador. Para eliminarlo, fije el cicleo del ventilador en la temperatura del aire ambiente con la presión castigada. O, use un ventilador de velocidad variable, o un sistema de control de presión de condensación inundado (pero no juntos estos dos últimos).
• Válvula termo expansión de mayor capacidad.	• Consulte "VTE de Menor Capacidad" sobre el método apropiado de seleccionar una válvula termo expansión.
• Válvula reguladora de presión defectuosa o de mayor tamaño.	• Repare o vuelva a seleccionar e instale una válvula reguladora de presión.
• Compresores cicleando - paquetes de compresores múltiples.	• Esto es normal.

MISCELANEO

El Compresor Arranca, pero el Protector de Sobrecarga Detiene el Motor

Causa probable:	Solución:
• Excesiva presión de succión (vea "Alta Presión de Succión").	• Instale una válvula reguladora de presión de salida (OPR), o una válvula termo expansión con Presión de Operación Máxima (MOP) de ALCO. • Descargue los compresores al arranque. Use descargadores de intervalos, si los hay.
• Excesiva presión de descarga (vea "Alta Presión de Descarga").	• Revise si hay daño mecánico, revise la temperatura de los cojinetes del motor y del compresor, lubrique los cojinetes del motor.
• Cojinetes apretados o daño mecánico en el compresor.	• Determine la razón y corrija.
• Bajo voltaje de línea.	• Encuentre el origen del error y corríjalo.
• Mal conectado.	• Determine la razón y corrija.
• Capacitor de arranque o relevadores defectuosos.	• Determine la razón y corrija.
• Protector de sobrecarga defectuoso.	• Reemplace el protector de sobrecarga, si está «en línea», entonces reemplace el compresor.
• Devanados del motor en corto circuito o aterrizados.	• Reemplace el compresor. Utilice filtros-deshidratadores VALYCONTROL para la línea de líquido y succión, y siga un procedimiento de limpieza. Consulte el capítulo 11, «limpieza de sistemas después de una quemadura del motocompresor».

La Unidad Arranca, pero Periódicamente Para y Arranca

Causa probable:	Solución:
• Paro por alta presión. a) Condensador sucio. b) Excesiva carga de refrigerante en un sistema sin recibidor. c) Alta presión de succión (vea "Alta Presión de Succión"). d) Alto/bajo voltaje, alto amperaje en abastecimiento trifásico, voltaje desbalanceado.	• Encuentre el origen del problema y tome acción correctiva.
• Paro por baja presión. a) Bajo flujo de refrigerante (vea "ALTO SOBRECALENTAMIENTO"). b) Bajo flujo de aire a través del evaporador. c) Temperatura exterior baja en un condensador enfriado por aire. d) Carga parcial, baja humedad, etc. sin un control de capacidad. e) Aire de descarga del evaporador recirculando. f) Fuga en la solenoide de la línea de líquido durante el ciclo de paro. g) Fuga en la válvula del compresor durante el ciclo de paro. h) Sistema con baja carga de refrigerante. i) Problemas con la válvula termo expansión.	• Encuentre el origen del problema y tome acción correctiva.
• Recibidor sin aislamiento, expuesto a baja temperatura ambiente.	• Aisle y/o caliente artificialmente el recibidor.

La Unidad Trabaja Continuamente - La Capacidad es Adecuada, el Enfriamiento es Inadecuado

Causa probable:	Solución:
• Carga muy alta, ¿ha habido algún aumento reciente a la carga de diseño (producto, gente, equipo, etc.)?	• Escoja una unidad de condensación con la capacidad incrementada, para igualar los requerimientos de carga, o reduzca la carga.
• Baja carga de refrigerante.	• Repare la fuga y cargue.
• Bajo flujo de refrigerante, debido a restricciones en la línea de líquido (vea "Gas Instantáneo en la Línea de Líquido" y "Diseño Inadecuado de Tubería").	• Revise y repare el problema de alimentación de líquido.
• Circuito de control defectuoso, puede haber controles de baja presión o control de capacidad.	• Determine la falla y corrija.
• Serpentín del evaporador escarchado o sucio (vea "Subenfriamiento Excesivo").	• Revise y repare el sistema de deshielo, limpie el evaporador y/o los desagües.
• El espacio refrigerado o acondicionado, tiene una carga excesiva o aislamiento defectuoso.	• Determine la falla y corrija.
• Condensador sucio.	• Limpie el condensador.
• Filtros tapados.	• Limpie o reemplace los filtros.
• Válvula de desvío de gas caliente o carga falsa, atorados.	• Revise, repare o reemplace.
• Fuga en la válvula del compresor.	• Verifique las presiones del lado de alta y de baja (una válvula que fuga, no sería capaz de desarrollar presiones de descarga o succión adecuadas).
• Válvula termo expansión de menor capacidad.	• Vea "VTE de Menor Capacidad" para un procedimiento de selección de válvulas termo expansión adecuado.
• Regulador de presión de evaporación defectuoso o ajuste de presión demasiado alto	• Reemplace el regulador de presión de evaporación, o reajuste la presión donde sea necesario.

.

La Unidad no Arranca

Solución:

• Revise los controles de presión, cargas, relevadores y capacitores. Revise el suministro de corriente. Revise los interruptores de circuito. Revise los fusibles (¿Tamaño correcto?), si están fundidos encuentre la causa. Revise el termostato (¿Hace contacto? ¿Algún alambre suelto?).

Controles Defectuosos

Solución:

• Verifique el tamaño del transformador del circuito de control. ¿Hace contacto? ¿Se atoró y quedó abierto? Revise las conexiones de terminales y contactores.

Alto Consumo de Amperaje

Causa probable:

- Excesiva carga del sistema.
- Capacitor defectuoso.
- Alto o bajo voltaje.
- Cableado incorrecto.
- Compresor apretado.
- Contactos quemados.
- Calibre de cable utilizado en las conexiones, menor al requerido.
- En trifásico, abastecimiento de voltaje fuera de balance.

Pérdida de Aceite, Pérdida de Presión de Aceite o Control de Presión de Aceite Botado

Causa probable:	Solución:
• Insuficiente aceite en el sistema.	• Agregue aceite, de acuerdo a las especificaciones de operación del fabricante.
• Diámetro muy grande de la tubería de succión.	• Revise el diámetro de las líneas a las condiciones de diseño, y cambie la tubería si está incorrecta.
• Insuficientes trampas en la línea de succión.	• Instale una trampa P de succión en la tubería vertical, de acuerdo a las especificaciones del fabricante.
• Sobrecalentamiento en la succión muy alto.	• Ajuste el sobrecalentamiento.
• Falta de separador de aceite en sistemas operando abajo de -34 ºC de succión.	• Instale un separador de aceite VALYCONTROL.
• Baja carga de refrigerante.	• Agregue refrigerante.
• Regreso al compresor de refrigerante líquido (inundación).	• Ajuste el sobrecalentamiento mínimo 11 ºC en el compresor. (Consulte al fabricante del compresor para el sobrecalentamiento mínimo).
• Línea de succión al intercambiador de calor de líquido, está rota.	• Reemplace el intercambiador de calor.
• Calentador de cárter quemado.	• Reemplace el calentador de cárter.
• Serpentín del evaporador escarchado (vea "Excesivo Escarchamiento del Serpentín)).	• Limpie el serpentín del evaporador.
• Distribuidor y/o válvula de expansión demasiado grande (dilusión de aceite creando «espumado» en el cárter - pérdida de presión de aceite).	• Revise el tamaño a las condiciones de diseño, y cámbielo, si está incorrecto.
• Alimentación de refrigerante líquido a través del separador de aceite.	• Revise el calentador del separador de aceite.
• No están operando los motores de los ventiladores del evaporador.	• Revise los motores de los ventiladores y reemplácelos, si es necesario.
• Bomba de aceite defectuosa.	• Reemplace la bomba de aceite.
• Filtro de entrada de la bomba de aceite, tapado.	• Limpie el filtro de la bomba de aceite.
• Cojinetes, bomba o compresor gastados.	• Reemplace los cojinetes, bomba o el compresor.
• Control de presión de aceite disparado, debido a paros y arranques continuos del compresor.	• Revise los ajustes de los controles de alta y baja presión. Revise la carga de refrigerante. Revise si hay no condensables. Revise si están sucios los condensadores. Reemplace los motores quemados del condensador.
• Voltaje muy alto en el control, causando un disparo prematuro.	• Ajuste el control de voltaje para corregir el voltaje.
• Control de presión de aceite defectuoso.	• Reemplace el control de presión de aceite.
• Sobrecarga del compresor defectuoso.	• Reemplace la sobrecarga del compresor.
• Control de presión de aceite mal conectado.	• Revise el cableado y corrija, si es necesario.

Capítulo 15

SISTEMAS DE UNIDADES, FACTORES DE CONVERSION E INFORMACION TECNICA

Introducción

En toda actividad realizada por el ser humano, hay la necesidad de medir "algo"; ya sea el tiempo, distancia, velocidad, temperatura, volumen, ángulos, potencia, etc.

Todo lo que sea medible, requiere de alguna unidad con qué medirlo, ya que la gente necesita saber qué tan lejos, qué tan rápido, qué cantidad, cuánto pesa, etc., en términos que se entiendan, que sean reconocibles, y que se esté de acuerdo con ellos.

Para esto, fue necesario crear unidades de medición, las cuales en la antigüedad eran muy rudimentarias (codos, leguas, barriles, varas, etc.), y variaban de una región a otra. Algunas de estas unidades aún se siguen usando y conservando su nombre original.

En los últimos tres siglos de la historia de la humanidad, las ciencias han tenido su mayor desarrollo, y éste ha sido más vertiginoso de finales del siglo XIX a la fecha. Las unidades de medición tenían bases más científicas, y para efectuar cálculos matemáticos, hubo necesidad de agruparlas. Así se originaron los sistemas de unidades. Era (y sigue siendo) común, que a las unidades se les diera el nombre del científico que las descubría o inven-taba.

Para evitar variaciones en el valor o magnitud de una unidad de un lugar a otro o de un tiempo a otro, fue necesario fijar patrones o puntos de referencia, para que basándose en dichos criterios, la unidad tuviera el mismo valor en cualquier lugar que se utilizara. Conforme ha avanzado el tiempo, algunos puntos de referencia de algunas unidades han cambiado (pero no la unidad), siempre tratando de buscar más precisión. Por ejemplo, la unidad de longitud del Sistema Métrico Decimal, el metro (m.), originalmente se definía como la diezmillonésima parte de la longitud del cuadrante del meridiano del polo norte al ecuador, que pasa por París. Sin embargo, posteriormente se definió como la distancia entre dos marcas, hechas en una barra metálica de una aleación de platino e iridio, mantenida a una temperatura de 0ºC, graduada en el museo de Sèvres en Francia. Actualmente, la longitud de un metro se define, de una manera más precisa e invariable que antes, como igual a 1'650,763.73 longitudes de onda en el vacío del kriptón 86, excitado eléctricamente.

Aritmética Básica

Como ya sabemos, las operaciones aritméticas básicas se representan por los símbolos siguientes:

+ más o suma. Ejemplo: 2 + 5 = 7.

= igual a o mismo valor.

- menos o resta. Ejemplo: 6 - 4 = 2.

x multiplicación. Ejemplo: 2 x 4 = 8.

÷ división. Ejemplo: 6 ÷ 2 = 3.

· multiplicación. Ejemplo: 2 · 4 = 8.

() paréntesis; las operaciones dentro de paréntesis se hacen primero. Ejemplo: (7-2) + 4 = 5 + 4 = 9.

$()^2$ cuadrado; significa que el número dentro del paréntesis, se debe multiplicar por sí mismo (elevar al cuadrado). Se puede hacer sin paréntesis. Ejemplo: $(3)^2 = 3^2 = 3 \times 3 = 9$.

$()^3$ cubo; significa que el número dentro del paréntesis, se debe multiplicar dos veces por sí mismo (elevar al cubo). Se puede hacer sin paréntesis. Ejemplo: $(3)^3 = 3^3 = 3 \times 3 \times 3 = 27$.

a/b significa una división; el número de arriba "a" se va a dividir entre el número de abajo "b". Ejemplo: Si "a" = 8 y "b" = 2, a/b = 8/2 = 8 ÷ 2 = 4.

△ (delta), significa una diferencia. Ejemplo: △T = diferencia de temperaturas.

La mayoría de los cálculos incluyen el uso de unidades básicas. Estas se expresan en dígitos. En la relación 9 x 3 = 27, 9 y 3 son dígitos y 27 está formado por dos dígitos, 2 y 7. En la mayoría de los sistemas de unidades, como el métrico, la unidad básica es 1 y los dígitos múltiplos (mayores de la unidad) y sub múltiplos (menores de la unidad), están sobre la base de 10 (decimal). Por ejemplo, si el dígito 1 lo multiplicamos por 10, será 10; cada multiplicación subsecuente por 10 será 100; 1,000; 10,000; 100,000 y así sucesivamente. Si la unidad se divide entre 10, será 0.1 y cada división subsecuente será 0.01; 0.001; 0.0001 y así sucesivamente.

Cada nivel de multiplicación o división tiene un nombre; por ejemplo los múltiplos de la unidad:

símb.	*prefijo*	*cantidad*	*ejemplo*
D	= deca	= 10	Decámetro
H	= hecta	= 100	Hectólitro
K	= kilo	= 1,000	Kilogramo
M	= mega	= 1'000,000	Mega ohm
G	= giga	= 1,000,000,000	Gigabyte
T	= tera	= 1,000,000,000,000	

Y los submúltiplos de la unidad:

d	= deci	= 0.1	decímetro
c	= centi	= 0.01	centígrado
M	= mili	= 0.001	mililitro
µ	= micro	= 0.000001	micrón
n	= nano	= 0.000000001	nanofaradio
p	= pico	= 0.000000000001	

En algunos cálculos, es difícil trabajar con cantidades que utilizan muchos ceros, ya sea a la derecha o a la izquierda del punto decimal. En estos casos se puede emplear un número especial llamado "potencia de diez" para expresar estos tipos de cantidades.

"Potencia de diez", significa que el número 10 se multiplica por sí mismo, el número deseado de veces para obtener el número de ceros requeridos. El número de veces que 10 se debe de multiplicar por sí mismo, se muestra por un pequeño número arriba y a la derecha del número 10. Este número también se llama "exponente", y se utiliza como se muestra a continuación:

Para números mayores que la unidad:

$10^1 = 10$ ó (10)

$10^2 = 100$ ó (10 x 10)

$10^3 = 1000$ ó (10 x 10 x 10)

$10^6 = 1'000,000$ ó (10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10) etc.

Así por ejemplo, para indicar 540,000 se puede expresar 5.4×10^5.

Para números menores que uno:

$10^{-1} = 0.1$ ó (0.10)

$10^{-2} = 0.01$ ó (0.10 x 0.10)

$10^{-3} = 0.001$ ó (0.10 x 0.10 x 0.10)

$10^{-6} = 0.000001$ ó (0.10 x 0.10 x 0.10 x 0.10 x 0.10 x 0.10)

etc...

Así por ejemplo, para indicar 0.00072 se puede expresar 7.2×10^{-4}.

Redondeo de Números

En cálculos de refrigeración, no es frecuente el uso de fracciones (o decimales) de la unidad, sobre todo cuando no se requiere tanta precisión. En estos casos, cuando el decimal es menor de cinco, se redondea el número ignorando la fracción decimal. Cuando la fracción es 5 o mayor, se redondea al siguiente número más grande. Por ejemplo: 27.3 se redondea a 27 y 27.5 a 28.

Sistemas de Unidades

Desde que el científico inglés ISAAC NEWTON (1642-1727) estableció el trascendental enunciado de que sobre la tierra y en su vecindad inmediata, la aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza resultante que actúa sobre el mismo, e inversamente proporcional a su masa (a = F/m), desde entonces, los sistemas de unidades han sido basados en esto.

Antes de este enunciado, las unidades no estaban agrupadas. Las unidades de longitud eran el metro, el pie y sus múltiplos y submúltiplos; las unidades de tiempo son el segundo, minuto, hora, día, etc. No existían los sistemas de unidades bien definidos como los conocemos ahora. Analizando la ecuación de la segunda ley de Newton, podemos expresarla también como F = ma, y así, podemos decir que una unidad de fuerza (F) es producida por una unidad de aceleración (a), sobre un cuerpo que tiene una masa (m) de una unidad. Esto es muy simple aunque suene complicado; pero, ¿cómo denominaremos a esas unidades de aceleración, de masa y de fuerza? Primeramente, definiremos un sistema de unidades como sistema de unidades compatibles y de proporción constante, con la segunda ley de Newton.

Partiendo de esta definición, un sistema de unidades debe tener unidades compatibles con la masa y la fuerza. Así, si medimos la masa en kilogramos y la aceleración en m/seg², entonces la fuerza tendrá las siguientes unidades:

$$F = ma = kg \times \frac{m}{seg^2} = \text{Newton (N)}$$

Si utilizamos unidades inglesas:

$$F = ma = lb \times \frac{pie}{seg^2} = \text{poundal}$$

Las unidades de la fuerza son, pues, una combinación de las unidades fundamentales, y como se puede observar, deben ser compatibles; no se combinan kilogramos con pies, ni libras con metros. Así pues, se formaron los primeros sistemas de unidades. Curiosamente, a la unidad de fuerza en el sistema métrico se le llamó Newton, en honor a este científico inglés, y la unidad de fuerza en el sistema inglés se llama poundal.

Sistema Inglés - Es el sistema que tiene como base el pie (ft), la libra (lb) y el segundo (seg). El sistema inglés no es un sistema decimal como el métrico, sino que sus unidades están basadas en múltiplos y submúltiplos de 8 y de 12. Ejemplo: 1 pie = 12 pulgadas; 1 yarda = 3 pies = 36 pulgadas; 1 galón = 4 cuartos = 8 pintas; 1 libra = 16 onzas; etc. Se originó en Inglaterra, y actualmente se usa en algunos países en los que se impuso, por ser estos conquistados o colonizados por los ingleses. Aunque estos países son una minoría, tiene una difusión grande y una fuerte influencia, sobre todo en Asia y en América. En el caso particular de nuestro país, donde el sistema oficial es el Métrico Decimal, existe una gran influencia del sistema inglés por la cercanía con Estados Unidos, donde se usa el sistema inglés. Esta influencia se debe principalmente a la importación de tecnología y literatura.

Este sistema tiende a desaparecer, ya que se creó un sistema de unidades basado en el sistema métrico, y que se pretende que sea el único que se use en el mundo (ver Sistema Internacional). En Estados Unidos se adoptó desde hace unos 20 años, pero el proceso de cambio obviamente se va a llevar algunos años más.

CANTIDAD O "DIMENSION"	UNIDAD	SIMBOLO
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Corriente eléctrica	ampere	A
Temperatura	kelvin*	K
Cantidad de sustancia	mol	mol
Intensidad luminosa	candela	cd
Angulo plano	radian	rd
Angulo sólido	steradian	sr

* Aunque el grado Kelvin es la unidad de temperatura absoluta oficial en el SI, se permite el uso de grados centígrados o Celsius (°C). K= °C + 273.15 .

Tabla 15.1 - Unidades básicas del Sistema Internacional.

Otras unidades del sistema inglés son: ºF, btu, hp, el galón, psi, etc. y los múltiplos y submúltiplos de:

pie: milla, rod, fathom, yarda y pulgada.

libra: tonelada, onza y grano.

galón: bushel, peck, cuarto, pinta, gill, onza, dram, y minim.

Sistema Métrico Decimal - Tiene como unidades básicas el kilogramo (kg), el metro (m) y el segundo (seg). Al sistema métrico se le llama decimal, porque algunas unidades son en base del 10, como el metro y el kilogramo. Hasta hace poco, era el sistema de unidades más ampliamente utilizado en todo el mundo, incluyendo nuestro país, donde era el sistema de unidades oficial. Decimos que "era", porque también se tiene que adoptar el Sistema Internacional, como ya lo han hecho muchos otros países. Ya que se tiene que hacer este cambio, las otras unidades del sistema métrico se mencionarán en el sistema internacional, ya que algunas son las mismas y otras son muy parecidas, puesto que son derivadas de las mismas unidades básicas.

Sistema Internacional (SI) - Le Système International d'Unitès, es un sistema de unidades que se pretende se utilice en todos los países del mundo, para uniformar los conceptos y que desde el punto de vista técnico, se hable el mismo lenguaje.

En la actualidad, en casi todos los países europeos es obligatorio el uso del SI, pero todavía faltan muchos países por adoptarlo.

Las unidades básicas en el SI son el metro (m), el kilogramo (kg) y el segundo (s), entre otras.

CANTIDAD	UNIDAD	SIMBOL	FORMUL
Frecuencia	Hertz	Hz	1/s
Fuerza	Newton	N	kg·m/s²
Presión (esfuerzo)	Pascal	Pa	N/m²
Energía, trabajo, calor	Joule	J	N·m
Potencia	Watt	W	J/s
Carga eléctrica	Coulomb	C	A·s
Potencial eléctrico (fem)	Volt	V	W/A
Capacitancia	Farad	F	C/V
Resistencia eléctrica	Ohm	Ω	V/A
Conductancia	Siemens	S	A/V
Flujo magnético	Weber	Wb	V·s
Densidad del flujo mag.	Tesla	T	Wb/m²
Inductancia	Henry	H	Wb/A
Flujo luminoso	Lumen	lm	cd·sr
Iluminancia	Lux	Ix	lm/m²

Tabla 15.2a - Unidades derivadas del SI las cuales tienen nombres especiales.

En las tablas 15.1, 15.2a y 15.2b, se presenta una lista completa de las unidades del SI. En las demás tablas, se muestran los factores de conversión de las unidades del sistema inglés y del sistema métrico "antiguo" al Sistema Internacional y viceversa.

CANTIDAD	UNIDAD	SIMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD	SIMBOLO
Aceleración lineal	metro por segundo cuadrado	m/s^2	Permeabilidad	henry por metro	H/m
Aceleración angular	radián por segundo cuadrado	rad/s^2	Energía específica	joule por kilogramo	J/kg
Area	metro cuadrado	m^2	Entropía específica	joule por kilogramo - kelvin	J/kg·K
Concentración	mol por metro cúbico	mol/m^3	Volúmen específico	metro cúbico por kilogramo	m^3/kg
Densidad de corriente	ampere por metro cuadrado	A/m^2	Tensión superficial	newton por metro	N/m
Densidad, masa	kilogramo por metro cúbico	kg/m^3	Conductividad térmica	watt por metro - kelvin	W/m·K
Densidad de carga eléctrica	coulomb por metro cúbico	C/m^3	Velocidad lineal	metro por segundo	m/s
Densidad de flujo eléctrico	coulomb por metro cuadrado	C/m^2	Velocidad angular	radián por segundo	rad/s
Entropía	joule por kelvin	J/K	Viscosidad dinámica	pascal - segundo	Pa·s
Capacidad calorífica	joule por kelvin	J/K	Viscosidad cinemática	metro cuadrado por segundo	m^2/s
Fuerza de campo magnético	ampere por metro	A/m	Volúmen	metro cúbico	m^3
Momento de fuerza	newton - metro	N·m	Capacidad calorífica específica	joule por kilogramo - kelvin	J/kg·K

Tabla 15.2b - Unidades comunes derivadas del SI.

Abreviaturas y Símbolos de Unidades

A continuación se listan en orden alfabético, las abreviaturas y símbolos de las unidades del sistema métrico y del sistema inglés; ya que las del Sistema Internacional de Unidades (SI), son las que se indican en las tablas 15.1, 15.2a y 15.2b.

atm	atmósfera	hp	horse power		lb/in²	libras por pulgada cuadrada
brit	británico	in	pulgada (inch)		m	metros
btu	british thermal unit	in²	pulgada cuadrada		mi	millas
btu/ft³	btu por pie cúbico	in³	pulgada cúbica		mi/h	millas por hora
btu/lb	btu por libra	in Hg	pulgadas de mercurio		mi/min	millas por minuto
°C	grado Celsius (centígrado)	in³/lb	pulgadas cúbicas por libra		mi naut	milla náutica
cal	caloría	kcal	kilocaloría		min	minutos
cc	centímetros cúbicos = cm³=ml	kcal/kg	kilocaloría por kilogramo		ml	mililitro =cc = cm³ (de líquido)
cm	centímetro	kcal/m³	kilocaloría por metro cúbico		mm	milímetros
cm²	centímetro cuadrado	kg	kilogramo		mm Hg	milímetros de mercurio
cm³	centímetro cúbico	kg/cm²	kilogramo por centímetro cuadrado		m³/s	metros cúbicos por segundo
cm³/g	centímetros cúbicos por gramo	kg/h	kilogramo por hora		oz	onza (avoirdupois)
cSt	centiStoke	kg f	kilogramo fuerza		oz t	onza troy
cv	caballo de vapor (métrico)	kg/m²	kilogramo por metro cuadrado		psi	libras por pulgada cuadrada
d gal	galón seco	kg/m³	kilogramo por metro cúbico		psia	libras por pulg² absoluta
dm	decímetro	kg/s	kilogramos por segundo		psig	libras por pulg² manométrica
°F	grado fahrenheit	km	kilometros		qt	cuarto (de galón)
ft	pies (feet)	km²	kilometros cuadrados		s	segundo
ft²	pies cuadrados	km/h	kilometros por hora		St	Stoke
ft³	pies cúbicos	l	litros		ton	tonelada
ft³/lb	pies cúbicos por libra	l/kg	litros por kilogramo		Torr	Torricelli = mm Hg
g	gramo	l/min	litros por minutos		T.R.	ton de refrigeración standard comercial
gal	galón	lb	libras		U.S.A	estadounidense

Tabla 15.3 - Abreviaturas y símbolos.

Temperatura

La temperatura, es una propiedad que mide la intensidad o nivel de calor de una sustancia. La temperatura no debe confundirse con el calor, ya que la temperatura no mide la cantidad de calor en una sustancia, sólo nos indica qué tan caliente o qué tan fría está esa sustancia.

La temperatura debe designarse en forma más precisa con referencia a una escala. El instrumento para medir la temperatura se llama termómetro; el más común, es el que se basa en la expansión uniforme de un líquido dentro de un tubo de vidrio sellado. Este tubo tiene en el fondo un bulbo donde se aloja el líquido (mercurio o alcohol).

°C		°F	°C		°F	°C		°F	°C		°F	°C		°F
-73	**-100**	-148	-18.9	**-2**	28.4	10.6	**51**	123.8	40.0	**104**	219.2	56.1	**133**	271.4
-68	**-90**	-130	-18.3	**-1**	30.2	11.1	**52**	125.6	40.6	**105**	221.0	56.7	**134**	273.2
-62	**-80**	-112	-17.8	**0**	32.0	11.7	**53**	127.4	41.1	**106**	222.8	57.2	**135**	275.0
-57	**-70**	-94	-17.2	**1**	33.8	12.2	**54**	129.2	41.7	**107**	224.6	57.8	**136**	276.8
-51	**-60**	-76	-16.7	**2**	35.6	12.8	**55**	131.0	42.2	**108**	226.4	58.3	**137**	278.6
-45.6	**-50**	-58.0	-16.1	**3**	37.4	13.3	**56**	132.8	42.8	**109**	228.2	58.9	**138**	280.4
-45.0	**-49**	-56.2	-15.6	**4**	39.2	13.9	**57**	134.6	43.3	**110**	230.0	59.4	**139**	282.2
-44.4	**-48**	-54.4	-15.0	**5**	41.0	14.4	**58**	136.4	43.9	**111**	231.8	60.0	**140**	284.0
-43.9	**-47**	-52.6	-14.4	**6**	42.8	15.0	**59**	138.2	44.4	**112**	233.6	60.6	**141**	285.8
-43.3	**-46**	-50.8	-13.9	**7**	44.6	15.6	**60**	140.0	45.0	**113**	235.4	61.1	**142**	287.6
-42.8	**-45**	-49.0	-13.3	**8**	46.4	16.1	**61**	141.8	45.6	**114**	237.2	61.7	**143**	289.4
-42.2	**-44**	-47.2	-12.8	**9**	48.2	16.7	**62**	143.6	46.1	**115**	239.0	62.2	**144**	291.2
-41.7	**-43**	-45.4	-12.2	**10**	50.0	17.2	**63**	145.4	46.7	**116**	240.8	62.8	**145**	293.0
-41.1	**-42**	-43.6	-11.7	**11**	51.8	17.8	**64**	147.2	47.2	**117**	242.6	63.3	**146**	294.8
-40.6	**-41**	-41.8	-11.1	**12**	53.6	18.3	**65**	149.0	47.8	**118**	244.4	63.9	**147**	296.6
-40.0	**-40**	-40.0	-10.6	**13**	55.4	18.9	**66**	150.8	48.3	**119**	246.2	64.4	**148**	298.4
-39.4	**-39**	-38.2	-10.0	**14**	57.2	19.4	**67**	152.6	48.9	**120**	248.0	65.0	**149**	300.2
-38.9	**-38**	-36.4	-9.4	**15**	59.0	20.0	**68**	154.4	49.4	**121**	249.8	65.6	**150**	302.0
-38.3	**-37**	-34.6	-8.9	**16**	60.8	20.6	**69**	156.2	50.0	**122**	251.6	66.1	**151**	303.8
-37.8	**-36**	-32.8	-8.3	**17**	62.6	21.1	**70**	158.0	50.6	**123**	253.4	66.7	**152**	305.6
-37.2	**-35**	-31.0	-7.8	**18**	64.4	21.7	**71**	159.8	51.1	**124**	255.2	67.2	**153**	307.4
-36.7	**-34**	-29.2	-7.2	**19**	66.2	22.2	**72**	161.6	51.7	**125**	257.0	67.8	**154**	309.2
-36.1	**-33**	-27.4	-6.7	**20**	68.0	22.8	**73**	163.4	52.2	**126**	258.8	68.3	**155**	311.0
-35.6	**-32**	-25.6	-6.1	**21**	69.8	23.2	**74**	165.2	52.8	**127**	260.6	68.9	**156**	312.8
-35.0	**-31**	-23.8	-5.6	**22**	71.6	23.9	**75**	167.0	53.3	**128**	262.4	69.4	**157**	314.6
-34.4	**-30**	-22.0	-5.0	**23**	73.4	24.4	**76**	168.8	53.9	**129**	264.2	70.0	**158**	316.4
-33.9	**-29**	-20.2	-4.4	**24**	75.2	25.0	**77**	170.6	54.4	**130**	266.0	70.6	**159**	318.2
-33.3	**-28**	-18.4	-3.9	**25**	77.0	25.6	**78**	172.4	55.0	**131**	267.8	71.1	**160**	320.0
-32.8	**-27**	-16.6	-3.3	**26**	78.8	26.1	**79**	174.2	55.6	**132**	269.6			
-32.2	**-26**	-14.8	-2.8	**27**	80.6	26.7	**80**	176.0						
-31.7	**-25**	-13.0	-2.2	**28**	82.4	27.2	**81**	177.8						
-31.1	**-24**	-11.2	-1.7	**29**	84.2	27.8	**82**	179.6						
-30.6	**-23**	-9.4	-1.1	**30**	86.0	28.3	**83**	181.4						
-30.0	**-22**	-7.6	-0.6	**31**	87.8	28.9	**84**	183.2						
-29.4	**-21**	-5.8	0	**32**	89.6	29.4	**85**	185.0						
-28.9	**-20**	-4.0	0.6	**33**	91.4	30.0	**86**	186.8						
-28.3	**-19**	-2.2	1.1	**34**	93.2	30.6	**87**	188.6						
-27.8	**-18**	-0.4	1.7	**35**	95.0	31.1	**88**	190.4						
-27.2	**-17**	1.4	2.2	**36**	96.8	31.7	**89**	192.2						
-26.7	**-16**	3.2	2.8	**37**	98.6	32.2	**90**	194.0						
-26.1	**-15**	5.0	3.3	**38**	100.4	32.8	**91**	195.8						
-25.6	**-14**	6.8	3.9	**39**	102.2	33.3	**92**	197.6						
-25.0	**-13**	8.6	4.4	**40**	104.0	33.9	**93**	199.4						
-24.4	**-12**	10.4	5.0	**41**	105.8	34.3	**94**	201.2						
-23.9	**-11**	12.2	5.6	**42**	107.6	35.0	**95**	203.0						
-23.3	**-10**	14.0	6.1	**43**	109.4	35.6	**96**	204.8						
-22.8	**-9**	15.8	6.7	**44**	111.2	36.1	**97**	206.6						
-22.2	**-8**	17.6	7.2	**45**	113.0	36.7	**98**	208.4						
-21.7	**-7**	19.4	7.8	**46**	114.8	37.2	**99**	210.2						
-21.1	**-6**	21.2	8.3	**47**	116.6	37.8	**100**	212.0						
-20.6	**-5**	23.0	8.9	**48**	118.4	38.3	**101**	213.8						
-20.0	**-4**	24.8	9.4	**49**	120.2	38.9	**102**	215.6						
-19.4	**-3**	26.6	10.0	**50**	122.0	39.4	**103**	217.4						

VALORES DE GRADOS SOLO

°C	°F	°F	°C
1=	1.8	1=	0.56
2=	3.6	2=	1.11
3=	5.4	3=	1.67
4=	7.2	4=	2.22
5=	9.0	5=	2.78
6=	10.8	6=	3.33
7=	12.6	7=	3.89
8=	14.4	8=	4.44
9=	16.2	9=	5.00

°F = 1.8 °C + 32 = 9/5 °C + 32

°C = 5/9 (°F - 32) = (°F -32) /1.8

K = °C + 273.15

K = 5/9 R

R = °F + 459.69

R = 1.8 K

Tabla 15.4 - Tabla de conversión de temperaturas.

Escalas de Temperatura Fahrenheit y Celsius

En 1592, Galileo inventó un termómetro, pero no tenía una escala bien definida. En 1720, el holandés Gabriel Fahrenheit, fue el primero que ideó un termómetro con una escala graduada, pero los puntos de referencia que escogió fueron la temperatura del cuerpo humano (100ºF) y la de una mezcla de hielo con sal (0ºF). En 1742, el sueco Anders Celsius, tomando el antecedente de Fahrenheit, ideó la escala de temperatura Celsius o Centígrada, usando como puntos de referencia la temperatura de una mezcla de hielo y agua pura (0ºC), y la de ebullición del agua pura (100ºC).

Estas dos escalas (la Fahrenheit y la Celsius), son las de uso más común en trabajos cotidianos. Ambas escalas tienen valores positivos (arriba del cero) y valores negativos (abajo del cero).

Escalas de Temperatura Absolutas, Kelvin y Rankine

Para trabajos más científicos, se requiere el uso de temperaturas absolutas (totales), que no tengan valores negativos. Las escalas absolutas comienzan de cero hacia arriba. El cero absoluto es una temperatura que se determinó matemáticamente, y se supone que a esta temperatura, se detiene el movimiento molecular de cualquier sustancia. Es la temperatura más baja posible en la tierra, y se supone también que en este punto, hay una total ausencia de calor.

Las escalas usadas para medir temperaturas absolutas son la Kelvin (Celsius absoluta) y la Rankine (Fahrenheit absoluta). La Kelvin usa las mismas divisiones o graduaciones que la escala Celsius, y el cero absoluto (0ºK) equivale a -273.15ºC. La escala Rankine usa las mismas divisiones que la escala Fahrenheit, y el cero absoluto (0ºR) equivale a -460ºF.

La unidad de temperatura en el SI es el Kelvin (K), aunque se permite el uso de ºC. Las fórmulas para convertir grados de una escala a otra, se localizan al pie de la tabla 15.4.

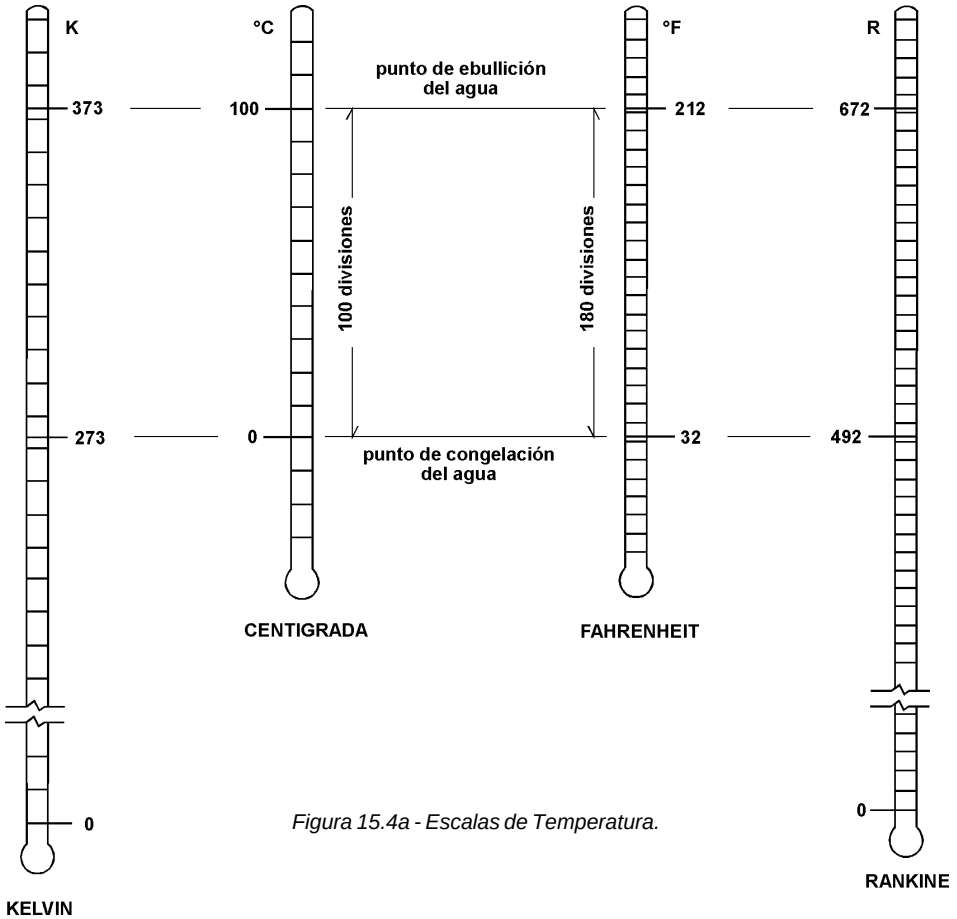


Figura 15.4a - Escalas de Temperatura.

Presión

La presión se define como la fuerza aplicada sobre una superficie, por lo que sus unidades son kgf/m² = N/m². Es una de las propiedades termodinámicas más útiles, porque se mide directamente con facilidad. La unidad de presión en el SI, es el N/m² y se le llama Pascal (Pa), en honor al físico francés Blaise Pascal.

Existen tres tipos de presión: a) Atmosférica o Barométrica, b) Manométrica, y c) Absoluta.

Presión Atmosférica - Es la presión ejercida por el peso del aire atmosférico, al ser atraído por la fuerza de la gravedad. Esta presión varía con relación a la altitud sobre el nivel del mar (ver figura 13.6 del capítulo de Psicrometría). También se le llama presión barométrica, porque el instrumento utilizado para medirla, se llama barómetro. El italiano Evangelista Torricelli, fue el primero en medir esta presión, utilizando un barómetro de mercurio. El valor que él obtuvo es de 760 mm de mercurio al nivel del mar. A estas unidades (mm Hg) también se les llama Torricelli (Torr). El valor de la presión atmosférica al nivel del mar, es como sigue:

Sistema Internacional = 101,325 Pa
(kiloPascales) = 101.325 kPa

Sistema Métrico = 1.033 kg/cm² = 760 mm Hg.

Sistema Inglés = 14.696 psi = 29.92 in Hg.

Presión Manométrica - Cuando se desea medir la presión dentro de un sistema cerrado, se utiliza un instrumento llamado manómetro, por eso se le llama presión manométrica. La presión dentro de un sistema cerrado, puede ser mayor o menor que la atmosférica. A la presión mayor que la atmosférica, se le llama positiva; y a la menor, se le llama negativa o vacío. El manómetro marca la diferencia de presiones entre la que existe dentro del sistema y la presión atmosférica del lugar.

Presión Absoluta - Es la suma de la presión atmosférica más la presión manométrica. Si esta última es positiva, se suman, y si es negativa, se restan.

Presión Absoluta = presión atmosférica + presión manométrica.

Presión Absoluta = presión atmosférica - presión manométrica (vacío).

Las unidades con que se miden comúnmente las presiones, son kg/cm² en el sistema métrico, y lb/in² en el sistema inglés. Las presiones negativas o vacío, se acostumbra medirlas en mm de Hg y pulgadas de mercurio, respectivamente.

En la solución de la mayoría de los problemas de ingeniería sobre presión y volumen, es necesario utilizar valores de presión absoluta. La escala de presión absoluta, al igual que las de temperatura absoluta, no tiene valores negativos ni combina diferentes unidades. Inicia en el cero absoluto (0 Pa), que corresponde al vacío absoluto, y de allí aumenta. En la mayoría de las operaciones, el Pascal (Pa) resulta una unidad muy pequeña, por lo que generalmente se utilizan múltiplos de éste, que son el kiloPascal (kPa) que es igual a 1,000 Pa, o bien el bar, que es igual a 100,000 Pascales = 100 kPa. Al kiloPascal también se le conoce como pièze (pz).

En el sistema inglés, se hace una clara distinción entre libras por pulgada cuadrada absolutas (psia por sus siglas en inglés de Pound per Square Inch Absolute), y libras por pulgada cuadrada manométricas (psig por sus siglas en inglés de Pounds per Square Inch Gauge). Cuando sólo se usa psi sin la "a" o la "g", generalmente se refiere a diferencias o caídas de presión.

kiloPascales (kPa)	x 0.010197	= kg/cm²	**mm Hg (Torr)**	x 0.13333	= kPa
	x 0.14504	= lb/in² (psia)		x 0.00136	= kg/cm²
	x 7.5	= mm Hg abs.		x 0.01934	= lb/in² (psi)
	x 0.2953	= in Hg abs.		x 0.03937	= in Hg
	x 0.01	= bar		x 0.001333	= bar
	x 0.00987	= atmósferas		x 0.00136	= atm
	x 10,000	= barye (µb)		x 1,000	= micrones (µ)
kg/cm²	x 98.064	= kPa	**in Hg (pulg. Hg)**	x 3.3864	= kPa
	x 14.2234	= lb/in² (psi)		x 0.03453	= kg/cm²
	x 735.514	= mm Hg		x 0.49115	= lb/in² (psi)
	x 28.9572	= in Hg		x 25.4	= mm Hg
	x 0.987	= bar		x 0.03386	= bar
	x 0.96778	= atmósferas		x 0.03342	= atm
lb/in² (psia)	x 6.89474	= kPa		x 25,400	= micrones (µ)
	x 0.07031	= kg/cm²	**atmósfera (atm)**	x 101.325	= kPa
	x 51.715	= mm Hg		x 1.03329	= kg/cm²
	x 2.036	= in Hg		x 14.6969	= lb/in²
	x 0.06895	= bar		x 760	= mm Hg
	x 0.0604	= atm		x 29.9212	= in Hg
1 psig	= 15.696 psia	= 108.22 kPa		x 1.01325	= bar
0 psig	= 14.696 psia	= 101.325 kPa		x 33.9	= pies de agua

Tabla 15.5 - Factores de conversión de unidades de presión.

Factores de Conversión

Un factor de conversión es una cantidad (entera o fraccionaria) que muestra la relación entre dos unidades de medición.

Los factores de conversión son muy útiles para resolver problemas donde se utilizan fórmulas en que intervienen dos o más unidades diferentes o donde la respuesta requiere una unidad de medición diferente a la usada en el problema.

A continuación se verán los factores para convertir unidades de un sistema a otro, principalmente del inglés al SI; agrupándolos por cada una de las cantidades más comúnmente utilizadas. También, se definirán las cantidades más importantes y se darán algunos ejemplos y fórmulas para calcularlas.

Longitud

La longitud se define como la distancia entre dos puntos. La unidad de longitud en el SI es el metro (m).

1 m = 10 decímetros (dm) = 100 centímetros (cm) = 1,000 milímetros (mm) = 1'000,000 micrones (μ) = 0.001 kilómetros (km).

kilómetros (km)	x 0.62137	= millas
	x 0.5399	= millas náuticas
	x 198.838	= rods
	x 546.8	= fathoms (braza)
	x 1,094	= yardas
	x 3,281	= pies
	x 1,000	= metros
millas (mi)	x 320	= rods
	x 1,760	= yardas
	x 5,280	= pies
	x 1,609.35	= metros
	x 1.60935	= kilómetros
milla náutica (mi naut)	x 1.85325	= kilómetros
	x 1.15155	= millas
	x 368.497	= rods
	x 1,853.25	= metros
metros (m)	x 1.093613	= yardas
	x 3.28083	= pies
	x 39.37	= pulgadas
	÷ 1,609.35	= millas
	x 0.19884	= rods
1 rod	x 5.03	= metros

yardas (yd)	÷ 1,093.61	= kilómetros
	x 0.9144	= metros
	x 3	= pies
	x 36	= pulgadas
	x 91.44	= centímetros
pies (ft)	x 0.3048	= metros
	x 0.3333	= yardas
	x 12	= pulgadas
	x 30.48	= centímetros
pulgadas (in)	x 0.0254	= metros
	x 0.02777	= yardas
	x 0.08333	= pies
	x 2.54	= micrones
	x 25.4	= centímetros
	x 25,400	= milímetros
centímetros (cm)	÷ 30.48	= pies
	÷ 2.54	= pulgadas
milímetros (mm)	÷ 25.4	= pulgadas
	÷ 304.8	= pies
	x 1,000	= micrones
micrones	÷ 25,400	= pulgadas

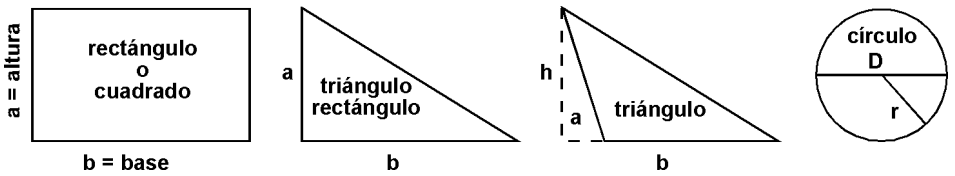
Tabla 15.6 - Factores de conversión de unidades de longitud.

Área

La medición de una área o superficie, es la medición de un espacio bidimensional. Las unidades de área en el SI, son las unidades de longitud al cuadrado (m x m = m²).

1 m² = 100 dm² = 10,000 cm² = 1 x 1'000,000 mm² = 0.001 hectáreas (ha).

El área de las diferentes figuras geométricas, se encuentra aplicando fórmulas sencillas; por ejemplo:



$A = a \times b$ $\qquad A = \frac{a \times b}{2}$ $\qquad A = \frac{b \times h}{2}$ $\qquad A = \frac{\pi D^2}{4} = \pi r^2$

millas cuadradas (mi²)	x 2.59	= km²	**metros cuadrados (m²)**	x 0.0001	= hectáreas
	x 640	= acres		x 0.19599	= yd²
	x 259	= hectáreas		x 10.7639	= ft²
	x 2'589,999	= m²		x 1,549.99	= in²
kilómetros cuadrados (km²)	x 0.3861	= mi²		x 10,000	= cm²
	x 100	= hectáreas	**pies cuadrados (ft²)**	x 0.092903	= m²
	x 247.104	= acres		x 0.11111	= yd²
	x 1'000,000	= m²		x 144	= in²
acres	x 0.001563	= mi²		x 929.03	= cm²
	x 4,840	= yd²	**pulgadas cuadradas (in²)**	x 6.4516	= cm²
	÷ 247.104	= km²		÷ 144	= ft²
	x 4,046.86	= m²		x 645.16	= mm²
	x 43,560	= ft²		÷ 1,296	= yd²
hectáreas (ha)	÷ 259	= mi²	**centímetros cuadrados (cm²)**	x 0.155	= in²
	x 0.01	= km²		÷ 929.03	= ft²
	x 2.47104	= acres		x 100	= mm²
	x 10,000	= m²		x 0.0001	= m²
	x 11,959.9	= yd²			

Tabla 15.7 - Factores de conversión de unidades de área.

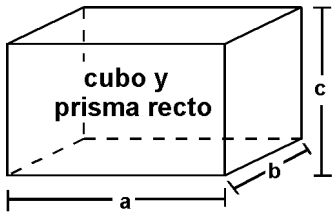
Volumen y Capacidad (Líquido)

La medición del volumen, es la medición de un espacio tridimensional. La unidad del volumen en el SI, es la unidad de longitud al cubo (m x m x m = m³). En mediciones de capacidad, se puede usar el litro (l) y sus múltiplos y submúltiplos.

1 m³ = 1,000 dm³ = 1'000,000 cm³ = 1,000 litros (l).

1 l = 10 decilitros (dl) = 100 centilitros (cl) = 1,000 mililitros (ml) = 1,000 centímetros cúbicos (cm³ o cc) = 1 decímetro cúbico (dm³).

Para calcular el volumen de diferentes cuerpos geométricos, se emplean fórmulas sencillas:



$V = a \times b \times c$

$V = \pi r^2 L = \frac{\pi D^2}{4} L$

$V = \frac{4}{3} \pi r^3$

metro cúbico (m³)	x 1.30795	= yd³
	x 35.31447	= ft³
	x 28.38	= bushels U.S.
	x 220	= gal (brit.)
	x 264.1728	= gal (U.S.)
	x 1,000	= litros (dm³)
pies cúbicos (ft³)	x 0.028317	= m³
	x 28.317	= dm³
	x 1,728	= in³
	x 0.80356	= bushels U.S.
	x 7.48055	= gal (U.S.)
	x 6.230	= gal (brit.)
litros (l)	x 1,000	= cm³ ó ml
	x 61.0234	= in³
	x 0.227	= gal seco (brit.)
	x 0.26418	= gal liq (U.S.)
	x 0.035314	= ft³
	x 2.1142	= pintas
	x 4.54374	= galón imperial
	x 1.05668	= cuartos liq.
	x 33.8135	= onzas fluidas (U.S.)
	x 35.1988	= onzas fluidas (brit)
barril	x 42	= gal (petróleo)
pinta	x 16	= oz fluidas
	x 0.473	= litros
cuarto (qt)	x 2.0	= pintas
	x 32.0	= onzas
	x 0.946	= litros

Bushel (U.S.)	x 35.2393	= litros (dm³)
	x 2,150.42	= in³
	x 1.24446	= ft³
	x 9.3092	= gal liq (U.S.)
	x 8.0	= gal seco (U.S.)
	x 0.035239	= m³
galón líquido (gal)	x 3.78543	= litros
	x 8.34	= libras de agua
	x 0.13368	= ft³
	x 231	= in³
	x 4.0	= cuartos (liq)
	x 8.0	= pintas
	x 128	= onzas (fluidos)
galón seco (d gal)	x 4.4049	= litros
	x 0.15556	= ft³
	x 268.803	= in³
	x 4.0	= cuartos (secos)
centímetros cúbicos (cm³ ó cc)	x 0.001	= litros (dm³)
	x 0.061024	= in³
	x 1.0	= ml
	x 0.03381	= onzas fluidas (U.S.)
	x 0.03519	= onzas fluidas (brit)
pulgadas cúbicas (in³)	x 16.387	= cm³
	÷ 1,728	= ft³
	x 0.016387	= dm³ (litros)
	x 16,387	= mm³

Tabla 15.8 - Factores de conversión de unidades de volumen.

Masa

En nuestra vida cotidiana, por tradiciones usamos un sistema de unidades mixto e incompatibles; es decir, usamos el kg tanto como unidad de fuerza, como de masa o para presión.

La literatura abunda en una confusión entre fuerza y masa, que sin duda, proviene de que la masa puede medirse por la fuerza de gravedad (como en una báscula) y, consecuentemente, se usa la misma unidad (el kilogramo) para medir cada una, sin indicar si es de masa o de fuerza. Es importante hacer la diferencia entre lo uno y lo otro. La palabra **peso**, se usa para indicar fuerza de gravedad, y **masa**, es la que se compara en una báscula o balanza. Ejemplo: cuando se dice "ese bulto pesa 30 kg", es más probable que se quiera indicar una masa. Cuando se dice "el empuje del resorte sobre el pistón es de 6 kg", se está haciendo referencia a una fuerza.

Un kg. masa, es una cantidad absoluta de materia. Esto significa que un kg de materia en reposo, siempre es un kg., independientemente de su situación en el espacio, aún cuando la fuerza de gravedad sea pequeña o nula.

La unidad de masa en el SI, es el kilogramo (kg).

1 kg =1,000 gramos (g) = 1'000,000 miligramos (mg) = 1 litro agua @ 4ºC.

Nota: En el sistema de unidades inglés, existen dos tipos de masa, el Avoirdupois y el Troy.

Tonelada (ton)	X 1,000	= kg	**Libras (troy) (lb t)**	X 0.37324	= kg
	X 1.10231	= ton corta (U.S.)		X 12.0	= oz (troy)
	X 0.98421	= ton larga (brit)		X 5,760	= granos
	X 2,204.58	= lb		X 373.24	= g
Tonelada Corta (U.S.)	X 2,000	= lb (avoir)		X 0.82286	= lb (avoir)
	X 0.9072	= ton		X 13.1657	= oz (avoir)
	X 0.89286	= ton larga	**Libras (avoir) (lb)**	X 0.45359	= kg
	X 907.185	= kg		X 16.0	= oz (avoir)
Tonelada Larga (brit)	X 2,240	= lb (avoir)		X 7,000	= granos
	X 1.01605	= ton		X 453.59	= g
	X 1.12	= ton corta		X 1.21528	= lb (troy)
	X 1,016.05	= kg	**Kilogramos (kg)**	X 2.204585	= lb (avoir)
Gramos (g)	X 0.001	= kg		X 2.67923	= lb (troy)
	X 0.03527	= oz (avoir)		X 1,000	= g
	X 0.03215	= oz (troy)		X 35.2734	= oz (avoir)
	X 15.432	= granos		X 32.1507	= oz (troy)
	X 20.0	= gotas agua		X 15,432.4	= granos
Onzas (troy) (oz t)	X 31.10	= g	**Onzas (avoir) (oz)**	X 28.35	= g
	X 1.09714	= oz (avoir)		X 0.9115	= oz (troy)
	X 480.0	= granos		X 437.5	= granos

Tabla 15.9 - Factores de conversión de unidades de masa y peso.

Caudal (Flujo)

El caudal es el paso de una cantidad de masa (kg), por una unidad de tiempo (s). El caudal se mide de 3 maneras distintas, y las unidades en el sistema internacional SI, son diferentes para cada una:

Caudal en base a la masa - kg/s

Caudal en base al volumen - m³/s

Caudal en base a la masa por área - kg/m²s

EN BASE A LA MASA

kg/s	X 0.001	= g/s
	X 3,600	= kg/h
	X 3.6	= ton/h
	X 7,936.5	= lb/h
	X 2.20462	= lb/s

EN BASE A LA MASA POR ÁREA

kg/sm²	X 3,600	= kg/h m²
	X 0.2048	= lb/s ft²
	X 737.35	= lb/h ft²
	X 5.12	= lb/h in²

EN BASE AL VOLUMEN

m³/s	X 60	= m³/min
	X 3,600	= m³/h
	X 60,000	= l/min
	X 35.3147	= ft³/s
	X 2,118.87	= ft³/min
	X 15,850.4	= gal/min (USA)
	X 13,199	= gal/min (brit)
ft³/min	X 0.02832	= m³/min
	X 28.32	= l/min
	X 7.482	= gal/min (USA)
	X 6.228	= gal/min (brit)
gal/min (USA)	X 0.2271	= m³/h
	X 3.78543	= l/min
	X 8.019	= ft³/h
	X 0.8326	= gal/min (brit)
l/min	X 0.06	= m³/h
	X 2.1186	= ft³/h
	X 0.2642	= gal/min (USA)
	X 0.22	= gal/min (brit)

Tabla 15.10 - Factores de conversión de unidades de caudal.

Velocidad Lineal

La velocidad lineal es el desplazamiento de un objeto con respecto al tiempo; por lo que, sus unidades son de longitud por tiempo. En el SI son m/s.

Pies/seg (ft/s)	X 0.3048	= m/s
	X 30.48	= cm/s
	X 1.097283	= km/h
	X 0.68182	= mi/h
	X 12.0	= in/s
	X 0.59209	= nudos
Millas/Hora (mi/h)	X 1.60935	= km/h
	X 0.44704	= m/s
	X 26.8217	= m/min
	X 1.46667	= ft/s
	X 0.86839	= nudos
Metros/seg (m/s)	X 3.28083	= ft/s
	X 2.23693	= mi/h
	X 3.6	= km/h
	X 39.37	= in/s
	X 1.94254	= nudos
(km/h)	X 0.27778	= m/s
	X 0.62137	= mi/h
	X 0.53959	= nudos
	X 0.91134	= ft/s
	X 16.6667	= m/min

Tabla 15.11 - Factores de conversión de unidades de velocidad lineal.

Aceleración Lineal

La aceleración se puede definir como: el incremento de velocidad con respecto al tiempo. Como vimos al principio de este capítulo, una cantidad unitaria de aceleración se indica por un metro por segundo y por segundo; es decir, las unidades de la aceleración son dimensiones de longitud por unidad de tiempo al cuadrado m/s².

	X 0.3048	= m/s²		X 3.2808	= ft/s²
	X 12.0	= in/s²		X 100	= cm/s²
ft/s²	X 30.48	= cm/s²	**m/s²**	X 39.37	= in/s²
	X 0.68182	= mi/hs		X 3.6	= km/hs
	X 1.09728	= kg/hs		X 2.237	= mi/hs

Tabla 15.12 - Factores de conversión de unidades de aceleración lineal.

Fuerza

Una fuerza cuando se aplica a un cuerpo en reposo, lo hace que se mueva.

Como vimos al inicio de este capítulo, la fuerza es igual a una unidad de masa (kg) por una unidad de aceleración (m/s²), lo que resulta F = kg x m/s². La unidad de fuerza en el SI es entonces el kg-m/s² que se le llama Newton (N). 1 N = 1 kg-m/s². El Newton es la fuerza que aplicada a un cuerpo con masa de 1 kg, le da una aceleración de 1 m/s².

Otra unidad de fuerza es el kilogramo - fuerza (kgf) que se le llama así para diferenciarlo del kilogramo masa (kg).

1 kgf = 9.8066 N (aceleración de la gravedad).

En la mayoría de los países europeos, se ha adoptado el kilopond como unidad de fuerza, en lugar del kgf.

	X 100,000	= dinas		X 980,665	= dinas
	X 0.001	= sthène (sn)		X 9.80665	= N
Newton (N)	X 0.2248	= lb f	**kgf**	X 0.000981	= sthène
	X 7.233	= poundal		X 2.20458	= lbf
	X 0.10197	= kgf			

Tabla 15.13 - Factores de conversión de unidades de fuerza.

Volumen Específico (Masa Volumétrica)

El volumen específico de cualquier sustancia, es el volumen (m^3) que ocupa una unidad de masa (kg); en otras palabras, es el volumen de un kilogramo de gas en condiciones normales (20ºC y 101.3 kPa). Para darnos una mejor idea, el volumen específico de un kilogramo de aire seco y limpio, es de 0.84m^3. Comparándolo con el hidrógeno, un kilogramo de éste ocupa 11.17m^3, y un kilogramo de amoníaco ocupa 1.311m^3. A los gases que ocupan mayor espacio que el aire, se les llama gases ligeros; los que ocupan menor espacio que el aire, se les llama gases pesados.

Las unidades en el SI para medir el volumen específico son m^3/kg.

1 m^3/kg = 1,000 cm^3/g = 1,000 l/kg = 1,000 dm^3/kg.

Pies cúbicos/lb (ft^3/lb)	X 1,728	= in^3/lb	**Metros cúbicos/kg (m^3/kg)**	X 16.018647	= ft^3/lb
	X 62.427	= l/kg=(dm^3/kg)		X 119.842	= gal/lb (liq)
	X 62.427	= cm^3/g		X 2,768	= in^3/lb
	X 0.062427	= m^3/kg		X 1,000	= l/kg=dm^3/kg
	X 7.48055	= gal/lb (liq)		X 1,000	= cm^3/g
Pulgada cúbicos/lb (in^3/lb)	÷ 1,728	= ft^3/lb	**Centímetros cúbicos/g (cm^3/g)**	X 0.001	= m^3/kg
	X 0.03613	= l/kg=dm^3/kg		X 1.0	= l/kg=dm^3/kg
	X 0.03613	= cm^3/g		X 27.68	= in^3/lb
	÷ 27,700	= m^3/kg		X 0.0160186	= ft^3/lb
	÷ 231	= gal/lb (liq)		X 0.11983	= gal/lb (liq)
gal/lb (liq)	X 8.3454	= l/kg=dm^3/kg	**Partes por millón (ppm)**	X 20.0	= gotas de agua
	X 0.13369	= ft^3/lb		X 1.0	= mg/l = mg/kg
	X 0.008345	= m^3/kg		X 0.058416	= granos/gal
	÷ 231.0	= in^3/lb		X 0.007	= granos/lb

Tabla 15.14 - Factores de conversión de unidades de volumen específico.

Para determinar cualquier factor de conversión, donde intervienen dos o más unidades, el procedimiento es muy simple; por ejemplo, el factor para convertir m^3/kg a ft^3/lb (tabla 15.14), el cual es 16.018647, se determina de la siguiente manera:

Las unidades que conocemos son m^3/kg, y queremos convertir una cantidad cualquiera a ft^3/lb. Primero, necesitamos saber cuántos pies cúbicos tiene un metro cúbico. De la tabla 15.8 vemos que 1 m^3 = 35.31447 ft^3. también necesitamos saber cuántas libras tiene un kilogramo; de la tabla 15.9, vemos que 1 kg = 2.20458 lb. El procedimiento es el siguiente:

$$1\ \frac{m^3}{kg} \times \frac{35.3145\ ft^3}{1\ m^3} \times \frac{1\ kg}{2.204585\ lb} = \frac{35.3145\ ft^3\ \cancel{kg}}{2.20458\ lb\ \cancel{m^3}} = 16.018647\ ft^3/lb$$

En el caso de que no conociéramos la equivalencia de volumen entre m^3 y ft^3; pero conocemos la equivalencia de longitud entre m y ft (1 m = 3.28084 ft), también se puede determinar el mismo factor procediendo como sigue:

$$1\ \cancel{m^3/kg} \times \frac{(3.28084\ ft)^3}{1\ \cancel{m^3}} \times \frac{1\ \cancel{kg}}{2.204585\ lb} = \frac{35.3145\ ft^3}{2.204585\ lb} = 16.0187\ ft^3/lb$$

De la misma manera se puede proceder para cualquier otro factor, aún conociendo solamente las equivalencias básicas.

Nótese que el valor de una de las unidades es siempre uno (1) , y que se puede utilizar como multiplicador o como divisor, sin cambiar el valor de la ecuación.

Ejemplo: encontrar el volumen en m^3 de una cámara que tiene las siguientes dimensiones, largo = 80 pies, ancho = 50 pies y alto = 12 pies.

De la fórmula para encontrar el volumen de un prisma recto (tabla 15.7) v= largo x ancho x alto.

$$v = 80\ ft \times 50\ ft \times 12\ ft = 48{,}000\ ft^3$$

$$v = 48{,}000\ \cancel{ft^3} \times \frac{1\ m^3}{35.3145\ \cancel{ft^3}} = 1{,}359.2\ m^3$$

Obsérvese que el uno del factor de conversión va arriba en este caso, para que se puedan cancelar los factores comunes (ft^3).

Densidad o Peso Específico

La densidad de cualquier sustancia, es su masa (no su peso) por unidad de volumen. Las unidades de densidad en el S.I. son kg/m³. Es aparente por las unidades, que la densidad es la inversa del volumen específico. Densidad = 1/volumen específico.

1 kg/m³ = 1,000 g/m³ = 0.001 g/cm³ = 0.001 kg/l = 1.0 g/l

lb/pie cúbico (lb/ft³)	X 16.018646	= kg/m³	**kg/metro cúbico (kg/m³)**	X 0.062427	= lb/ft³
	X 0.0160186	= g/cm³ = kg/l		÷ 27,700.8	= lb/in³
	X 1,728	= lb/in³		X 1,000	= g/cm³ = kg/l
	X 0.13368	= lb/gal (liq)		÷ 119.826	= lb/gal (liq)
libras/galón (lb/gal)	X 7.48052	= lb/ft³		X 1.0	= g/l
	÷ 231.0	= lb/in³	**Gramos/cm³ (g/cm³)**	X 1,000	= kg/m³ = g/l
	X 0.119826	= g/cm³ = kg/l		X 0.03613	= lb/in³
	X 119.826	= kg/m³		X 62.4283	= lb/ft³
				X 1.0	= kg/l

Tabla 15.15 - Factores de conversión de unidades de densidad.

Como se mencionó arriba, la densidad es la inversa o recíproco del volumen específico.

Ejemplo: La densidad del agua a 20°C es 998.204 kg/m³ ¿Cuál es su volumen específico?

$$v = \frac{1}{998.204 \text{ kg/m}^3} = 0.0010017 \text{ m}^3\text{/kg} = 1.0017 \text{ l/kg}$$

De manera similar, los factores de conversión del volumen específico, son el recíproco de la densidad. Para determinar un factor de la densidad dividimos 1 entre el factor del volumen específico y viceversa.

Ejemplo: el factor de volumen específico para convertir ft³/lb a m³/kg es 0.0624272 (tabla 15.14). ¿Cuál será el factor para convertir lb/ft³ a kg/m³? Dividimos 1 entre el factor.

$$\frac{1}{0.0624272} = 16.01865 \text{(ver tabla 15.15)}$$

Trabajo, Energía y Calor

Cuando sobre un objeto se aplica una fuerza y se le desplaza una cierta distancia, se ha efectuado un trabajo. Por lo tanto, trabajo = fuerza (kg-m/s²) x distancia (m) = Nm.

En el SI, la unidad de trabajo es el Newton - metro (Nm) y se le llama Joule (J). Un Joule es la cantidad de trabajo hecho por la fuerza de un Newton, moviendo su punto de aplicación una distancia de un metro. Otras unidades de trabajo son la dina por cm (dina - cm), y se llama erg y el kilogramo fuerza por metro (kgf·m). Como un Joule es una unidad de calor muy pequeña, para trabajos de refrigeración se utiliza mejor el kiloJoule (kJ) = 1,000 J.

Energía es la capacidad o habilidad de hacer trabajo; por lo que las unidades, son las mismas que el trabajo.

El calor es una forma de energía, por lo que sus unidades en el SI son la caloría (cal) y la kilocaloría (kcal), esta última equivale a 1,000 calorías. En el sistema inglés la unidad de calor es la british thermal unit (btu).

btu (medio)	X 1.05587	kJ	**Joules (J)**	X 0.1019716	kgf·m
	X 107.558	kgf·m		X 0.73756	lbf·ft
	X 0.252	kcal		÷ 4,184	kcal
	X 778.1	lbf·ft		÷ 1,055.06	btu
	X 0.2931	W·h		X 10	ergs
	÷ 2,510	Cv-h		÷ 3,600	W·h
	÷ 2,544.7	hp·h	**kgf·m**	X 9.80665	W·h
kilocalorías (kcal)	X 3.96832	btu		X 7.233	lbf·ft
	X 4.184	kJ		X 0.002724	W·h
	X 426.9	kgf·m		X 0.002642	kcal
	X 3,087.77	lbf·m		X 0.009296	btu
	X 0.001559	hp·h	**lbf·ft**	X 1.35573	J
	X 0.001581	Cv-h		X 0.13826	kgf·m
	X 1.163	W·h			

Tabla 15.16 - Factores de conversión de unidades de trabajo, energía y calor.

Potencia

La potencia es la rapidez o velocidad con que la energía se transforma en trabajo; de aquí que sus unidades sean de trabajo (J) por unidades de tiempo (s). La unidad de la potencia en el SI es el Watt (W); entonces 1 W = J/s. Algunas veces se emplea mejor el kiloWatt (kW) que equivale a 1,000 W. Otras unidades comunes de potencia son el caballo de vapor (cv) en el sistema métrico, y el horse power (hp) en el sistema inglés. También, el kilogramo fuerza · metro por segundo (kgf·m/s).

kiloWatt (kW)	x 859.8	= kcal/h	**horse power (hp)**	X 1.01387	= cv
	X 3,412.14	= btu/h		X 745.65	= W
	X 1.359	= cv		X 550.0	= lbf·ft/s
	X 1.341	= hp		X 76.04	= kgf·m/s
	X 101.97	= kgf·m/s		X 2,544.66	= btu/h
	X 737.4	= lbf·ft/s		X 641.232	= kcal/h
	X 1,000	= W		X 4.716	= T.R.
	X 0.28435	= T.R.	**kgf·m/s**	X 9.8066	= W
Caballo de vapor (cv)	X 0.7355	= kW		X 7.233	= lbf·ft/s
	X 0.9863	= hp		X 8.4312	= kcal/h
	X 75.0	= kgf·m/s		X 33.48	= btu/h
	X 542.475	= lbf·ft/s	**lbf·ft/s**	X 1.3558	= W
	X 632.48	= kcal/h		X 0.13826	= kgf·m/s
	X 2,509.85	= btu/h		X 1.1653	= kcal/h
	X 4.781	= T.R.		X 4.626	= btu/h

Tabla 15.17 - Factores de conversión de unidades de potencia.

Viscosidad

La viscosidad de un fluido se puede definir como su resistencia a fluir. Por eso existe la fricción en los fluidos.

Debido a que existen más de cinco unidades diferentes para la viscosidad absoluta, es preciso entender el concepto físico de ésta para utilizar las unidades apropiadas.

Un fluido al deslizarse sobre una superficie, la parte baja del fluido que está en contacto con la superficie tendrá menor velocidad que la parte superior, debido a la fricción. Mediante un razonamiento matemático, después de que el fluido ha recorrido una distancia, tenemos que la viscosidad es:

$$\text{viscosidad} = \frac{\text{fuerza x distancia}}{\text{área x velocidad}}$$

A esta viscosidad se le llama viscosidad dinámica o absoluta. Substituyendo por las unidades respectivas del SI tenemos:

$$\text{viscosidad} = \frac{\text{kg x m}}{\text{m}^2 \text{ x m/s}} = \frac{\text{kg·s}}{\text{m}^2} = \text{Pa·s (Pascal segundo)}$$

La unidad más común para medir la viscosidad dinámica es el Poise.

1 Pa·s = 1 Ns/m² = 10 Poise

1 Poise = 100 centiPoise (cP).

Otro tipo de viscosidad es la cinemática, que es la misma viscosidad dinámica dividida por la densidad. Las unidades deben ser compatibles; así, en el SI, la viscosidad cinemática es igual a : m²/s y se le llama myriastoke, aunque es más común el uso del Stoke (St) y el centiStoke (cSt).

VISCOSIDAD DINAMICA O ABSOLUTA			VISCOSIDAD CINEMATICA		
Poise	X 0.10	= Pa·s	**m²/s**	X 10,000	= St
	X 360	= kg/m·h		x 10.7643	= ft²/s
	X 0.002088	= lbf·s/ft²		X 645.86	= ft²/min
Pa·s	X 10	= Poise	**St**	X 0.0001	= m²/s
	X 1,000	= cP		X 0.001076	= ft²/s
	X 0.02088	= lbf·s/ft²		X 0.01	= cSt

Tabla 15.18 - Factores de conversión de unidades de viscosidad.

Entalpía y Entalpía Específica

La entalpía se puede definir como el contenido de calor de una sustancia. La entalpía es todo el calor contenido en un kilogramo de sustancia, calculada a una temperatura de referencia que es de 0ºC para el agua y vapor de agua, y de -40ºC para refrigerantes. Como la entalpía es calor, sus unidades en el SI son las mismas que para la energía: Joules (J). En el sistema inglés son btu y en el métrico son kilocalorías (kcal).

La entalpía específica es la entalpía descrita arriba, pero referida a una unidad de masa; esto es, Joules por kilogramo (J/kg) en el SI. En el sistema inglés las unidades son btu/lb. Como el J/kg es una unidad pequeña, es más común utilizar el kiloJoule por kilogramo (kJ/kg).

EN BASE A LA MASA			EN BASE AL VOLUMEN		
kJ/kg	X 0.239	= kcal/kg	**kJ/m³**	X 0.239	= kcal/m³
	X 0.43	= btu/lb		X 0.026839	= btu/ft³
kcal/kg	X 4.184	= kJ/kg	**kcal/m³**	X 4.184	= kJ/m³
	X 1.8	= btu/lb		X 0.11236	= btu/ft³
btu/lb	X 2.3244	= kJ/kg	**btu/ft³**	X 37.2589	= kJ/m³
	X 0.5556	= kcal/kg		X 8.9	= kcal/m³

Tabla 15.19 - Factores de conversión de unidades de entalpía.

Entropía y Entropía Específica

La entropía es una propiedad termodinámica muy útil, sobre todo en trabajos de ingeniería. Es difícil dar una explicación sencilla; pero de una manera simple, se puede decir que la entropía de una sustancia, es su calor disponible medido en Joules. Al igual que la entalpía, la entropía está basada en una temperatura de referencia de 0ºC para el agua y -40ºC para refrigerantes. También, al igual que la entalpía, al efectuar cálculos, lo que importa no es su valor absoluto, sino el cambio de entropía. Un cambio de entropía es la suma de todos sus incrementos diferenciales de calor, dividida entre la temperatura absoluta que existe en el momento de cada incremento. Entropía es entonces = calor/temp. absoluta = Joules/K en el SI.

La entropía específica es la referida a una unidad de masa, por lo que sus unidades en el SI son J/kg K. En el sistema métrico, sus unidades son kcal/kg ºC y en el sistema inglés las unidades son btu/lb R y btu/lb ºF.

Como sabemos, el Joule (J) es una unidad muy pequeña, por lo que es más común el uso de kiloJoule (kJ).

kJ/kg K	X 0.239	= kcal/kg °C
	X 0.23885	= btu/lb °F
kcal/kg °C	X 1.0	= btu/lb °F
	X 4.184	= kJ/kg K
btu/lb °F	X 4.1868	= kJ/kg K
	X 1.0	= kcal/kg °C

Tabla 15.20 - Factores de conversión de unidades de la entropía.

Transferencia de Calor

CONDUCTIVIDAD TERMICA			COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR		
W/mK	X 0.8598	= kcal/h·m·°C	**W/m²K**	X 0.8595	= kcal/h·m²·°C
	X 0.5778	= btu/h·ft·°F		X 0.17611	= btu/h·ft²·°F
kcal/h·m·°C	X 1.16222	= W/mK	**kcal/h·m²·°C**	X 1.16222	= W/m²K
	X 0.627	= btu/h·ft·°F		X 0.2048	= btu/h·ft²·°F
btu/h·ft·°F	X 1.7307	= W/mK	**btu/h·ft²·°F**	X 5.6782	= W/m²K
	X 1.488	= kcal/h·m·°C		X 4.883	= kcal/h·m²·°C

Tabla 15.21 - Factores de conversión de unidades de transferencia de calor.

Nota: En la tabla 15.26 se muestra una lista de la conductividad térmica de algunos materiales.

Calor Específico (Capacidad Calorífica)

De acuerdo a la definición de kilocaloría, = la cantidad de calor que se requiere agregar (o quitar) a un kilogramo de agua para aumentar (o disminuir) su temperatura en un grado centígrado; la capacidad calorífica (c) del agua es 1.0 kcal/kg °C (1 kcal/1 kg x 1°C = 1).

Pero no todas las sustancias tienen la misma capacidad que el agua, para aumentar o disminuir su temperatura con los cambios de calor, ni aún el hielo; por lo que la mayoría de las sustancias van a tener valores diferentes, algunas mayores y otras menores a 1.0 (ver tabla 15.23).

Así, pues, el calor específico se puede definir igual que la kilocaloría, pero referido a cualquier sustancia diferente del agua. Esto es, el calor específico (c) es la cantidad de calor requerido para aumentar la temperatura de cualquier sustancia en un grado, en relación a la cantidad de calor requerido para aumentar en un grado, la temperatura de una masa igual de agua.

Por ejemplo, de la tabla 15.23 el calor específico de alcohol es 0.615 kcal/kg °C; esto nos indica que para elevar un °C la temperatura de un kilogramo de alcohol se requieren 0.615 kcal con relación a un kg de agua, que se requiere 1.0 kcal.

kJ/kg K	X 0.239	= kcal/kg °C
	X 0.2388	= btu/lb °F
kcal/kg °C	X 4.184	= kJ/kg K
	X 1.0	= btu/lb °F
btu/lb °F	X 4.1868	= kJ/kg K
	X 1.0	= kcal/kg °C

Tabla 15.22 - Factores de conversión de unidades de calor específico.

MATERIAL	CALOR ESPECIFICO		MATERIAL	CALOR ESPECIFICO	
	kcal/kg °C	kJ/kg K		kcal/kg °C	kJ/kg K
Acero (Hierro)	0.129	0.5397	**R-502**	0.255	1.0669
Agua	1.0	4.184	**Salmuera al 20%**	0.850	3.5564
Aire	0.242	1.0125	**Vidrio**	0.187	0.7824
Alcohol metílico	0.615	2.5732	**Zinc**	0.095	0.3975
Aluminio	0.214	0.8953	**ALIMENTOS**		
Amoniaco (4°C)	1.10	4.6024	**Apio**	0.91	3.8074
Asbesto	0.20	0.8368	**Carne de cerdo**	0.50	2.092
Bronce	0.104	0.4351	**Carne de res**	0.75	3.1380
Carbón	0.241	1.0083	**Carne de ternera**	0.70	2.9288
Cartón	0.324	1.3556	**Col**	0.93	3.8911
Cobre	0.095	0.3975	**Durazno**	0.92	3.8493
Concreto	0.156	0.6527	**Frijol**	0.91	3.8074
Corcho	0.485	2.0292	**Huevos**	0.76	3.1798
Glicerina	0.576	2.410	**Leche**	0.90	3.7656
Grafito	0.200	0.8368	**Mantequilla**	0.60	2.5104
Hielo	0.504	2.1087	**Manzana**	0.92	3.8493
Ladrillo	0.200	0.8368	**Pescado**	0.80	3.3472
Latón	0.09	0.3766	**Papas**	0.80	3.3472
Madera	0.327	1.3681	**Pollo**	0.80	3.3472
Mercurio	0.033	0.1394	**Queso**	0.64	2.6778

Tabla 15.23 - Calores específicos promedio de algunas sustancias.

Equivalentes de Refrigeración

A continuación, veremos algunas equivalencias de las unidades más comúnmente empleadas en refrigeración. Sin duda la que más destaca es la Tonelada de Refrigeración, la cual es una medida arbitraria que surgió en E.U., donde la única unidad que se manejaba era el btu. Como el btu es demasiado pequeño, para medir capacidades nominales de las plantas frigoríficas y para clasificar equipo, había necesidad de una unidad más adecuada.

La tonelada de refrigeración está basada en la cantidad de calor en btu, que se requiere extraer a una tonelada corta (2,000 lb) de agua a 32ºF, para convertirla en hielo a 32ºF.

El calor latente de congelación (solidificación) del agua, es muy cercana a 144 btu/lb; por lo tanto, para congelar 2,000 lb de agua, se requiere extraerle (2,000 lb X 144 btu/lb)=288,000 btu. Esta cantidad es la que define, de manera precisa, la unidad de refrigeración norteamericana, y se llama tonelada estándar de refrigeración. Si esta unidad térmica se refiere a una unidad de tiempo, como un día (24 hrs) se le llama Tonelada Estándar comercial, y es igual a 288,000 btu/24h =12,000 btu/h. 1T.R.=12,000 btu/h.

T.R.	x 12,000	= btu/h
	x 200	= btu/min
	x 3,024	= kcal/h
	x 3.5145	= kW
	x 12,652	= kJ/h
	x 4.716	= hp
kcal/h	x 3.9683	= btu/h
	÷ 3,024	= T.R
	x 0.2845	= kW
btu/h	÷ 12,000	= T.R.
	x 0.252	= kcal/h
	x 293	= kW

Tabla 15.24 - Factores de conversión de unidades de refrigeración.

Propiedades y Datos de Almacenamiento para Productos Perecederos

PRODUCTO	CALOR ESPECIFICO kcal/kg °C (a)		CALOR LATENTE DE FUSIÓN kcal/kg (b)	PUNTO DE CONGEL. MAS ALTO °C	CONT. DE HUMEDAD %	ALMACENAJE CORTO			ALMACENAJE PROLONGADO			
	ARRIBA DEL PUNTO DE CONGEL.	ABAJO DEL PUNTO DE CONGEL.				TEMP. °C	% h.r. MIN. MAX.	CALOR DE RESPIRACION kcal/kg DIA	TEMP. °C	% h.r. MIN. MAX.	CALOR DE RESPI-RACION kcal/kg DIA	VIDA DE ALMACE-NAMIENTO APROX.
PRODUCTOS LACTEOS												
Mantequilla	0.64	0.34	8.3	-1	15.0	4	75 - 80	---	-22	80 - 85	---	6 meses
Queso												
- Americano	0.64	0.36	43.9	-8	55.0	4(h)	75 - 80	---	0(h)	75 - 80	---	12 meses
- Limburger	0.70	0.40	47.8	-7	60.0	4(h)	80 - 85	---	0(h)	80 - 85	---	2 meses
- Roquefort	0.65	0.32	43.9	-16	55.0	7(h)	75 - 80	---	-1(h)	75 - 80	---	2 meses
- Suizo	0.64	0.36	43.9	-9	55.0	4(h)	75 - 80	---	0(h)	75 - 80	---	2 meses
Crema	0.85	0.40	50.0	-2	55.0	2	---	---	-22	---	---	4 meses
Helado	0.75	0.42	49.5	-2	61.0	-26	---	---	-26	---	---	3-4 meses
Leche												
- Entera	0.92	0.48	69.5	-1	88.0	2	---	---	---	---	---	5 días
- Condensada	0.42	---	22.2	---	28.0	4	---	---	4	---	---	3 meses
- Evaporada	0.72	---	58.9	---	74.0	---	---	---	T. amb.	---	---	12 meses
- Deshidratada	0.22	---	2.2	---	3.0	---	---	---	10	80	---	3 meses
FRUTAS												
Manzanas	0.87	0.45	67.2	-1.5	84.1	2(f)	85 - 88(h)	0.4	-1(f)	85 - 88(h)	0.3	3-8 meses
Chabacanos	0.88	0.46	67.8	-1.0	85.4	2	80 - 85	0.5	-0.5	80 - 85	0.3	2 seman.
Aguacates	0.81	0.45	65.6	0.3	82.0	10(h)	85 - 90(h)	---	7(f)	85 - 90(h)	---	3 seman.
Plátanos												

Referencias al final de la tabla (página 253).

Continúa...

Propiedades y Datos de Almacenamiento para Productos Perecederos

PRODUCTO	CALOR ESPECIFICO kcal/kg °C (a)		CALOR LATENTE DE FUSIÓN kcal/kg (b)	PUNTO DE CONGEL. MAS ALTO °C	CONT. DE HUMEDAD %	ALMACENAJE CORTO			ALMACENAJE PROLONGADO			
	ARRIBA DEL PUNTO DE CONGEL.	ABAJO DEL PUNTO DE CONGEL.				TEMP. °C	% h.r. MIN. MAX.	CALOR DE RESPIRACION kcal/kg DIA	TEMP. °C	% h.r. MIN. MAX.	CALOR DE RESPI-RACION kcal/kg DIA	VIDA DE ALMACE-NAMIENTO APROX.
Cerezas	0.86	0.45	64.5	-1.8	80.4	2	80 - 85	0.15	-0.5	80 - 85	0.08	2 seman.
Cocos	0.58	0.34	37.2	-1	46.9	2	80 - 85	---	0	80 - 85	---	2 meses
Arándanos	0.90	0.46	68.9	-1	87.4	4	85 - 90	0.27	2	85 - 90(h)	0.27	3 meses
Grosellas	0.88	0.45	66.6	0	84.7	2	85 - 90	---	0	85 - 90	---	2 seman.
Dátiles (curados)	0.36	0.26	16.1	-16	20.0	2(f)	65 - 75	---	-2(f)	65 - 70	---	6 meses
Fruta Seca	0.42	0.28	21.7	---	28.0	2	50 - 60	---	0	50 - 60	---	12 meses
Higos (frescos)	0.82	0.43	62.2	-2.5	78.0	4	65 - 75	---	0	65 - 75	---	12 días
Toronjas	0.91	0.46	70.0	-1	88.8	7	85 - 90	0.27	0	85 - 90(h)	0.13	6 seman.
Uvas	0.86	0.44	64.4	-2.2	81.6	2	80 - 90	0.27	-0.5	85 - 90(h)	0.13	5 meses
Limones (amarillos)	0.91	0.47	70.5	-1.4	89.3	13(e)	85 - 90(h)	0.80	13	85 - 90(h)	0.53	3 meses
Limones (verdes)	0.86	0.45	65.5	-1.3	82.9	7	85 - 90(h)	0.80	7	85 - 90(h)	0.53	8 seman.
Melones	0.94(c)	0.48(c)	66.7(c)	-1.1	87.0(c)	7	85 - 90	0.93	4	85 - 90	0.53	3 seman.
Aceitunas (frescas)	0.80	0.42	60.0	-1.4	75.2	10	85 - 90	---	7	85 - 90	0.53	5 seman.
Naranjas	0.90	0.46	68.9	-0.7	87.2	4(f)	85 - 90	0.40	0(f)	85 - 90(h)	0.27	3-12 seman.
Duraznos	0.90	0.46	68.9	-1.0	89.1	2	80 - 85	0.53	0	80 - 85(h)	0.27	2-4 seman.
Peras	0.86	0.45	65.6	-1.6	82.7	2(f)	90 - 95	0.40	-1(f)	90 - 95(h)	0.27	2-7 meses
Piñas												
- Verdes	0.88	0.45	67.8	-1.0	85.3	10	85 - 90(h)	---	---	---	---	4 seman.
- Maduras	0.88	0.45	67.8	-1.1	85.3	4	85 - 90(h)	---	---	---	---	3 seman.
Ciruelas	0.88	0.45	65.6	-0.8	85.3	4	80 - 85	0.80	-0.5	80 - 85(h)	0.40	2-6 seman.
Ciruelas Pasas	0.88	0.45	65.6	-0.8	85.3	4	80 - 85	0.80	-0.5	80 - 85(h)	0.40	2-6 seman.
Membrillos	0.88	0.45	67.8	-2.0	85.3	2	80 - 85	0.40	-0.5	80 - 85(h)	0.27	2-3 meses
Pasas	0.47	0.33	25.0	---	---	7	85 - 90	---	4	85 - 90	---	3-6 meses
Frambuesas	0.84	0.44	67.8	-1.1	80.6	-0.5	85 - 90	1.3	---	---	---	3 días
Fresas	0.92	0.42	71.7	-0.8	89.9	-0.5	85 - 90	1.0	---	---	---	5-7 días
Mandarinas	0.90	0.46	69.4	-1.0	87.3	4	85 - 90	0.9	0	85 - 90	0.63	2-4 seman.
CARNE												
Tocino (curado)	0.43	0.29	21.7	---	28.0	13	55 - 65	---	---	---	---	15 días
Carne de Res												
- Seca	---	---	---	---	---	---	---	---	13	65 - 70	---	6 meses
- Fresca	0.77	0.42	55.0	-1.1(c)	70.0	1(h)	85 - 90	---	0(h)	85 - 90	---	3 seman.
- En salmuera	---	---	---	---	---	4	80 - 85(k)	---	0	80 - 85(k)	---	6 meses
Hígado / Lengua	0.77	0.44	56.7	---	72.0	1	85 - 90	---	0	85 - 90	---	3 seman.
Jamón / Espaldilla												
- Fresco	0.61	0.35	44.4	-1.1(c)	54.0	1(h)	85 - 88	---	-2(h)	85 - 88	---	3 seman.

Referencias al final de la tabla (página 253).

Continúa...

Propiedades y Datos de Almacenamiento para Productos Perecederos

PRODUCTO	CALOR ESPECIFICO kcal/kg °C (a)		CALOR LATENTE DE FUSIÓN kcal/kg (b)	PUNTO DE CONGEL. MAS ALTO °C	CONT. DE HUMEDAD %	ALMACENAJE CORTO			ALMACENAJE PROLONGADO			
	ARRIBA DEL PUNTO DE CONGEL.	ABAJO DEL PUNTO DE CONGEL.				TEMP. °C	% h.r. MIN. MAX.	CALOR DE RESPIRACIO kcal/kg DIA	TEMP. °C	% h.r. MIN. MAX.	CALOR DE RESPI-RACION kcal/kg DIA	VIDA DE ALMACE-NAMIENTO APROX.
AVES												
Pollo	0.80	0.42	58.9	-2.8(c)	74.0	-2	85 - 90	---	---	---	---	10 días
Ganso	0.58	0.35	38.3	-2.2	48.0	-2	85 - 90	---	---	---	---	10 días
Pavo	0.66	0.38	45.6	-2.2	57.0	-2	85 - 90	---	---	---	---	10 días
Silvestres	0.80	0.42	63.3	-2.8(c)	77.0	-2	85 - 90	---	---	---	---	10 días
Aves Congeladas	---	0.40(c)	---	-2.8(c)	---	-21	85 - 90	---	-23	90 - 95	---	10 meses
MARISCOS												
Almejas												
- En Concha	0.84	0.44	63.9	-2.7	80.0	0	---	---	---	---	---	15 días
- Sin Concha	0.90	0.46	69.5	-2.7	87.0	0	70 - 75	---	---	---	---	10 días
Cangrejos (cocidos)	0.83	0.44	63.9	---	80.0	-4	80 - 90	---	---	---	---	10 días
Pescados												
- Frescos	0.80(c)	0.43(c)	61.1(c)	-2.2(c)	80.0(c)	-1	80 - 95(h)	---	---	---	---	15 días
- Congelados	---	0.43(c)	---	---	---	-21	---	---	-23	---	---	8 meses
- Ahumados	0.70	0.39	51.1	---	---	7	50 - 60	---	4	50 - 60	---	6 meses
Langostas	0.83	0.44	62.8	---	79.0	-4	80 - 90	---	---	---	---	10 días
Ostiones												
- En Concha	0.84	0.44	63.9	-2.8	80.0	0	---	---	---	---	---	15 días
- Sin Concha	0.90	0.46	69.5	-2.8	87.0	0	70 - 75	---	---	---	---	10 días
Camarones / Moluscos	0.83	0.45	66.1	-2.2	75.0	0	70 - 75	---	---	---	---	7-10 días
VEGETALES												
Alcachofas	0.87	0.45	66.7	-1.2	83.7	4	90 - 95	4.0	-0.5	90 - 95	2.8	1-2 seman.
Espárragos	0.94	0.48	74.5	-0.6	93.0	0	85 - 90	.47	0	85 - 90(h)	0.5	3-4 seman.
Habichuelas Verdes	0.91	0.47	71.1	-0.7	88.9	7	85 - 90	2.7	7	85 - 90(h)	2.7	7-10 días
Habas	0.73	0.40	52.2	-0.6	66.5	4	85 - 90	4.0	0	85 - 90(h)	2.7	1-2 seman.
Betabeles												
- Con Rabo	0.90	0.46	70.0	-0.4	87.6	4	85 - 90	1.3	0	95(h)	0.8	10-14 días
- Sin Rabo	0.90	0.46	70.0	-1.0	87.6	4	85 - 90	1.3	0	85 - 90	0.8	3 meses
Brócoli	0.92	0.47	72.2	-0.6	89.9	4	90 - 95	1.3	0	90 - 95	0.8	9-12 días
Col de Bruselas	0.88	0.46	72.2	-0.6	89.9	4	90 - 95	1.3	0	90 - 95(h)	0.8	3-5 seman.
Repollos	0.94	0.47	73.3	-0.9	92.4	2	90 - 95	1.3	0	90 - 95(h)	0.8	3-4 meses
Zanahorias												
- Con Rabo	0.86	0.46	70.0	-1.4	88.2	4	85 - 90	1.1	0	85 - 90(h)	0.7	10-14 días
- Sin Rabo	0.90	0.46	70.0	-1.4	88.2	4	85 - 90	1.1	0	95	0.7	4-5 meses
Coliflor	0.93	0.47	73.3	-0.8	91.7	2	85 - 90	1.3	0	85 - 90(h)	0.8	2-4 seman.
Apio	0.95	0.48	75	-0.5	93.7	2	85 - 90	1.3	0	90 - 95(h)	0.8	3-4 meses
Col	0.90	---	---	-0.8	86.9	2	85 - 90	1.3	0	90 - 95(h)	0.8	2 seman.

Referencias al final de la tabla (página 253)

Continúa...

Propiedades y Datos de Almacenamiento para Productos Perecederos

Referencias al final de la tabla (página 253)

Continúa...

Propiedades y Datos de Almacenamiento para Productos Perecederos

PRODUCTO	CALOR ESPECIFICO kcal/kg °C (a)		CALOR LATENTE DE FUSION kcal/kg (b)	PUNTO DE CONGEL. °C	CONTENIDO DE HUMEDAD %	ALMACENAJE CORTO			ALMACENAJE PROLONGADO			
	ARRIBA DEL PUNTO DE CONGEL.	ABAJO DEL PUNTO DE CONGEL.				TEMP. °C	% h.r. MIN. MAX.	CALOR DE RESPIRACIO kcal/kg DIA	TEMP. °C	% h.r. MIN. MAX.	CALOR DE RESPI-RACION kcal/kg DIA	VIDA DE ALMACE-NAMIENTO APROX.
Nueces												
- Con Cáscara	0.25	0.22	4.4(c)	---	6.0(c)	4 a 7	65 - 75	---	-2 a 0	65 - 75	---	10 meses
- Sin Cáscara	0.30	0.24	5.6(c)	---	8.0(c)	4 a 7	65 - 75	---	-2 a 0	65 - 75	---	8 meses
Aceite Vegetal	---	---	---	---	0	21	---	---	21	---	---	1 año
Jugo de Naranja frío	0.91	0.47	71.1	---	89.0	2	---	---	-1	---	---	6 seman.
Maíz Palomero	0.31	0.24	10.6	---	13.5	4	85	---	0	85	---	---
Alimentos Congelados												
Precocidos	---	---	---	---	---	-18	---	---	-23	---	---	10 meses
Sueros / Vacunas	---	---	---	---	---	7	70	---	4	70	---	---
Levadura	0.77	0.41	56.7	---	70.9	2	80 - 85	---	-0.5	75 - 80	---	---

Notas: ***a***. *Los calores específicos para productos no incluidos en la lista, se pueden estimar como sigue:*
Calor específico arriba de congelación = 0.20 + (0.008 x % agua).
Calor específico abajo de congelación = 0.20 + (0.003 x % agua).

b. *Los calores latentes de fusión para productos no incluidos en la lista, se pueden estimar como sigue:*
Calor de fusión = % agua x 79.7 Kcal/kg.

c. *Valor promedio.*

d. *Los huevos con albúmen (clara) débil, se congelan abajo de -1°C.*

e. *Los limones en los mercados terminales se acostumbra almacenarlos entre 10 y 13°C; algunas veces se usa 0°C.*

f. *La temperatura óptima de almacenamiento, varía ampliamente con la región donde se cultivan y/o con la variedad.*
Por ejemplo, las temperaturas recomendadas para manzanas andan en el rango de 0 °C (Golden Delicious) a 3.3°C (Mcintosh).

g. *El período de almacenamiento es variable, varía ampliamente con el tipo de producto.*

h. *Las condiciones de diseño del cuarto son críticas.*
Los productos deberán curarse de 10 a 14 días a 30°C, y una hr entre 85 y 90% para un almacenamiento exitoso.

j. *En los casos donde el producto es sellado del aire, o donde el % de hr no es crítico, la humedad relativa se dejó en blanco (--).*

k. *Con barriles de madera se requiere alta humedad para evitar que se resequen y resulten fugas.*

l. *Es deseable una humedad constante.*

Condiciones de Almacenamiento para Flores y Plantas de Vivero

	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO		VIDA DE ALMACENA-MIENTO APROX.	METODO DE EMPAQUE	PUNTO DE CONGELACION MAS ALTO °C
	TEMP. °C	h.r. %			
FLORES CORTADAS					
Cala	4	90 - 95	1 semana	Empaque seco	---
Camelia	7	90 - 95	3-6 días	Empaque seco	-0.8
Clavel	0 a 2	90 - 95	1mes	Empaque seco	-0.7
Crisantemo	0 a 2	90 - 95	3-6 semanas	Empaque seco	-0.8
Narciso	0 a 1	90 - 95	1-3 semanas	Empaque seco	-0.1
Dalia	4	90 - 95	3-5 días	Empaque seco	---
Gardenia	0 a 1	90 - 95	2-3 semanas	Empaque seco	-0.6
Gladíolo	2 a 4	90 - 95	1 semana	Empaque seco	-0.3
Lis	0 a 2	90 - 95	2 semanas	Empaque seco	-0.8
Lirio (Azucena)	0 a 2	90 - 95	2-3 semanas	Empaque seco	-0.5
Lirio de los Valles	-1 a 0	90 - 95	2-3 semanas	Empaque seco	---
Orquidea	7 a 10	90 - 95	2 semanas	Agua	-0.3
Peonía (botón)	0 a 2	90 - 95	4-6 semanas	Empaque seco	-0.1
Rosa (botón)	0	90 - 95	1-2 semanas	Empaque seco	-0.4
Becerra o Dragón	-1 a 0	90 - 95	3-4 semanas	Empaque seco	-0.9
Guisante de Olor	-1 a 0	90 - 95	2 semanas	Empaque seco	-0.9
Tulipán	-1 a 0	90 - 95	4-8 semanas	Empaque seco	---
VERDES					
Espárrago	0 a 4	90 - 95	4-5 meses	Cajas forradas	-3.3
Helecho	-1 a 0	90 - 95	4-5 meses	Empaque seco	-1.7
Acebo	0	90 - 95	4-5 semanas	Empaque seco	-2.8
Arándano	0	90 - 95	1-4 semanas	Empaque seco	-2.9
Laurel	0	90 - 95	1-4 semanas	Empaque seco	-2.4
Magnolia	2 a 4	90 - 95	1-4 semanas	Empaque seco	-2.8
Rododendro	0	90 - 95	1-4 semanas	Empaque seco	-2.4
BULBOS					
Amarilis o Narciso	3 a 7	70 - 75	5 meses	Seco	-0.7
Azafrán	9 a 17	---	2-3 meses	---	---
Dalia	4 a 7	70 - 75	5 meses	Seco	-1.8
Gladiola	3 a 10	70 - 75	8 meses	Seco	-2.1
Jacinto	13 a 21	---	2-5 meses	---	-1.5
Lis (Holanda y España)	27 a 29	70 - 75	4 meses	Seco	---
Gloriosa	17	70 - 75	3-4 meses	Forradas	---
- Candidum	-1 a 1	70 - 75	1-6 meses	Forradas y musgo	---
- Croft	-1 a 1	70 - 75	1-6 meses	Forradas y musgo	---
- Longiflorum	-1 a 1	70 - 75	1-10 meses	Forradas y musgo	-1.7
- Speciosum	-1 a 1	70 - 75	1-6 meses	Forradas y musgo	---
Peonía	1 a 2	70 - 75	5 meses	Seco	---
Tuberosa (Nardo)	4 a 7	70 - 75	4 meses	Seco	---
Tulipán	-1 a 0	70 - 75	5-6 meses	Seco	-2.4
PLANTAS DE VIVERO					
Arboles y Arbustos	0 a 2	80 - 85	4-5 meses	---	---
Rosales	0	85 - 90	4-5 meses	Forradas con la raíz descubierta	---
Plantas de Fresa	-1 a 0	80 - 85	8-10 meses	Forradas con la raíz descubierta	-1.2
Cortes Enraizados	1 a 4	85 - 90	---	Forradas	---
Plantas Perennes	-3 a 2	80 - 85	---	Forradas	---
Arboles de Navidad	-6 a 0	80 - 85	6-7 semanas	Forradas	---

Información Técnica

Fracción de pulgada	Fracción decimal de pulgada	Milímetros	Fracción de pulgada	Fracción decimal de pulgada	Milímetros
1/64	0.0156	0.3967	33/64	0.5162	13.0968
1/32	0.0312	0.7937	17/32	0.5312	13.4937
3/64	0.0468	1.1906	35/64	0.5468	13.8906
1/16	0.0625	1.5875	9/16	0.5625	14.2875
5/64	0.0781	1.9843	37/64	0.5781	14.6843
3/32	0.0937	2.3812	19/32	0.5937	15.0812
7/64	0.1093	2.7781	39/64	0.6093	15.4781
1/8	0.125	3.175	5/8	0.625	15.875
9/64	0.1406	3.5718	41/64	0.6406	16.2718
5/32	0.1562	3.9687	21/32	0.6562	16.6687
11/64	0.1718	4.3656	43/64	0.6718	17.0656
3/16	0.1875	4.7625	11/16	0.6875	17.4625
13/64	0.2031	5.1593	45/65	0.7031	17.8593
7/32	0.2187	5.5562	23/32	0.7187	18.2562
15/64	0.2343	5.9531	47/64	0.7343	18.6531
1/4	0.25	6.5	3/4	0.75	19.05
17/64	0.2656	6.7468	49/64	0.7656	19.4468
9/32	0.2812	7.1437	25/32	0.7812	19.8437
19/64	0.2968	7.5406	51/64	0.7968	20.2406
5/16	0.3125	7.9375	13/16	0.8125	20.6375
21/64	0.3281	8.3343	53/64	0.8281	21.0343
11/32	0.3437	8.7312	27/32	0.8437	21.4312
23/64	0.3593	9.1281	55/64	0.8593	21.8281
3/8	0.375	9.525	7/8	0.875	22.225
25/64	0.3906	9.9218	57/64	0.8906	22.6218
13/32	0.4062	10.3187	29/32	0.9062	23.0187
27/64	0.4218	10.7156	59/64	0.9218	23.4156
7/16	0.4375	11.1125	15/16	0.9375	23.8125
29/64	0.4531	11.5093	61/64	0.9531	24.2093
15/32	0.4687	11.9062	31/32	0.9687	24.6062
31/64	0.4843	12.3031	63/64	0.9843	25.0031
1/2	0.5	12.7	1	1.000	25.4

Tabla 15.25 - Fracciones y decimales de pulgada y su equivalente en mm.

MATERIAL	k	R*	MATERIAL	k	R*
SUSTANCIAS VARIAS			MATERIALES AISLANTES		
Aire	0.175	5.714	Corcho (granulado)	0.34	2.941
Concreto	8.000	0.125	Madera Balsa	0.32	3.125
Vidrio	5.000	0.20	Fieltro	0.25	4.00
Plomo	243.000	0.004	Fibra de Vidrio	0.29	3.448
Vacío (alto)	0.004	250.0	Poliuretano	0.16	6.25
			Hule, Celular	0.37	2.703
			Aglomerado (pino)	0.57	1.754
			Lana	0.26	3.846

Tabla 15.26 - Conductividad térmica de algunos materiales.
k = está dado en btu/h·ft²·°F.
** R = recíproco del coeficiente de transferencia de calor (k).*

Tubería de Cobre - La mayoría de la tubería utilizada en refrigeración es de cobre (excepto con amoniaco).

La tubería de cobre viene disponible en tipos rígido y flexible. Ambos tipos los hay disponibles en dos espesores de pared, K y L. El tipo K es de pared gruesa, y el tipo L es de espesor mediano. La tubería más usual en refrigeración es el tipo L. El cobre suave se presenta en rollos de 8 m y 15 m, y se utiliza principalmente en refrigeración doméstica y comercial. Es muy flexible y se dobla fácilmente. Se fabrica en diámetros desde 3/16 hasta 3/4 de pulgada.

El tubo de cobre duro o rígido, se usa en refrigeración comercial y aire acondicionado. No se debe doblar ni hacer conexiones "flare", las uniones son soldadas. Se presenta en tramos de tubo de 6 m.

Diámetro Nominal (pulg.)	Tipo	Diámetro		Espesor de pared (pulg.)	Peso (kg/m)	Presión de Trabajo	
		ext. (pulg.)	Int. (pulg.)			bar	psia
1/4	K	0.375	0.305	0.035	0.216	63.3	918
	L	0.375	0.315	0.030	0.188	52.7	764
3/8	K	0.500	0.402	0.049	0.400	68.1	988
	L	0.500	0.430	0.035	0.295	46.7	677
1/2	K	0.625	0.527	0.049	0.512	53.7	779
	L	0.625	0.545	0.040	0.424	43.1	625
5/8	K	0.750	0.652	0.049	0.622	44.3	643
	L	0.750	0.666	0.042	0.539	37.7	547
3/4	K	0.875	0.745	0.065	0.954	51.5	747
	L	0.875	0.785	0.045	0.677	34.3	497
1	K	1.125	0.995	0.065	1.249	39.6	574
	L	1.125	1.025	0.050	0.975	29.8	432
1-1/4	K	1.375	1.245	0.065	1.548	32.1	466
	L	1.375	1.265	0.055	1.316	26.7	387
1-1/2	K	1.625	1.481	0.072	2.024	29.0	421
	L	1.625	1.505	0.060	1.697	24.8	359
2	K	2.125	1.959	0.083	3.066	25.9	376
	L	2.125	1.985	0.070	2.604	21.8	316
2-1/2	K	2.625	2.435	0.095	4.360	24.3	352
	L	2.625	2.465	0.080	3.690	20.3	295
3	K	3.125	2.907	0.109	5.953	23.6	343
	L	3.125	2.945	0.090	4.956	19.1	278
3-1/2	K	3.625	3.385	0.120	7.620	22.3	324
	L	3.625	3.425	0.100	6.384	18.5	268
4	K	4.125	3.857	0.134	9.688	21.7	315
	L	4.125	3.905	0.110	8.007	17.7	256

Tabla 15.27 - Medidas de tubería de cobre (ASTM B-88).

Longitud Equivalente de Tubería - Cada válvula, conexión, accesorio y vuelta en una línea de refrigeración, contribuye a la caída de presión por fricción debido a su restricción a un flujo estable. Debido a la complejidad de calcular la caída de presión a través de cada una de ellas en lo individual, la práctica normal es establecer un equivalente en longitud de tubería recta para cada accesorio.

D.E. DE LINEA		CODO 90°	CODO 45°	"T" (LINEA)	"T" (RAMAL)	VALVULAS (ABIERTAS)		
mm	pulg					GLOBO	ANGULO	CHECK
12.7	1/2	0.27	0.12	0.18	0.61	4.26	2.13	1.8
15.9	5/8	0.30	0.15	0.24	0.76	4.88	2.75	2.4
22.2	7/8	0.45	0.21	0.30	1.07	6.70	3.65	3.0
28.6	1-1/8	0.55	0.27	0.46	1.37	8.53	4.60	4.3
34.9	1-3/8	0.73	0.36	0.55	1.83	11.00	5.50	4.9
41.3	1-5/8	0.85	0.43	0.61	2.13	12.80	6.40	6.1
54.0	2-1/8	1.20	0.55	0.91	3.05	17.40	8.50	7.6
66.7	2-5/8	1.40	0.67	1.07	3.65	21.00	10.40	8.3
79.4	3-1/8	1.70	0.82	1.37	4.60	25.30	12.80	9.1

Tabla 15.28 - Longitud equivalente en metros de tubo recto para válvulas y conexiones.

Procesos de Soldadura Capilar para Tuberías de Cobre Rígido

Antes de ver paso a paso el proceso recomendado para soldar tubería de cobre rígido, mencionaremos algunas de sus características y ventajas.

Diámetros Nominal, Exterior e Interior

Los diámetros de las tuberías rígidas son nominales. Para conocer el diámetro exterior correspondiente, se debe sumar 1/8 de pulgada al diámetro nominal y, si se quiere conocer el diámetro interior, bastará con restar dos veces el espesor de la pared correspondiente. Ver figura 15.29.

Las principales características y ventajas de la tubería de cobre rígido son:

- Resistencia a la corrosión.
- Se fabrican sin costura.
- Continuidad de flujo.
- Facilidad de unión.
- Fácil de cortar y de soldar.

Conexiones Soldables

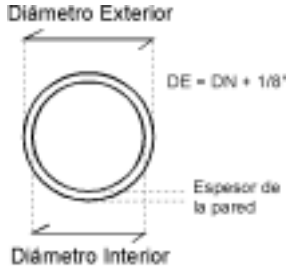


Figura 15.29 - Determinación del DE y DI de un tubo rígido.

Las conexiones soldables para unir tubería de cobre, son fabricadas de tal manera que permiten, una vez ensambladas, tener juego de muy pocas milésimas, justamente lo necesario para realizar el proceso de soldadura capilar. Todas las conexiones cuentan con un tope o asiento en su interior, que permite introducir el extremo del tubo de cobre, no dejando ningún espacio muerto que pudiera crear turbulencias en los fluidos. Además, todas las conexiones soldables vienen grabadas en los extremos, con la medida del diámetro nominal de entrada.

Las conexiones soldables se fabrican de diferentes materiales: cobre, bronce y latón. La gama de conexiones es muy variada.

Las conexiones de cobre son las más recomendables para unir tuberías de cobre, puesto que son del mismo metal y tienen las mismas características. Se fabrican codos de 90º y de 45º, tees, coples, reducciones de buje y campana, etc...

Las conexiones de bronce son una aleación de cobre, zinc, estaño y plomo. Son piezas fundidas y posteriormente maquinadas, por lo que su superficie exterior es rugosa. Se fabrican también roscables, además de soldables, en variedades como codos, tees, coples, reducciones, yees, tapones, conectores, tuerca unión, etc.

Las conexiones de latón son aleaciones de cobre y zinc y piezas forjadas. Por lo regular, tienen un extremo soldable y uno roscado, para unir una pieza roscable con un tubo de cobre. Comercialmente, se identifican nombrando primero la unión soldable y luego la roscable.

Todos los tipos de conexiones antes mencionados, se pueden obtener fácilimente en el mercado, y para identificarlas existe una manera comercial, dependiendo del tipo y del diámetro nominal. Normalmente, una conexión que tiene el mismo diámetro en todos sus extremos, se nombra por su medida nominal. En el caso de conexiones con rosca, se debe indicar claramente el lado roscable y el tipo de rosca (interior o exterior). Para las conexiones soldables con reducción, se da primero el diámetro mayor y luego el menor, como en el caso de coples y codos reducidos. Las tees reducidas, tomando en cuenta que tienen dos lados en línea recta, se nombra primero el de mayor diámetro, luego el extremo opuesto y finalmente el diámetro del centro.

Proceso de Soldadura Capilar

La unión de tubería de cobre y conexiones soldables, se hace por medio de "soldadura capilar". Este tipo de soldadura se basa en el fenómeno físico de la capilaridad, que se define como sigue: cualquier líquido que moje un cuerpo sólido, tiende a deslizarse por la superficie del mismo, independientemente de la posición en que se encuentre. Al realizar una soldadura, se calientan el tubo y la conexión hasta alcanzar la temperatura de fusión de la soldadura, la cual correrá por el espacio entre el tubo y la conexión, cualquiera que sea la posición que estos tengan.

Tipos de Soldadura

En general, podemos decir que las soldaduras son aleaciones de dos o más metales en diferentes proporciones. Las soldaduras deben fundir a temperaturas menores que las piezas metálicas a unir.

Aunque existen muchos tipos de soldaduras, aquí hablaremos de las que sirven para unir tuberías y conexiones de cobre o aleaciones de éste. La unión de tuberías de cobre se realiza por medio de dos tipos de soldaduras: blandas y fuertes, según sea el caso. Estas soldaduras son :

Soldaduras Blandas - Son todas aquellas que tienen su punto de fusión abajo de 450ºC (842ºF). Se utilizan principalmente en instalaciones hidráulicas en los desagües de los evaporadores, ya que no es recomendable someterlas a alta presión. Existen tres de uso común y se emplean de acuerdo al fluido. En la tabla 15.30, se muestran las características de estos tipos de soldaduras.

Soldaduras Fuertes - Estas se dividen en dos clases: las que contienen plata y las que contienen cobre y fósforo. Estos tipos de soldaduras tienen puntos de fusión mayores de 430ºC, y son las recomendadas para instalaciones de sistemas de refrigeración, aunque se prefieren las de cobre y fósforo para unir tuberías y conexiones de cobre.

ALEACION	COMPOSICION	TEMPERATURA DE FUSION		TEMPERATURA MAXIMA DE TRABAJO	PRESION MAXIMA DE TRABAJO		DENSIDAD ESPECIFICA kg/cm²
		SOLIDO	LIQUIDO		AGUA	VAPOR	
40:60	40% estaño 60% plomo	183 °C	238 °C	100 °C	8 kg/cm²	---	9.3
50:50	50% estaño 50% plomo	183 °C	216 °C	120 °C	10 kg/cm²	0.5 kg/cm²	8.85
95:5	95% estaño 5% antimonio	232 °C	238 °C	155 °C	18 kg/cm²	1.0 kg/cm²	7.50

Tabla 15.30
Tipos de soldaduras blandas empleadas en tubo de cobre.

El fósforo en este tipo de soldaduras, actúa como un agente fundente, y éstas son de menor costo que las de alto contenido de plata, por lo que en ocasiones, no se requiere aplicar fundente.

En las soldaduras de plata, la aleación varía desde un 5% hasta un 60% de plata, y su punto de fusión depende de esta aleación. Por ejemplo, una soldadura con 5% de plata funde a 675ºC, y con 15% de plata funde a 640ºC.

Las soldaduras de cobre y fósforo, tienen puntos de fusión mayores (700ºC) y alta resistencia a la tensión (2,800 kg/cm²). Existen soldaduras de cobre fosforado con contenido de 5% de plata, lo que le da mayor resistencia (más de 2,900 kg/cm²).

La selección de una soldadura fuerte, depende de cuatro factores principales:

- Dimensiones y tolerancias de la unión.
- Tipo y material de la conexión (fundida o forjada).
- Apariencia deseada.
- Costo.

Las soldaduras fuertes tienen la ventaja de que se pueden unir metales similares y diferentes a temperaturas relativamente bajas.

Fundente

El fundente tiene una función muy apropiada. Debe disolver o absorber los óxidos, tanto en la superficie del metal, como en la superficie de la soldadura, los cuales se forman durante el calentamiento. Para lograr esto, debe de adherirse tan ligeramente a la superficie metálica, que la soldadura pueda sacarla de allí conforme avanza sobre la superficie. El fundente no limpia el metal. Lo mantiene limpio, una vez que se ha removido la suciedad y el óxido.

Al aplicar cualquiera de las soldaduras blandas, es indispensable utilizar fundente. El fundente debe ser anticorrosivo o exclusivo para soldar tubería de cobre. Debe agitarse antes de usarlo. Debe aplicarse una capa delgada y uniforme con una brocha o cepillo, tanto al tubo como a la conexión. Debe evitarse aplicarlo con los dedos, ya que los compuestos químicos del fundente, pueden ser dañinos si llegan a los ojos o una herida abierta.

Los fundentes para soldaduras fuertes, son diferentes en composición que los de soldaduras blandas. No pueden y no deben intercambiarse. Los fundentes para soldaduras fuertes son a base de agua. El fundente puede ser una fuente de corrosión en un sistema. Debe evitarse que entre en él.

NOTA: Existen ciertos tipos de soldaduras, que en su interior contienen resina (alma ácida); sin embargo, estas soldaduras no son recomendadas para unir tuberías de cobre, pues el poder humectante del fundente que contienen, no es suficiente, ya que viene en mínimas proporciones, además de contener ácido.

El Soplete

Cuando se va a unir una tubería de cobre regida por medio de una conexión, es necesario aplicar calor. Este calor lo proporciona una flama lo suficiente intensa, que al aplicarla al tubo, la soldadura se derrita al contacto.

El artefacto que proporciona este calor es el soplete, el cual puede ser de diferentes combustibles: gasolina, propano, gas L.P. oxi-acetilono, etc.

La llama de un soplete tiene dos coloraciones, que corresponden a diversos grados de calor. La llama amarilla es luminosa pero no muy calorífica. Al abrir poco a poco la esprea, pasa más mezcla gas-aire si hay suficiente presión, desaparece la flama amarilla para convertirse en azul, que es más calorífica; y a medida que la esprea se abra más, se intensifica el calor.

Ya sea que el combustible sea acetileno, propano o gas natural (L.P.), hay tres tipos básicos de flamas que se producen, cuando se mezclan con el oxígeno en el soplete:

Flama Neutral - Es la que tiene enmedio un pequeño cono azul. Esta flama típicamente es la más caliente, y se utiliza cuando se requiere aplicar calor en un solo punto específico.

Flama Oxidante - Esta se produce cuando hay presente más oxígeno del necesario, para la combustión completa del gas. Se caracteriza porque el cono azul es el más corto, cuando se usa acetileno con oxígeno. Otra característica es el sonido áspero que hace el soplete, debido al exceso de oxígeno.

GAS	FORMULA QUIMICA	kcal/m³	TEMP. DE LA FLAMA CON AIRE (°C)	TEMP. DE LA FLAMA CON OXIGENO PURO (°C)
Acetileno	C_2H_2	13,126	2,650	3,090 - 3,260
Hidrógeno	H_2	2,447	2,200	2,420 - 2,870
Propano	C_3H_8	22,426	2,090	2,930 - 3,100
Butano	C_3H_{10}	28,922	2,150	2,980
Gas Natural	CH_4, H_2	8,900	2,090	2,775
	----------	21,360	1,470	2,930

Tabla 15.31 - Calor y temperatura de flama de varios gases combustibles.

Este tipo de flama no se recomienda para soldar; el exceso de oxígeno, contribuye a la oxidación de los metales.

Flama Reductora -También llamada carburante, es la contraria a la flama oxidante. Esta flama tiene una proporción tal de gas-oxígeno que, hay presente un exceso de gas combustible. Se caracteriza por tener el cono azul más grande que el de la flama oxidante, con un cono suave y blanco alrededor del azul. Es la flama predominantemente recomendada para soldar.

La flama reductora ofrece varias ventajas. Primera, realmente ayuda a eliminar el óxido de la superficie de los metales. Segunda, calienta de manera más uniforme ya que, "envuelve" al tubo. Esto se logra aplicando la flama de tal manera, que la punta del cono blanco apenas toque el tubo. Tercera, se reduce el riesgo de sobrecalentar más en un solo punto como con las otras flamas.

Hay diferencias de temperaturas entre los diferentes tipos de flamas, al igual que en los diferentes gases combustibles, como se muestra en la tabla 15.31.

Se recomienda que para soldar tubos hasta de 1", no se empleé una flama demasiado fuerte, pues el calentamiento de la unión sería demasiado rápido y no se podría controlar fácilmente, con el peligro de una evaporación inmediata del fundente y oxidación del cobre, lo que impide que corra la soldadura. En medidas mayores de 1", puede emplearse una flama intensa, pues aquí no existe ese peligro. En diámetros de 3" a 4", será conveniente aplicar más calor.

Proceso para Soldar

Antes de todo, se debe tener la certeza del uso que va a tener la tubería, para saber el tipo de soldadura y de fundente que se va a emplear. Como ya mencionamos, existen soldaduras blandas a base de estaño y plomo y soldaduras fuertes de cobre y fósforo, y de aleaciones de plata. Las soldaduras blandas tienen puntos de fusión menores de 430°C, y las soldaduras fuertes tienen puntos de fusión mayores de 430°C. Las primeras se usan en instalaciones hidráulicas y las otras en el sistema de refrigeración.

La teoría básica y técnica de soldado, son las mismas para todos los diámetros. Las variables son: las cantidades requeridas de tiempo, calor y soldadura, para completar una unión designada. Una buena unión es el producto de un técnico bien capacitado, que conoce y respeta los materiales y métodos que utiliza.

Los pasos básicos en el proceso de soldadura son los siguientes:

Medición - La medición del largo del tubo debe ser precisa. Si el tubo es muy corto, no alcanzará a llegar al tope de la conexión, y no se podrá hacer una unión adecuada.

Corte - El corte de un tubo puede hacerse de diferentes maneras, para obtener un corte a escuadra satisfactorio. El tubo puede ser cortado con un cortatubo, con una segueta, con disco abrasivo o con sierra cinta. Si se utiliza segueta, ésta debe ser de diente fino (32 dientes/pulgada) y deberá utilizarse una guía para que el corte sea a escuadra. Independientemente del método de corte que se utilice, el corte debe ser a escuadra, para que se pueda tener un asiento perfecto entre el extremo del tubo y el tope de la conexión, evitando fugas de soldadura. Se debe tener cuidado de no deformar el tubo mientras se está cortando.

Rimado - La mayoría de los métodos de corte, dejan rebabas en el extremo del tubo. Si éstas no se remueven, puede ocurrir erosión y corrosión, debido a la turbulencia y a la velocidad en el tubo. Las herramientas que se usan para rimar los extremos de los tubos son varias. Los corta tubos tienen una cuchilla triangular; se puede usar una navaja de bolsillo o una herramienta adecuada, como el rimador en forma de barril, el cual sirve para rimar el tubo por dentro y por fuera. Con tubo de cobre flexible, se debe tener cuidado de no ejercer demasiada presión, para no deformarlo. Un tramo de tubo rimado apropiadamente, tendrá una superficie suave para un mejor flujo.

Limpieza - La limpieza se hace fácil y rápida. Para que la soldadura fluya adecuadamente, es crucial que se remueva el óxido y la suciedad. Si esto no se hace, el óxido y la suciedad de la superficie pueden interferir con la resistencia de la unión y causar una falla.

La limpieza mecánica es una operación simple. El extremo del tubo deberá limpiarse utilizando lija de esmeril, lana de acero o fibra de nylon, en una distancia ligeramente mayor que la profundidad de la conexión. También deberá limpiarse la conexión por dentro, utilizando lija o cepillo de

alambre del tamaño apropiado. No use franela. Deben tenerse las mismas precauciones que con el tubo.

El cobre es un metal suave; si remueve demasiado material, quedará floja la conexión, interfiriendo con la acción capilar al soldar. El espacio capilar entre el tubo y la conexión, es aproximadamente de 4 milésimas de pulgada (0.004").

La soldadura puede llenar este espacio por acción capilar. Este espacio es crítico para que la soldadura fluya y forme una unión fuerte.

Se pueden utilizar limpiadores químicos, siempre y cuando se enjuaguen completamente la conexión y el tubo, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante del limpiador. Esto neutralizará cualquier condición ácida que pueda existir. Las superficies una vez limpias, no deberán tocarse con las manos o guantes grasosos. Los aceites de la piel o lubricantes y la grasa, pueden impedir que la soldadura fluya y humedezca el tubo.

Rangos de Temperatura - Hasta este punto, los pasos para el proceso de soldadura son los mismos para soldaduras blandas y fuertes; la selección de uno u otro tipo, dependerá de las condiciones de operación. En la práctica real, la soldadura blanda se aplica a temperaturas entre 175 y 290ºC, mientras que la soldadura fuerte se hace a temperaturas de entre 590 y 850ºC.

Aplicación del Fundente - Para soldaduras blandas, decíamos que es indispensable el uso de fundente. En las soldaduras fuertes, algunas no requieren el uso de fundente para soldar cobre a cobre; en uniones de cobre a bronce y cobre a latón, sí se requiere fundente, al igual que en soldaduras con aleaciones de plata.

Los fundentes para soldaduras blandas son diferentes en su composición, a los de soldaduras fuertes, y no deben de intercambiarse. La función del fundente se explicó en el párrafo correspondiente.

Se debe aplicar una capa delgada y uniforme, con un cepillo o brocha; **NUNCA CON LOS DEDOS**, tanto a la parte exterior del tubo como al interior de la conexión.

Ensamble - Después de haber limpiado ambas superficies, y aplicado el fundente en forma adecuada, se deben ensamblar colocando la conexión sobre el tubo, asegurándose que el tubo siente bien contra el tope de la conexión. Se recomienda hacer un ligero movimiento giratorio hacia uno y otro lado, para asegurar la distribución uniforme de la pasta fundente. Retire el exceso de fundente con un trapo o estopa de algodón. Si se van a efectuar varias soldaduras en una misma instalación, se recomienda preparar todas las de un mismo día de trabajo. Se debe tener cuidado para asegurarse que las conexiones y tubos estén adecuadamente soportados, con un espacio capilar razonable y uniforme alrededor de la circunferencia completa de la unión. Esta uniformidad del espacio capilar asegurará una buena penetración de la soldadura. Un espacio excesivo en la unión, puede provocar que la soldadura se agriete bajo una fuerte tensión o vibración.

Calentamiento - En este paso deben observarse las precauciones necesarias, debido a que se usan flama abierta y alta temperatura, aunado a la flamabilidad de los gases. El calor, generalmente se aplica con un soplete, aunque también se pueden utilizar tenazas eléctricas.

Los sopletes para soldaduras blandas, comúnmente operan a base de una mezcla de aire con algún combustible, tal como gasolina, acetileno o algún gas LP. Los sopletes para soldaduras fuertes utilizan una mezcla de oxígeno y algún combustible, debido a las altas temperaturas requeridas; el combustible puede ser cualquier gas L.P o acetileno. Recientemente, se han hecho innovaciones en las boquillas para aire/combustible, y ahora se pueden utilizar éstas en una más amplia variedad de tamaños, tanto para soldaduras blandas como para fuertes.

La operación de calentamiento empieza con un "precalentamiento", el cual se hace con la flama perpendicular al tubo, cerca de la entrada de la conexión. Este precalentamiento, conducirá el calor inicial hacia el interior de la conexión, para una distribución pareja por dentro y por fuera. El precalentamiento depende del diámetro de la unión; la experiencia le indicará el tiempo apropiado. La flama deberá moverse ahora hacia la conexión y luego hacia el tubo, en una distancia igual a la profundidad del conector. Toque la unión con la soldadura; si no se funde, retírela y continúe el proceso de calentamiento. Tenga cuidado de no sobrecalentar, ni de dirigir la flama al interior de la conexión. Esto puede quemar el fundente y destruir su efectividad. Cuando se ha alcanzado la temperatura de fusión, se puede aplicar calor a la base de la conexión, para ayudar en la acción capilar.

Aplicación de la Soldadura - Cuando se ha alcanzado la temperatura adecuada, si el tubo está en posición horizontal, comience a aplicar la soldadura en un punto como en el 4 de un reloj. Continúe en el 8, y luego en el 12. Regrese al 6, luego al 10, y finalmente al 2. La soldadura fundida será "jalada" hacia el interior de la conexión por la acción capilar, sin importar si ésta es alimentada hacia arriba, hacia abajo o en forma horizontal. En diámetros de tubería grandes, es recomendable golpetear levemente con un martillo en la conexión, mientras se está soldando, para romper la tensión superficial y que la soldadura se distribuya uniformemente en la unión.

Recuerde que la soldadura se debe fundir con el calor del metal. No la funda con la flama del soplete. Es muy importante que la flama esté en movimiento continuo, y no debe permitirse que permanezca demasiado en un punto como para que queme el tubo o la conexión.

Cuando se haya completado el proceso de soldadura, deberá quedar visible un anillo continuo alrededor de la unión. Si la soldadura falla en fluir o tiende a «hacerse bolas», indica que hay oxidación sobre las superficies metálicas, o el calor es insuficiente en las partes a unir.

Si la soldadura se rehusa a entrar en la unión y tiende a fluir sobre el exterior de cualquiera de las partes, esto indica que esa parte está sobrecalentada o que a la otra parte le hace falta calor.

Enfriamiento y Limpieza - Después que se ha terminado la unión, es mejor dejar enfriar en forma natural. Un enfriamiento brusco, puede causar un esfuerzo innecesario en la unión, y eventualmente, una falla.

Si la soldadura es blanda, el exceso de fundente debe limpiarse con un trapo de algodón húmedo.

Si la soldadura es fuerte, los residuos de fundente se deben remover lavando con agua caliente y cepillando, con cepillo de alambre de acero inoxidable.

Resumen - Si las partes a unir están adecuadamente preparadas, apropiadamente calentadas y si se usa la soldadura correcta, la unión final debe ser sana y firme. Los sistemas con tubería de cobre, cuando son instalados adecuadamente, proporcionarán años de servicio confiable y seguro. Con un entrenamiento adecuado sobre las técnicas de instalación correctas, como las expuestas aquí, le darán al técnico la habilidad de realizar uniones confiables y consistentes en todos los diámetros.

GLOSARIO

DICCIONARIO DE TERMINOS TECNICOS

En todos los negocios y profesiones, se tienen ciertas palabras y frases, las cuales tienen un significado especial que va más allá de las definiciones del diccionario. La siguiente lista de definiciones, se proporciona para familiarizar a técnicos y operadores, con los significados específicos de los términos que se utilizan en la industria de la refrigeración y aire acondicionado.

A

ABSORBENTE: Sustancia con la habilidad de tomar o absorber otra sustancia.

ACEITE PARA REFRIGERACIÓN: Aceite especialmente preparado, para usarse en el mecanismo de los sistemas de refrigeración.

ACONDICIONADOR DE AIRE: Dispositivo utilizado para controlar la temperatura, humedad, limpieza y movimiento del aire en el espacio acondicionado, ya sea para confort humano o proceso industrial.

ACTUADOR: La parte de una válvula reguladora que convierte el fluido mecánico, la energía térmica o la energía eléctrica, en movimiento mecánico para abrir o cerrar la válvula.

ACUMULADOR: Tanque de almacenamiento, el cual recibe refrigerante líquido del evaporador, evitando que fluya hacia la línea de succión antes de evaporarse.

ADIABÁTICA, COMPRESIÓN: Compresión de gas refrigerante, sin quitarle ni agregarle calor.

ADSORBENTE: Sustancia con la propiedad de retener moléculas de fluidos, sin causarles cambios físicos o químicos.

AERACIÓN: Combinación de las substancias con el aire.

AGITADOR: Dispositivo en forma de propela, utilizado para provocar movimientos en fluidos confinados.

AIRE ACONDICIONADO: Control de la temperatura, humedad, limpieza y movimiento de aire en un espacio confinado, según se requiera, para confort humano o proceso industrial. Control de temperatura significa calentar cuando el aire está frío, y enfriar cuando la temperatura es muy caliente.

AIRE NORMAL (Estándar): Aire que contiene una temperatura de 20 °C (68°F), una humedad relativa de 36 % y una presión de 101.325 kPa (14.7 psia).

AIRE RAM: Aire forzado a través del condensador, causado por el rápido movimiento de un vehículo en la carretera.

AIRE SECO: Aire en el cual no hay vapor de agua (humedad).

AISLAMIENTO (Eléctrico): Sustancia que casi no tiene electrones libres; lo anterior hace que sea pobre en la conducción de la corriente eléctrica.

AISLAMIENTO (Térmico): Material que es pobre conductor de calor; por lo que, se usa para retardar o disminuir el flujo de calor. Algunos materiales aislantes son corcho, fibra de vidrio, plásticos espumados (poliuretano y poliestireno), etc.

ALETA: Superficie metálica unida a un tubo para proporcionar mayor superficie de contacto, a fin de mejorar el enfriamiento. Las aletas pueden ser circulares, enrolladas en forma de espiral individualmente en cada tubo, o rectangulares en forma de placa, para un grupo de tubos. Se usan extensivamente en condensadores enfriados por aire y evaporadores.

ALGA: Baja forma de vida vegetal; se encuentra flotando libre en el agua.

ALLEN, LLAVE: Punta hexagonal, usada para adaptarse en tornillos u opresores con cabeza hueca.

ALÚMINA ACTIVADA: Compuesto químico que es una forma de óxido de aluminio. Se usa como desecante.

AMBIENTE: Condiciones circundantes.

AMONIACO: Combinación química de nitrógeno e hidrógeno (NH_3). También se usa como refrigerante y se identifica como R-717.

AMPERAJE: Flujo de electrones (corriente) de un Coulomb por segundo, que pasa por un punto dado de un circuito.

AMPERE: Unidad de corriente eléctrica. Equivale al flujo de un Coulomb por segundo.

AMPERÍMETRO: Medidor eléctrico calibrado en amperes, usado para medir corriente eléctrica.

AMPERÍMETRO REGISTRADOR: Instrumento eléctrico que se usa para registrar gráficamente sobre una carta de papel móvil, la cantidad de flujo de corriente.

ANEMÓMETRO: Instrumento utilizado para medir la proporción del flujo o movimiento (velocidad) del aire.

ANILLO "O": Dispositivo sellante circular, usado entre partes donde puede haber algún movimiento.

ANODO: Terminal positiva de una celda electrolítica.

ARCO ELÉCTRICO: Banda de chispas que se forma cuando una descarga eléctrica de un conductor, salta a otro conductor.

ARMADURA: Parte de un motor eléctrico, generador u otro dispositivo movido por magnetismo.

ARRANCADOR DEL MOTOR: Interruptor eléctrico de alta capacidad, normalmente operado por electroimán.

ARRANQUE (Cut-In): Término usado para referirse al valor de la presión o temperatura, a la cual cierra el circuito eléctrico de un control.

A.S.A.: Siglas de "American Standards Association". Ahora se le conoce como "American National Standards Institute" (A.N.S.I.).

ASIENTO: Parte del mecanismo de una válvula, contra la cual presiona la válvula para cerrar.

ASPIRACIÓN: Movimiento producido en un fluido por succión.

ATERRIZADO: Falla en un circuito eléctrico, el cual permite que la electricidad fluya a las partes metálicas del mecanismo.

ATMÓSFERA NORMAL (Estándar): Ver Aire Normal (Estándar).

ATOMIZAR: Proceso de cambiar un líquido a partículas minutas de fino rocío.

ÁTOMO: La partícula más pequeña de un elemento; puede existir sola, o en combinación con otros átomos.

AUTOTRANSFORMADOR: Transformador en el cual, tanto el devanado primario como el secundario, tienen vueltas en común. El alza o baja de voltaje, se lleva a cabo por derivaciones en el devanado común.

AUTO-INDUCTANCIA: Campo magnético inducido en el conductor que acarrea la corriente.

AZEOTRÓPICA, MEZCLA: Mezcla de dos o más líquidos de diferente volatilidad, que al combinarse, se comportan como si fuera un solo componente. El punto de ebullición de la mezcla, es menor que los de los componentes individuales. Su composición no cambia al evaporarse ni al condensarse. Un ejemplo de mezcla azeotrópica, es el refrigerante 502, el cual está compuesto de 48.8 % de R-22 y 51.2 % de R-115.

AZEÓTROPO: Que tiene puntos de ebullición máximos y mínimos constantes.

A.S.M.E.: Siglas de "American Society of Mechanical Engineers", que se ha convertido en un conjunto de normas para la construcción de calderas.

A.S.T.M., NORMAS: Normas emitidas por la "American Society of Testing Materials".

B

BACTERIA DEL MAL LEGIONARIO: Se piensa que se transmite por rutas aéreas, posiblemente al abrir torres de enfriamiento enfriadas por aire, o los condensadores evaporativos en sistemas comerciales. A este mal se le llamó así, después de un brote de esta enfermedad, en una convención de la Legión Americana en Julio de 1976.

BAFFLE: Ver deflector.

BANCO DE HIELO: Tanque que contiene serpentines de refrigeración u otras superficies, donde se pueda acumular hielo durante los períodos de poca o ninguna demanda de agua helada. Cuando ocurre la demanda, el hielo acumulado se derrite para abastecer agua helada.

BANDA: Cinta continua tipo hule, colocada entre dos o más poleas, para transmitir movimiento rotatorio.

BANDA "V": Tipo de banda comúnmente utilizada en trabajos de refrigeración. Tiene la superficie de contacto con la polea, en forma de V.

BAÑO: Solución líquida usada para limpiar, recubrir o mantener una temperatura especificada.

BAR: Unidad de presión absoluta. Un bar equivale a 100 kPa (0.9869 atmósferas).

BARÓMETRO: Instrumento para medir la presión atmosférica. Puede estar calibrado en mm o pulgadas de mercurio en una columna; o en Kg/cm^2 o en $lb/pulg^2$.

BARRERA DE VAPOR: Hoja delgada de plástico o aluminio, utilizada en estructuras de aire acondicionado, para evitar que penetre el vapor de agua al material aislante. En las cámaras de refrigeración, se acostumbra aplicar un material impermeabilizante de algún tipo de pintura o barniz.

BATERÍA: Celdas productoras de electricidad, que funcionan por la interacción de metales y químicos, para crear un flujo de corriente eléctrica.

BATERÍA (PILA) SECA: Dispositivo eléctrico con celdas que no contienen líquido, utilizado para proporcionar electricidad de corriente directa.

BERNOULLI, TEOREMA DE: En una corriente de líquido, la suma de la carga de altura, la carga de presión y la velocidad, permanece constante a lo largo de cualquier línea de flujo, suponiendo que no se hace ningún trabajo por o sobre el líquido en el trayecto de su flujo; disminuye en proporción a la pérdida de energía en el flujo.

BIFENILO POLICLORINADO (PCB): Fluido dieléctrico usado en capacitores y transformadores. Es muy tóxico. El uso del PCB está estrictamente regulado.

BIMETAL: Dispositivo para regular o indicar temperatura. Funciona sobre el principio de que dos metales disímiles, con proporciones de expansión diferentes, al soldarlos juntos, se doblan con los cambios de temperatura.

BIÓXIDO DE CARBONO: Compuesto de carbono y oxígeno (CO_2), el cual algunas veces se usa como refrigerante, R-744. Cuando se solidifica, comprimiéndolo en bloques sólidos, se le conoce como "Hielo Seco". Su temperatura es de -78.3 ^oC.

BIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO_2): Gas medianamente venenoso; se encuentra con frecuencia en el humo o escape de los automóviles.

BLAST FREEZER: Ver Congelador de Ráfaga.

BOMBA: Cualquiera de las diferentes máquinas que impulsan un gas o un líquido hacia -o lo atraen de- algo, por succión o por presión.

BOMBA CENTRÍFUGA: Bomba que produce velocidad al fluido, convirtiéndola en carga de presión.

BOMBA DE ALTO VACÍO: Mecanismo que puede crear un vacío en el rango de 1,000 a 1 micrón.

BOMBA DE CALOR: Sistema del ciclo de compresión, utilizado para abastecer calor a un espacio de temperatura controlada. El mismo sistema, puede también remover calor del mismo espacio.

BOMBA DE CONDENSADO: Dispositivo para remover el condensado de agua, que se acumula debajo de un evaporador.

BOMBA DE DESPLAZAMIENTO FIJO: Bomba en la que el desplazamiento por ciclo, no puede ser variado.

BOMBA DE TORNILLO: Bomba que tiene dos tornillos entrelazados, rotando dentro de una envolvente.

BOMBA DE VACÍO: Dispositivo especial de alta eficiencia, utilizado para crear alto vacío para fines de deshidratación o de pruebas.

BOMBA RECIPROCANTE (UN PISTÓN): Bomba de un solo pistón reciprocante (que se mueve hacia adelante y atrás, o hacia arriba y abajo).

BOOSTER: Término común aplicado a un compresor, cuando se utiliza en un sistema de compresión de doble etapa, para comprimir la etapa baja desde el evaporador hasta la presión intermedia.

BOYLE, LEY DE: Ley de física: el volumen de un gas varía al variar la presión, si la temperatura permanece constante. Ejemplo: Si la presión absoluta ejercida sobre un gas, se aumenta al doble, su volumen se reduce a la mitad. Si el volumen aumenta al doble, la presión del gas se reduce a la mitad.

BROMURO DE LITIO: Elemento químico, comúnmente utilizado como absorbente en un sistema de refrigeración por absorción. El agua puede ser el refrigerante.

BULBO HÚMEDO, TERMÓMETRO: Instrumento utilizado en la medición de la humedad relativa. La evaporación de la humedad disminuye la temperatura de bulbo húmedo, comparada con la temperatura de bulbo seco de la misma muestra de aire.

BULBO SECO, TERMÓMETRO: Instrumento con un elemento sensible para medir la temperatura ambiente del aire.

BULBO SENSOR: Parte de un dispositivo con un fluido sellado, que reacciona a los cambios de temperatura. Se usa para medir temperaturas o para controlar mecanismos.

BULBO SENSOR DE TEMPERATURA: Bulbo que contiene un fluido volátil y fuelle o diafragma. El aumento de temperatura en el bulbo, causa que el fuelle o diafragma se expanda.

BUTANO: Hidrocarburo líquido (C_4H_{10}), comúnmente usado como combustible o para fines de calentamiento.

B.T.U. (British Thermal Unit): Cantidad de calor que se requiere para elevar un grado fahrenheit, la temperatura de una libra de agua.

C

CABEZAL: Longitud de tubería o recipiente, al cual se le unen dos o más tuberías, que transportan un fluido de una fuente común, a diferentes puntos de uso.

CAIDA DE PRESIÓN: Diferencia de presión en dos extremos de un circuito o parte de un circuito. Cualquier pérdida de presión en la línea debido a la fricción del fluido, o a una restricción en la línea.

CAJA DE CONEXIONES: Caja o contenedor que cubre un grupo de terminales eléctricas.

CALDERA (Boiler): Recipiente cerrado, en el cual un líquido puede ser calentado o evaporado.

CALDERA, ALTA PRESIÓN: Recipiente para la producción de vapor, con espacio para agua. El calor evapora el agua, y el vapor es entonces entubado hacia el equipo, para calefacción, fuerza, proceso, etc. El vapor tiene una presión de 205 kPa (15 psig).

CALEFACCIÓN ELÉCTRICA: Sistema en el cual se utiliza calor de unidades de resistencia eléctrica, para calentar un edificio o habitación.

CALIBRAR: Posicionar indicadores por comparación, con un estándar o por otros medios, para asegurar mediciones precisas.

CALOR: Forma de energía que actúa sobre las sustancias para elevar su temperatura; energía asociada con el movimiento al azar de las moléculas.

CALOR DE COMPRESIÓN: Efecto de calefacción que se lleva a cabo cuando se comprime un gas. Energía mecánica de la presión, convertida a energía calorífica.

CALOR DE FUSIÓN: Calor requerido por una sustancia, para cambiar del estado sólido al estado líquido, a una temperatura constante. Por ejemplo: hielo a agua a 0 ^{o}C. El calor de fusión del hielo es 335 kJ/kg.

CALOR DE RESPIRACIÓN: Proceso mediante el cual, el oxígeno y los carbohidratos son asimilados por una sustancia; también cuando el bióxido de carbono y agua son cedidos por una sustancia.

CALOR ESPECÍFICO: Relación de la cantidad de calor requerido, para aumentar o disminuir la temperatura de

una sustancia en 1ºC, comparado con la que se requiere para aumentar o disminuir la temperatura de una masa igual de agua en 1ºC. Se expresa como una fracción decimal.

CALOR LATENTE: Cantidad de energía calorífica requerida para efectuar un cambio de estado (fusión, evaporación, solidificación) de una sustancia, sin cambio en la temperatura o presión.

CALOR LATENTE DE CONDENSACIÓN: Cantidad de calor liberada por un kg de una sustancia para cambiar su estado de vapor a líquido.

CALOR LATENTE DE EVAPORACIÓN: Cantidad de calor requerido por un kg de sustancia, para cambiar su estado de líquido a vapor.

CALOR SENSIBLE: Calor que causa un cambio de temperatura en una sustancia, sin que cambie de estado.

CALOR SOLAR: Calor creado por ondas visibles e invisibles del sol .

CALOR TOTAL: Suma del calor sensible y del calor latente.

CALORÍA: Unidad para medir el calor en el sistema métrico. Equivale a la cantidad de calor que se requiere, para elevar la temperatura de un gramo de agua en un grado centígrado. 1000 calorías = 1 kcal.

CALORÍMETRO: Dispositivo utilizado para medir cantidades de calor o para determinar calores específicos.

CALOR, INTENSIDAD DEL: Concentración de calor en una sustancia, indicada por la temperatura de la misma, mediante el uso de un termómetro.

CÁMARA DE PLENO: Cámara o contenedor para mover aire u otros gases, bajo una presión ligeramente positiva.

CÁMARA DE REFRIGERACIÓN: Espacio refrigerado comercial, que se mantiene a temperaturas abajo de la ambiental.

CAMBIO DE ESTADO: Condición en la cual, una sustancia cambia de sólido a líquido o de líquido a gas, debido a la aplicación de calor. O a la inversa, cuando una sustancia cambia de gas a líquido o de líquido a sólido, debido a la remoción de calor.

CAMIÓN REFRIGERADO: Vehículo comercial equipado para mantener temperaturas abajo de la ambiental.

CAMPO MAGNÉTICO: Espacio en el que existen líneas o fuerzas magnéticas.

CAPACIDAD: Sistema de clasificación en refrigeración. Medido generalmente en kcal/h o en watts/h, (o en btu/h).

CAPACITANCIA (C): Propiedad de un no-conductor (condensador o capacitor) que permite almacenar energía eléctrica en un campo electrostático.

CAPACITOR: Tipo de dispositivo de almacenamiento eléctrico, utilizado en el circuito de arranque y/o trabajo de muchos motores eléctricos.

CAPACITOR ELECTROLÍTICO: Placa de superficie capaz de almacenar pequeñas cargas eléctricas.

CAPACITOR SECO: Dispositivo eléctrico hecho de metal seco y aislamiento seco, utilizado para almacenar electrones.

CARBÓN ACTIVADO: Carbón especialmente procesado, utilizado en filtros deshidratadores. También se utiliza para limpiar aire.

CARGA: Ver Carga de Refrigerante.

CARGA CRUZADA: Contenedor sellado con dos fluidos, que juntos, crean una curva de presión-temperatura deseada. Tipo de carga que se emplea, comúnmente, en los bulbos de las válvulas de termo expansión.

CARGA DE REFRIGERANTE: Cantidad de refrigerante colocada en un sistema de refrigeración.

CARGA TÉRMICA: Cantidad de calor medida en watts, kcal o btu, la cual es removida durante un período de 24 horas.

CARRENE: Nombre comercial dado a algunos refrigerantes como el R-30 (Carrene 1), el R-500 (Carrene 2).

CARTA PSICROMÉTRICA: Carta (gráfica) que muestra las relaciones entre las propiedades del aire, tales como presión, temperatura, contenido de humedad, volumen específico, etc...

CÁTODO: Terminal negativa de un dispositivo eléctrico. Los electrones salen por esta terminal.

CAVITACIÓN: Condición gaseosa localizada, que se encuentra dentro de una corriente líquida.

CELDA SOLAR: También conocida como celda fotovoltaica. Es un dispositivo que convierte radiación solar directamente a electricidad.

CENTÍGRADA, ESCALA: Escala de temperatura usada en el sistema métrico. El punto de congelación del agua es de 0 ºC, el punto de ebullición es de 100 ºC.

CERA: Ingrediente en muchos aceites lubricantes, el cual se puede separar del aceite si se enfría lo suficiente.

CERO ABSOLUTO (TEMPERATURA): Temperatura a la cual cesa todo movimiento molecular. (-273 ºC y -460 ºF).

CHARLES, LEY DE: Volumen de una masa dada de gas, a presión constante, varía de acuerdo a su temperatura.

CHAROLA DE CONDENSADO: Recipiente en forma de charola, utilizado para colectar el condensado del evaporador.

CICLEO: Ver FLUCTUACION.

CICLO: Serie de eventos u operaciones, las cuales tienen una tendencia a repetirse en el mismo orden.

CICLO DE PARO: Segmento del ciclo de refrigeración cuando el sistema no está operando.

CICLO INTERMITENTE: Ciclo que se repite a intervalos variables de tiempo .

CILINDRO: 1.- Dispositivo que convierte fuerza de un fluido, en fuerza y movimiento mecánico lineal. Este consiste, usualmente, de elementos móviles tales como un pistón, biela y émbolo, operando dentro de un cilindro. 2.- Contenedor cerrado para fluidos.

CILINDRO PARA REFRIGERANTE: Cilindro en el que se almacena y distribuye el refrigerante. El código de colores pintado en el cilindro, indica la clase de refrigerante (ver *código de colores*, capítulo Refrigerantes).

CILINDRO PORTÁTIL: Recipiente utilizado para almacenar refrigerante. Hay dos tipos comunes: recargables y desechables.

CIRCUITO: Instalación de tubería o de alambre eléctrico, que permite el flujo desde y hacia la fuente de energía.

CIRCUITO ABIERTO: Circuito eléctrico interrumpido, el cual detiene el flujo de electricidad.

CIRCUITO CERRADO: Circuito eléctrico en el que fluyen los electrones.

CIRCUITO EN PARALELO: Arreglo de dispositivos eléctricos, en el que la corriente se divide y viaja a través de dos o más trayectos, y después regresa a través de un trayecto común.

CIRCUITO EN SERIE: Alambrado eléctrico. Circuito eléctrico en el que la electricidad que va a operar una segunda lámpara o dispositivo, debe pasar por el primero; el flujo de corriente viaja al mismo tiempo por todos los dispositivos conectados juntos.

CIRCUITO INTEGRADO: Circuito que incorpora transistores múltiples y otros semiconductores sobre un solo circuito, algunas veces llamado "*chip*".

CIRCUITO INTEGRADO (TABLERO): Circuito electrónico hecho de transistores, resistores, etc., todos colocados en un paquete referido como "*chip*", puesto que todos los circuitos están sobre una base de material semiconductor.

CLUTCH MAGNÉTICO: Dispositivo operado por magnetismo para conectar o desconectar una fuerza impulsora.

COBRIZADO: Condición anormal que se desarrolla en algunas unidades, en las que el cobre es depositado electrolíticamente sobre algunas superficies del compresor.

COEFICIENTE DE EXPANSIÓN: Incremento en longitud, área o volumen de la unidad, por un grado de aumento en la temperatura.

COEFICIENTE DE RENDIMIENTO: Relación del trabajo realizado o completado, en comparación con la energía utilizada.

COJINETE: Dispositivo de baja fricción para soportar y alinear una parte móvil.

COLECTOR: Sección semiconductora de un transistor, conectada a la misma polaridad como la base.

COLECTOR SOLAR: Dispositivo utilizado para atrapar radiación solar, generalmente usando una superficie negra aislada.

COLOIDES: Celdas miniaturas peculiares a las carnes (res, cerdo, pollo, pescado), las cuales, si se desbaratan, hacen que la comida se vuelva rancia. Las bajas temperaturas minimizan esta acción.

COMBINADOR: Grupo de controles y circuitos, utilizado para operar un dispositivo automáticamente y con precisión.

COMBUSTIBLE LP: Petróleo licuado usado como gas combustible.

COMBUSTIBLES, LÍQUIDOS: Líquidos que tienen una temperatura de inflamación de o superior a 60 ^{o}C. Son clasificados como líquidos Clase 3.

COMPRESIÓN: Término utilizado para denotar el proceso de incrementar la presión, sobre un volumen dado de gas, usando energía mecánica. Al hacer esto, se reduce el volumen y se incrementa la presión del gas.

COMPRESOR: Máquina en sistemas de refrigeración, hecha para succionar vapor del lado de baja presión en el ciclo de refrigeración, y comprimirlo y descargarlo hacia el lado de alta presión del ciclo.

COMPRESOR ABIERTO: Compresor en el que el cigüeñal se extiende a través del cárter, hacia afuera del compresor, movido por un motor externo. Comúnmente se le llama compresor de movimiento externo.

COMPRESOR CENTRÍFUGO: Máquina para comprimir grandes volúmenes de vapor, a una velocidad relativamente alta, usando relaciones de compresión pequeñas. La compresión está basada en una fuerza centrífuga de ruedas giratorias, con hojas tipo turbina.

COMPRESOR COMPUESTO (Compound): Compresor de cilindros múltiples, en el que uno o más cilindros succionan el vapor del evaporador, y lo descargan, generalmente, a través de un interenfriador y hacia los demás cilindros, donde se comprime hasta la presión de condensación.

COMPRESOR DE ALETAS ROTATORIAS: Mecanismo para bombear fluidos por medio de aletas giratorias, dentro de un cárter cilíndrico.

COMPRESOR DE ETAPAS MÚLTIPLES: Compresor que tiene dos o más etapas de compresión. La descarga de cada etapa, es la presión de succión en la siguiente de la serie.

COMPRESOR DE UNA ETAPA: Compresor de una sola etapa de compresión, entre las presiones del lado de baja y del lado de alta.

COMPRESOR HERMÉTICO: Unidad motocompresora en la que el motor eléctrico y el compresor, están

montados en una flecha común, dentro de un casco de acero soldado. El motor eléctrico opera en la atmósfera de refrigerante.

COMPRESOR RECIPROCANTE: Compresor que funciona con un mecanismo de pistones y cilindros, para proporcionar una acción bombeante. Los pistones se mueven hacia adelante y hacia atrás dentro del cilindro, para comprimir el refrigerante.

COMPRESOR ROTATORIO: Compresor con un cilindro y un rotor excéntrico interior, el cual gira dentro del cilindro. Las aletas deslizables dentro del rotor, son las que comprimen el vapor durante la rotación.

COMPRESOR SEMIHERMÉTICO: Unidad motocompresora que opera igual que un compresor hermético, con la excepción de que no está totalmente sellado, sino que se pueden quitar las tapas de los extremos para darle servicio.

CONDENSACIÓN: Proceso de cambiar de estado un vapor o un gas a líquido, al enfriarse por abajo de su temperatura de saturación o punto de rocío.

CONDENSADO: Líquido que se forma cuando se condensa un vapor.

CONDENSADOR: Componente del mecanismo de refrigeración, el cual recibe del compresor vapor caliente a alta presión, enfriándolo y regresándolo luego a su estado líquido. El enfriamiento puede ser con aire o con agua.

CONDENSADOR ATMOSFÉRICO: Antiguo tipo de condensador, en el cual, el vapor de refrigerante de la descarga, fluye dentro de una serie de tubos. El agua fluye por gravedad, sobre el exterior de los tubos, para absorber el calor del refrigerante y condensarlo. Los tubos están expuestos a la atmósfera.

CONDENSADOR DE CASCO Y TUBOS: Recipiente cilíndrico de acero con tubos de cobre en el interior. El agua circula por los tubos, condensando los vapores dentro del casco. El fondo del casco sirve como recibidor de líquido.

CONDENSADOR DE CASCO Y SERPENTÍN: Este condensador es muy parecido al de casco y tubos, pero en lugar de tubos rectos, tiene un serpentín por el que circula el agua.

CONDENSADOR ENFRIADO POR AGUA: Intercambiador de calor, diseñado para transferir calor desde el refrigerante gaseoso al agua. Existen tres tipos: de casco y tubos, de casco y serpentín y de tubos concéntricos.

CONDENSADOR ENFRIADO POR AIRE: Intercambiador de calor, el cual transfiere calor al aire circundante. En estos condensadores, el vapor caliente de la descarga del compresor entra en los tubos, y el aire atmosférico circula por fuera de los tubos, los cuales, generalmente, son del tipo aletado.

CONDENSADOR EVAPORATIVO: Condensador que combina un condensador atmosférico, con una torre de enfriamiento de tiro forzado. El haz de tubos se encuentra dentro de la torre. El agua es rociada sobre los tubos, y el aire forzado enfría el agua y los tubos. Parte del agua se evapora y enfría el resto del agua, reduciendo el consumo de ésta.

CONDENSAR: Acción de cambiar un gas o vapor a líquido.

CONDICIONES NORMALES: Condiciones que se usan como base para los cálculos en acondicionamiento de aire: temperatura de 20ºC, presión de 101.325 kPa y humedad relativa de 30 %.

CONDUCCIÓN: Flujo de calor entre sustancias, por medio de vibración de las moléculas.

CONDUCTIVIDAD: Habilidad de una sustancia para conducir o transmitir calor y/o electricidad.

CONDUCTIVIDAD, COEFICIENTE DE: Medición de la proporción relativa, a la cual, diferentes materiales conducen el calor. El cobre es un buen conductor del calor, por lo tanto, tiene un coeficiente de conductividad alto.

CONDUCTOR: Sustancia o cuerpo capaz de transmitir electricidad o calor.

CONEXIÓN PARA MANÓMETRO: Abertura o puerto, dispuesto para que el técnico de servicio instale un manómetro.

CONGELACIÓN: Cambio de estado de líquido a sólido.

CONGELACIÓN RÁPIDA DE ALIMENTOS: Método que utiliza nitrógeno o bióxido de carbono líquidos, para convertir alimentos frescos en alimentos congelados duraderos. Se le conoce también como congelación criogénica de alimentos.

CONGELADOR DE RÁFAGA: Sistema de congelación, en el cual, grandes cantidades de aire a alta velocidad, son circuladas sobre el evaporador y el producto a congelar. Con este sistema, se logran temperaturas de -40ºC y a veces menores.

CONGELADOR SIN ESCARCHA: Gabinete refrigerado que opera con un deshielo automático durante cada ciclo.

CONMUTADOR: Parte del rotor en un motor eléctrico, el cual transmite corriente eléctrica al devanado del rotor.

CONMUTADOR CILÍNDRICO: Conmutador con superficies de contacto paralelas a la flecha del rotor.

CONSTANTE DE PLANCK: Valor constante (6.626 x 10 Watts/s^2) la cual, cuando se multiplica por la frecuencia de radiación, determina la cantidad de energía en un fotón.

CONSTRICTOR: Tubo u orificio, utilizado para restringir el flujo de un gas o un líquido.

CONTAMINANTE: Sustancia, humedad o cualquier materia extraña al refrigerante o al aceite en un sistema.

CONTRAFLUJO: Flujo en dirección opuesta. Método de transferencia de calor, donde la parte más fría del fluido de enfriamiento, se encuentra con la parte más caliente del fluido que se va a enfriar.

CONTROL: Dispositivo manual o automático, utilizado para detener, arrancar y/o regular el flujo de gas, líquido y/o electricidad.

CONTROL A PRUEBA DE FALLAS: Dispositivo que abre un circuito, cuando el elemento sensor pierde su presión.

CONTROL AUTOMÁTICO: Acción de una válvula, lograda a través de medios automáticos que no requieren de ajuste manual.

CONTROL DE BAJA PRESIÓN: Dispositivo utilizado para evitar que la presión de evaporación del lado de baja, caiga abajo de cierta presión.

CONTROL DE DESHIELO: Dispositivo para operar un sistema de refrigeración, de tal manera, que proporcione una forma de derretir el hielo y la escarcha formados en el evaporador. Hay tres tipos: manual, automático y semiautomático.

CONTROL DE ESCARCHA: Ver CONTROL DE DESHIELO.

CONTROL DE LÍMITE: Control utilizado para abrir o cerrar un circuito eléctrico, al alcanzarse los límites de presión o temperatura.

CONTROL DE PRESIÓN DE ACEITE: Dispositivo de protección que verifica la presión del aceite en el compresor. Se conecta en serie con el compresor, y lo apaga durante los períodos de baja presión de aceite.

CONTROL DE REFRIGERANTE: Dispositivo que mide el flujo de refrigerante, entre dos áreas del sistema de refrigeración. También mantiene una diferencia de presión entre los lados de alta y baja presión del sistema, mientras la unidad está trabajando.

CONTROL DE SEGURIDAD: Dispositivo para detener la unidad de refrigeración, si se llega a una condición insegura y/o peligrosa, de presiones o temperaturas.

CONTROL DE TEMPERATURA: Dispositivo termostático operado por temperatura, que abre o cierra un circuito automáticamente.

CONTROL DEL MOTOR: Dispositivo operado por presión o temperatura, utilizado para controlar la operación del motor.

CONTROL DEL MOTOR POR PRESIÓN: Control de alta o baja presión, conectado al circuito eléctrico y utilizado para arrancar y parar el motor. Es activado por la demanda de refrigeración o por seguridad.

CONTROL DIGITAL DIRECTO (CDD): Uso de una computadora digital para realizar operaciones de control automático, requeridas en un sistema de manejo de energía total (TEMS).

CONTROL PRIMARIO: Dispositivo que controla directamente la operación de un sistema de calefacción.

CONTROL TERMOSTÁTICO: Dispositivo que opera un sistema o parte de él, basado en un cambio de temperatura.

CONTROLADOR REMOTO: Dispositivo de control de energía, capaz de controlar múltiples dispositivos. Puede instalarse distante de los dispositivos que está controlando.

CONVECCIÓN: Transferencia de calor por medio del movimiento o flujo de un fluido.

CONVECCIÓN FORZADA: Transferencia de calor que resulta del movimiento forzado de un líquido o un gas, por medio de una bomba o un ventilador.

CONVECCIÓN NATURAL: Circulación de un gas o un líquido, debido a la diferencia en densidad resultante de la diferencia de temperaturas.

CONVERSIÓN, FACTORES DE: La fuerza y la potencia pueden ser expresadas en más de una manera. Un hp es equivalente a 746 watts, 33,000 pie-lb de trabajo ó 2,546 btu/h. Estos valores pueden utilizarse para cambiar de unas unidades a otras.

COPLES: Dispositivos mecánicos para unir líneas de tuberías.

CORRIENTE: Transferencia de energía eléctrica en un conductor, por medio del cambio de posición de los electrones.

CORRIENTE ALTERNA (CA): Corriente eléctrica en la cual se invierte o se alterna el sentido del flujo. En una corriente de 60 ciclos (Hertz), el sentido del flujo se invierte cada 1/120 de segundo.

CORRIENTE DIRECTA (CD): Flujo de electrones, el cual se mueve continuamente en un sentido en el circuito.

CORRIENTES EDDY: Corrientes inducidas que fluyen dentro de un núcleo.

CORROSIÓN: Deterioro de materiales por acción química.

CORTO CIRCUÍTO: Condición eléctrica, donde una parte del circuito toca otra parte del mismo, provocando que la corriente o parte de la misma, tome un trayecto equivocado.

COULOMB: Cantidad de electricidad, transferida por una corriente eléctrica de un ampere en un segundo.

CRIOGENIA: Refrigeración que trata con la producción de temperaturas de -155ºC y más bajas.

CUARTO DE MÁQUINAS: Area donde se instala la maquinaria de refrigeración industrial y comercial, excepto los evaporadores.

D

DECIBEL (dB): Unidad utilizada para medir la intensidad de los sonidos. Un decibel, es igual a la diferencia aproximada de la intensidad detectable por el oído humano, cuyo rango es aprox. 130 dB, en una escala que empieza con uno para los sonidos débilmente audibles.

DEFLECTOR (Baffle): Placa utilizada para dirigir o controlar el movimiento de un fluido, dentro de una área confinada.

DENSIDAD: Estrechez de la textura o consistencia de partículas, dentro de una sustancia. Se expresa como peso por unidad de volumen.

DESAEREACIÓN: Acto de separar el aire de las sustancias.

DESECANTE: Sustancia utilizada para colectar y retener humedad, en un sistema de refrigeración. Los desecantes comunes son la sílica gel, la alúmina activada y el tamiz molecular.

DESENGRASANTE: Solvente o solución que se usa para remover aceite o grasa, de las partes de un refrigerador.

DESHIDRATADOR: Sustancia o dispositivo que se utiliza, para remover la humedad, en un sistema de refrigeración.

DESHIELO: Proceso de remover la acumulación de hielo o escarcha de los evaporadores.

DESHIELO AUTOMÁTICO: Sistema de remover hielo o escarcha de los evaporadores, de manera automática.

DESHIELO CON AIRE: Proceso de remover el hielo o la escarcha acumulada en el serpentín del evaporador, utilizando los abanicos del mismo evaporador, deteniendo previamente el paso de refrigerante líquido. El aire circulado, debe tener una temperatura arriba de la de congelación.

DESHIELO CON AGUA: Uso de agua para derretir el hielo y la escarcha de los evaporadores, durante el ciclo de paro.

DESHIELO ELÉCTRICO: Uso de resistencia eléctrica, para fundir el hielo y la escarcha de los evaporadores, durante el ciclo de deshielo.

DESHIELO POR CICLO REVERSIBLE: Método de calentar el evaporador para deshielo. Por medio de válvulas, se mueve el gas caliente del compresor hacia el evaporador.

DESHIELO POR GAS CALIENTE: Sistema de deshielo, en el cual, el gas refrigerante caliente del lado de alta, es dirigido a través del evaporador por cortos períodos de tiempo, y a intervalos predeterminados, para poder remover la escarcha del evaporador.

DESHIELO, CICLO DE: Ciclo de refrigeración en el cual, la acumulación de hielo y escarcha, es derretida en el evaporador.

DESHIELO, RELOJ DE (Timer): Dispositivo conectado a un circuito eléctrico, el cual detiene la unidad el tiempo suficiente, para permitir que se derrita la acumulación de hielo y escarcha sobre el evaporador.

DESHUMIDIFICADOR: Dispositivo usado para remover la humedad del aire.

DESPLAZAMIENTO DEL COMPRESOR: Volumen en m^3, representado por el área de la cabeza del pistón o pistones, multiplicada por la longitud de la carrera. Este es el desplazamiento real, no el teórico.

DESPLAZAMIENTO DEL PISTÓN: Volumen desplazado por el pistón, al viajar la longitud de su carrera.

DESTILACIÓN, APARATO DE: Dispositivo de recuperación de fluidos, que se usa para recuperar refrigerantes. La recuperación se hace normalmente evaporando, y luego re-condensando el refrigerante.

DESVÍO (Bypass): Pasadizo en un lado o alrededor de un pasaje regular.

DESVÍO (By Pass) DE GAS CALIENTE: Arreglo de tubería en la unidad de refrigeración, la cual conduce gas refrigerante caliente del condensador al lado de baja presión.

DETECTOR DE FUGAS: Dispositivo o instrumento que se utiliza para detectar fugas, tal como lámpara de haluro, sensor electrónico o jabón.

DETECTOR DE FUGAS DE ESPUMA: Sistema de líquido espumante especial, que se aplica con una brocha sobre uniones y conexiones, para localizar fugas de manera similar a la espuma de jabón.

DETECTOR DE FUGAS ELECTRÓNICO: Instrumento electrónico que mide el flujo electrónico a través de una rejilla de gas. Los cambios en el flujo electrónico, indican la presencia de moléculas de gas refrigerante.

DEVANADO DE ARRANQUE: Devanado en motores eléctricos, que se utiliza brevemente mientras arranca el motor.

DEVANADO DE MARCHA: Devanado eléctrico en motores, por el cual fluye corriente durante la operación normal del motor.

DIAFRAGMA: Material flexible usualmente hecho de metal, hule o plástico.

DIAGRAMA DE MOLLIERE: Gráfica de las propiedades de un refrigerante, tales como: presión, temperatura, calor, etc.

DIA-GRADO: Unidad que representa un grado de diferencia entre la temperatura interior y exterior promedio en un día, usada con frecuencia para estimar los requerimientos de combustible para un edificio.

DICLORODIFLUOROMETANO: Refrigerante comúnmente conocido como R-12.

DIFERENCIAL: La diferencia de temperatura o presión, entre las temperaturas o presiones de arranque y paro, de un control.

DIFUSOR DE AIRE: Rejilla o salida de distribución de aire, diseñada para dirigir el flujo de aire hacia los objetivos deseados.

DINAMÓMETRO: Dispositivo para medir la salida o entrada de fuerza de un mecanismo.

DIODO: Tubo de electrones de dos elementos, el cual permite mayor flujo de electrones en una dirección que en otra, dentro de un circuito. Tubo que sirve como rectificador.

DOSÍMETRO DE RUIDO: Instrumento usado para medir el sonido en dBA.

DUCTO: Tubo o canal, a través del cual, el aire es movido o transportado.

DUCTO FLEXIBLE: Ducto que puede ser guiado alrededor de obstáculos, doblándolo gradualmente.

E

ECOLOGÍA: Ciencia del balance de la vida sobre la tierra.

EFECTO PELTIER: Cuando la corriente directa es pasada a través de dos metales adyacentes, una unión se vuelve más fría y la otra más caliente. Este principio es la base para la refrigeración termoeléctrica.

EFECTO SEEBECK: Cuando dos metales diferentes adyacentes se calientan, se genera una corriente eléctrica entre los dos. Este principio es la base para la construcción de termopares.

EFICIENCIA: Capacidad de un dispositivo, sistema o actividad, dividida entre la potencia absorbida necesaria para crear esa capacidad. En un compresor, la eficiencia sería la capacidad de trabajo, medida por un cambio de presión, dividida entre la energía eléctrica consumida.

EFICIENCIA VOLUMÉTRICA: Término utilizado para expresar la relación, entre el funcionamiento real de un compresor o de una bomba de vacío, y el funcionamiento calculado en base a ese desplazamiento.

ELECTROIMÁN: Bobina de alambre enrollada alrededor de un núcleo de hierro suave. Cuando fluye una corriente eléctrica a través del alambre, el ensamble se vuelve un imán.

ELECTRÓLISIS: Movimiento de electricidad a través de una sustancia, el cual causa un cambio químico en la sustancia o su contenedor.

ELECTRÓN: Partícula elemental o porción de un átomo, la cual acarrea una carga negativa.

ELEMENTO DE PODER: Elemento sensible de un control operado por temperatura.

ELIMINADORES DE VIBRACIÓN: Dispositivo o sustancia suave o flexible, que reduce la transmisión de una vibración.

EMISOR: Conexión de un transistor marcada con una punta de flecha.

EMPAQUE: Dispositivo sellante, consistente de material suave o uno o más elementos suaves que embonan.

EMPAQUE MAGNÉTICO: Material para sellar puertas, el cual mantiene las puertas fuertemente cerradas, mediante pequeños imanes insertados en el empaque.

EMPAQUE, ESPUMA DE: Material para sellar uniones, hecho de tiras de espuma de hule o plástico.

ENDOTÉRMICA, REACCIÓN: Reacción química en la cual se absorbe calor.

ENERGÍA: Habilidad real o potencial de efectuar trabajo.

ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA: Energía que tiene características eléctricas y magnéticas. La energía solar es electromagnética.

ENERGÍA, CONSERVACIÓN DE LA: Proceso de instituir cambios que resultarán en ahorros de energía, sobre la revisión de los cálculos para determinar las cargas principales.

ENFRIADOR: Intercambiador de calor que remueve calor de las sustancias.

ENFRIADOR DE AGUA (Chiller): Sistema de aire acondicionado, el cual circula agua fría a varios serpentines de enfriamiento, en una instalación.

ENFRIADOR DE AIRE: Mecanismo diseñado para bajar la temperatura del aire que pasa a través de él.

ENTALPÍA: La cantidad de calor en un kilogramo de sustancia, calculada de una base de temperatura aceptada. La temperatura de 0 ^{o}C, es una base aceptada para los cálculos del vapor de agua. Para cálculos de refrigeración, la base aceptada es de -40°C.

ENTROPÍA: Factor matemático usado en cálculos de ingeniería. La energía en un sistema.

ENZIMA: Sustancia orgánica compleja, originada por células vivas, que acelera los cambios químicos en los alimentos. La acción de las enzimas se disminuye con el enfriamiento.

ESCALA CENTÍGRADA: Escala de temperaturas usada en el sistema métrico. El punto de congelación de agua a la presión atmosférica normal, es de 0°C, y el punto de ebullición, es de 100°C.

ESCALA FAHRENHEIT: En un termómetro Fahrenheit, bajo la presión atmosférica normal, el punto de ebullición del agua es de 212°F, y el punto de congelación es de 32°F arriba de cero.

ESCALA KELVIN (K): Escala de temperatura, en la cual, la unidad de medición es igual al grado centígrado, y de acuerdo a la cual, el cero absoluto es 0°K, equivalentes a -273.16^{o}C. En esta escala el agua se congela a 273.16^{o}K y ebulle a 373.16^{o}K.

ESCALA RANKINE (R): Nombre dado a la escala de temperaturas absolutas, cuyas unidades son similares a los grados Fahrenheit. El cero (0ºR) en esta escala equivale a -460ºF.

ESPACIO MUERTO: Pequeño espacio en un cilindro, del cual no ha sido expulsado completamente el gas comprimido. Para una operación efectiva, los compresores se diseñan para tener un espacio muerto, tan pequeño como sea posible.

ESPUMA DE URETANO: Tipo de aislamiento espumado, enmedio de las paredes interiores y exteriores de un contenedor.

ESPUMADO: Formación de espuma en una mezcla de aceite-refrigerante, debido a la rápida evaporación del refrigerante disuelto en el aceite. Esto es más probable que suceda, cuando arranca el compresor y la presión se reduce repentinamente.

ESTACIÓN CENTRAL: Ubicación central de la unidad de condensación con el condensador, ya sea enfriado por agua o aire. El evaporador se instala donde sea necesario, y se conecta a la unidad de condensación central.

ESTATOR: Parte estacionaria de un motor eléctrico.

ESTETOSCOPIO: Instrumento utilizado en refrigeración para detectar sonidos y localizar su origen, principalmente en los compresores.

ESTRATIFICACIÓN DEL AIRE: Condición en la que hay poco, o ningún movimiento de aire, en un cuarto. El aire permanece en capas de temperaturas.

ETANO (R-170): Fluido refrigerante de muy poco uso. En la actualidad, se agrega a otros refrigerantes para mejorar la circulación de aceite.

EUTÉCTICO: Cierta mezcla de dos sustancias, que proporciona la temperatura de fusión más baja de todas las mezclas, de esas dos sustancias.

EUTÉCTICO, PUNTO: Temperatura de congelación para soluciones eutécticas.

EVACUACIÓN: Remoción de aire (gas) y humedad, de un sistema de refrigeración o aire acondicionado, mediante una bomba de vacío.

EVAPORACIÓN: Término aplicado al cambio de estado de líquido a vapor. En este proceso se absorbe calor.

EVAPORADOR: Componente del mecanismo de un sistema de refrigeración, en el cual, el refrigerante se evapora y absorbe calor.

EVAPORADOR DE CASCO Y TUBOS: Evaporador del tipo inundado, utilizado principalmente para enfriar líquidos. Generalmente, el líquido circula por los tubos que están dentro del casco cilíndrico, o viceversa.

EVAPORADOR DE EXPANSIÓN DIRECTA: Evaporador que utiliza como dispositivo de control de líquido, una válvula de expansión automática, o una de termo expansión.

EVAPORADOR INUNDADO: Evaporador que todo el tiempo contiene refrigerante líquido.

EVAPORADOR SECO: Evaporador en el que el refrigerante está en forma de gotas.

EXCÉNTRICO: Círculo o disco montado fuera de centro en una flecha.

EXFILTRACIÓN: Flujo lento de aire desde el edificio hacia el exterior.

EXHIBIDOR ABIERTO: Refrigerador comercial, diseñado para mantener su contenido a temperaturas de refrigeración, aunque el contenido esté en una caja abierta.

EXOTÉRMICA, REACCIÓN: Reacción química en la que se libera calor.

EXTREMO ACAMPANADO: Estructura del extremo de la placa de un motor eléctrico, donde generalmente se aloja el cojinete.

F

FACTOR DE POTENCIA: Coeficiente de corrección para los valores de la corriente o voltaje cambiante de la fuerza de CA.

FARADIO: Unidad eléctrica de capacidad. Capacidad de un condensador, que cuando se carga con un coulomb de electricidad, da un diferencial de potencial de un voltio.

FASE: Distinta función operacional durante un ciclo.

FILTRO: Dispositivo para remover partículas extrañas de un fluido.

FILTRO DE CARBÓN: Filtro de aire, que utiliza carbón activado como agente limpiador.

FILTRO ELECTROSTÁTICO: Para limpiar aire, tipo de filtro que da a las partículas una carga eléctrica. Esto causa que las partículas sean atraídas a una placa para que sean removidas del aire.

FILTRO-DESHIDRATADOR: Dispositivo empleado para la limpieza del refrigerante y del aceite, en los sistemas de refrigeración. Remueve toda clase de contaminantes, tales como: suciedad, rebabas, ceras, humedad, ácidos, óxidos, etc.

FLAPPER, VÁLVULA: Válvula de metal delgada, usada en los compresores de refrigeración, la cual permite el flujo del gas refrigerante en un solo sentido.

FLARE: Agrandamiento (abocinado) que se hace en el extremo de un tubo flexible, por medio del cual, el tubo se une a una conexión o a otro tubo. Este agrandamiento se hace a un ángulo de aproximadamente 45º. Las conexiones lo oprimen firmemente, para hacer la unión fuerte y a prueba de fugas.

FLARE, CONEXIÓN: Extremo de una conexión o accesorio roscado con punta cónica (45º), para recibir el "flare" de un tubo con su tuerca respectiva.

FLARE, TUERCA: Tuerca utilizada para sujetar el "flare" de un tubo contra otra conexión.

FLOTADOR DEL LADO DE ALTA: Mecanismo para control de refrigerante, que controla el nivel de refrigerante líquido, en el lado de alta presión del sistema.

FLOTADOR DEL LADO DE BAJA: Válvula de control de refrigerante, operada por el nivel del refrigerante líquido, en el lado de baja presión del sistema.

FLUCTUACIÓN (Hunting): Este término, aplicado a cualquier tipo de mecanismo, significa que el mecanismo primero viaja en extremo en un sentido, y luego se regresa a otro extremo en el sentido opuesto. En refrigeración, particularmente en las válvulas de expansión, si una válvula "fluctúa", significa que alternadamente abrirá excesivamente, permitiendo que entre demasiado refrigerante al evaporador, y luego, cerrará demasiado, no permitiendo suficiente refrigerante al evaporador.

FLUIDO: Sustancia que puede estar en estado líquido o gaseoso. Sustancia que contiene partículas, las cuales se mueven y cambian de posición sin separación de la masa.

FLUIDO CRIOGÉNICO: Sustancia que existe como líquido o como gas, a temperaturas ultra bajas (-157ºC o menores).

FLUIDO DIELÉCTRICO: Fluido con alta resistencia eléctrica.

FOTOELECTRICIDAD: Acción física, en la cual se genera un flujo eléctrico por ondas de luz.

FOTÓN: Partícula de energía electromagnética, encontrada en la radiación solar.

FREÓN: Nombre comercial para una familia de refrigerantes químicos sintéticos, fabricados por E.I. DuPont de Nemours & Company Inc.

FRÍO: La ausencia de calor. Temperatura considerablemente abajo de la normal.

FUELLE: Contenedor cilíndrico corrugado, el cual se mueve al cambiar la presión, o proporciona un sello durante el movimiento de partes.

FUERZA: La fuerza es una presión acumulada, se expresa en Newtons (N) en el Sistema Internacional, o en libras (Lb), en el Sistema Inglés.

FUERZA ELECTROMOTRÍZ, fem: Voltaje. Fuerza eléctrica que causa que la corriente (electrones libres) fluya o se mueva en un circuito eléctrico. La unidad de medición es el voltio.

FUNDENTE: Sustancia aplicada a las superficies que van a ser unidas por soldadura, para evitar que se formen óxidos y para producir la unión.

FUSIBLE: Dispositivo de seguridad eléctrico que consiste de una tira de metal fusible, la cual se funde cuando se sobrecarga el circuito.

FUSIBLE, TAPÓN: Tapón o conexión hecha con un metal de temperatura de fusión baja conocida. Se usa como dispositivo de seguridad para liberar presión en caso de incendio.

G

GABINETE PARA HELADO: Refrigerador comercial que opera a aproximadamente -18ºC (0ºF); se utiliza para almacenar helado.

GALVÁNICA, ACCIÓN: Desgaste de dos metales diferentes, debido al paso de corriente eléctrica entre ambos. Esta acción se incrementa en la presencia de humedad.

GAS: Fase o estado de vapor de una sustancia. Un gas es un vapor sobrecalentado, muy lejos de su temperatura de saturación.

GAS INERTE: Gas que no cambia de estado ni químicamente, cuando está dentro de un sistema, aunque se exponga a otros gases.

GAS INSTANTÁNEO (Flash Gas): Evaporación instantánea de refrigerante líquido en el evaporador, lo que enfría el refrigerante líquido remanente, a la temperatura de evaporación deseada.

GAS LICUADO: Gas abajo de cierta temperatura y arriba de cierta presión, que se vuelve líquido.

GAS NO CONDENSABLE: Gas que no se convierte en líquido a las temperaturas y presiones de operación.

GOLPE DE LÍQUIDO: Condición que se presenta cuando en un sistema de expansión directa, el exceso de refrigerante líquido sale del evaporador y entra al compresor, dañándolo.

GRANO (Grain): Unidad de peso utilizada para indicar la cantidad de humedad en el aire. Un kilogramo contiene 15,415 granos; una libra contiene 7,000 granos.

GRAVEDAD ESPECÍFICA: Peso de un líquido comparado con el peso del agua, la cual tiene un valor asignado de 1.0.

H

HALÓGENOS: Grupo de elementos a los que pertenecen el yodo, el bromo, el cloro y el flúor.

HERTZ (Hz): Unidad para medir la frecuencia. Término correcto para referirse a los ciclos por segundo.

Hg (MERCURIO): Elemento metálico pesado color plata. Es el único metal líquido a temperaturas ambiente ordinarias.

HIDRÁULICA: Rama de la física, que tiene que ver con las propiedades mecánicas del agua y otros líquidos en movimiento.

HIDROCARBUROS: Compuestos orgánicos que contienen solamente hidrógeno y carbono, en varias combinaciones.

HIDRÓMETRO: Instrumento flotante utilizado para medir la gravedad específica de un líquido.

HIELO SECO: Sustancia refrigerante hecha de bióxido de carbono sólido, el cual cambia de sólido a gas (se sublima). Su temperatura de sublimación es de -78ºC.

HIGRÓMETRO: Instrumento utilizado para medir el grado de humedad en la atmósfera.

HIGROSCÓPICO: Habilidad de una sustancia para absorber y soltar humedad, y cambiar sus dimensiones físicas, conforme cambia su contenido de humedad.

HP (Horsepower): Unidad de potencia que equivale a 33,000 pie-lb de trabajo por minuto. Un HP eléctrico es igual a 745.7 watts.

HUMEDAD: Vapor de agua presente en el aire atmosférico.

HUMEDAD ABSOLUTA: Cantidad de humedad (vapor de agua) en el aire, indicada en g/m³ de aire seco (granos/pie cúbico).

HUMEDAD RELATIVA (hr): La cantidad de humedad en una muestra de aire, en comparación con la cantidad de humedad que el aire tendría, estando totalmente saturado y a la misma temperatura.

HUMIDIFICADOR: Dispositivo utilizado para agregar y controlar humedad.

HUMIDISTATO: Control eléctrico operado por cambios de humedad.

I

IGUALADOR EXTERNO: Tubo conectado al lado de baja presión del diafragma de una válvula de termo expansión, y a la conexión de salida del evaporador.

IMÁN PERMANENTE: Material que tiene sus moléculas alineadas y tiene su propio campo magnético. Barra de metal que ha sido magnetizada permanentemente.

IME (Ice Melting Effect): Cantidad de calor absorbido por el hielo al derretirse a 0ºC. Su valor es de 144 btu/l de hielo o 288,000 btu/TR (80 kcal/kg).

IMPEDANCIA: Es la oposición en un circuito eléctrico al flujo de una corriente alterna, que es similar a la resistencia eléctrica de una corriente directa.

IMPULSOR: Parte rotatoria de una bomba.

INDICADOR DE LÍQUIDO ELECTRÓNICO: Dispositivo que envía una señal audible, cuando al sistema le hace falta refrigerante.

INDICADOR DE LÍQUIDO Y HUMEDAD: Accesorio que se instala en la línea de líquido, el cual proporciona una ventana de vidrio, a través de la cual se puede observar el flujo del refrigerante líquido. También contiene un elemento sensible a la humedad, cuyo color indica el contenido de humedad.

INFILTRACIÓN: Paso del aire exterior hacia el edificio, a través de ventanas, puertas, grietas, etc...

INHIBIDOR: Sustancia que evita una reacción química como la oxidación o la corrosión.

INSTRUMENTO: Dispositivo que tiene habilidades para registrar, indicar, medir y/o controlar.

INTENSIDAD DEL CALOR: Concentración de calor en una sustancia, como se indica por la temperatura de esa sustancia, mediante el uso de un termómetro.

INTERCAMBIADOR DE CALOR: Dispositivo utilizado para transferir calor de una superficie caliente a una superficie menos caliente. (Los evaporadores y condensadores son intercambiadores de calor).

INTERENFRIAMIENTO: Enfriamiento de vapor y líquido en un sistema de refrigeración de doble etapa. El vapor de la descarga de la primera etapa, es enfriado hasta casi su temperatura de saturación, antes de entrar a la siguiente etapa de compresión. También, el líquido del recibidor de la segunda etapa, puede ser enfriado a la temperatura de succión intermedia.

INTERRUPTOR DE PRESIÓN: Interruptor operado por una disminución o por un aumento de presión.

INTERRUPTOR DE PRESIÓN (ALTA): Interruptor de control eléctrico, operado por la presión del lado de alta, el cual automáticamente abre un circuito eléctrico, si se alcanza una presión demasiado alta. Se conecta en serie con el motor para detenerlo por alta presión.

INTERRUPTOR DE PRESIÓN (BAJA): Dispositivo para proteger el motor, el cual detecta la presión del lado de baja. El interruptor se conecta en serie con el motor y lo detendrá, cuando haya una presión excesivamente baja.

INTERRUPTOR DE PRESIÓN (DE ACEITE): Dispositivo para proteger al compresor y el motor, en caso de una falla en la presión del aceite. Se conecta en serie con el motor y lo detendrá, durante los períodos de baja presión de aceite.

INTERRUPTOR SPDT: Interruptor eléctrico con una navaja (hoja) y dos puntos de contacto.

INTERRUPTOR SPST: Interruptor eléctrico con una navaja (hoja) y un punto de contacto.

INUNDACIÓN: Acto de permitir que un líquido fluya hacia una parte del sistema.

IÓN: Atomo o grupo de átomos cargados eléctricamente.

IQF (Individual Quick Freezing): Mecanismo de refrigeración, que se utiliza para la congelación rápida de alimentos en piezas pequeñas. Consiste de una banda de velocidad variable, la cual transporta los alimentos a través de un túnel, donde cada pieza es individual-

mente congelada mediante aire frío que circula a alta velocidad.

ISOTERMA: Nombre con el que se conoce a la línea o líneas que en una gráfica, representan un cambio a temperatura constante.

ISOTÉRMICA (EXPANSIÓN O CONTRACCIÓN): Acción que se lleva a cabo sin un cambio de temperatura.

ISOTÉRMICO: Cambio de volumen o presión bajo condiciones de temperatura constante.

J

JAULA DE ARDILLA: Ventilador que tiene sus hojas paralelas al eje, y mueve aire en un ángulo recto o perpendicular a dicho eje.

JOULE (J): Unidad de energía del Sistema Internacional (SI). Un Joule equivale al trabajo realizado por la fuerza de un Newton, cuando el punto de aplicación se desplaza una distancia de un metro, en dirección de la fuerza.

JOULE-THOMPSON, EFECTO: Cambio en la temperatura de un gas, al expandirse a través de un tapón poroso, desde una presión alta a una presión más baja.

JUNTA DE EXPANSIÓN: Dispositivo que se instala en la tubería, diseñado para permitir el movimiento de la tubería a causa de expansiones y contracciones, ocasionadas por los cambios de temperatura.

K

KELVIN: (Ver Escala Kelvin).

KILO VOLT AMPERE (KVA): Unidad de flujo eléctrico igual al voltaje, multiplicado por el amperaje, y dividido entre mil. Unidad de fuerza que se usa cuando el circuito de fuerza, tiene un factor de potencia diferente a 1.0. (KW = KVA x cos 0). «nota 1».

KILOCALORÍA: Unidad de energía y trabajo, equivalente a mil calorías. Ver caloría.

KILOPASCAL (kPa): Unidad de presión absoluta equivalente a mil Pascales. Ver Pascal.

KILOWATT (kW): Unidad de potencia equivalente a mil Watts. Ver Watt.

L

LACA: Recubrimiento o acabado protector, el cual forma una película, por evaporación de un compuesto volátil.

LADO DE ALTA: Partes de un sistema de refrigeración, que se encuentran bajo la presión de condensación o alta presión.

LADO DE BAJA: Partes de un sistema de refrigeración, que se encuentran por abajo de la presión de evaporación o baja presión.

LADO DE SUCCIÓN: Lado de baja presión del sistema, que se extiende desde el control de refrigerante, pasando por el evaporador, la línea de succión, hasta la válvula de servicio de entrada al compresor.

LÁMPARA DE HALURO: Tipo de antorcha o soplete, para detectar fugas de refrigerantes halogenados, de manera segura en un sistema.

LÁMPARA ESTERILIZADORA: Lámpara que tiene un rayo ultravioleta de alta intensidad, utilizada para matar bacterias. También se usa en gabinetes para almacenar alimentos y en ductos de aire.

LÁMPARA INFRARROJA: Dispositivo eléctrico que emite rayos infrarrojos; mas allá del rojo en el espectro visible.

LAVADOR DE AIRE: Dispositivo utilizado para limpiar el aire, mientras se aumenta o se disminuye su humedad.

LEY DE DALTON: "La presión de vapor creada en un recipiente, por una mezcla de gases, es igual a la suma de las presiones de vapor individuales de los gases, contenidos en la mezcla".

LICOR: En refrigeración, se llama así, a la solución utilizada en los sistemas de refrigeración por absorción.

LIMPIADOR DE AIRE: Dispositivo utilizado para remover impurezas producidas en el aire.

LÍNEA DE DESCARGA: En un sistema de refrigeración, es la tubería que acarrea el gas refrigerante, desde el compresor hasta el condensador.

LÍNEA DE LÍQUIDO: Tubería que acarrea refrigerante líquido, desde el condensador o recibidor, hasta el mecanismo de control de refrigerante.

LÍNEA DE SUCCIÓN: Tubería que acarrea refrigerante gaseoso, desde el evaporador hasta el compresor.

LÍNEA DE TIERRA: Alambre eléctrico que conduce electricidad de manera segura, desde una estructura hacia el suelo.

LÍQUIDO: Sustancia cuyas moléculas se mueven libremente entre sí, pero que no tienden a separarse como las de un gas.

LÍQUIDOS INFLAMABLES: Líquidos que tienen un punto de encendido abajo de 60ºC (140ºF), y una presión de vapor que no excede los 276 kPa (40 psia) a 38ºC (100ºF).

LUBRICACIÓN FORZADA: Sistema de lubricación que utiliza una bomba, para forzar al aceite hacia las partes móviles.

LUBRICACIÓN POR SALPICADURA: Método de lubricar las partes móviles, agitando o salpicando el aceite dentro del cárter.

M

MAGNETISMO: Campo de fuerza que hace que un imán atraiga materiales ferrosos o de níquel-cobalto.

MAGNETISMO INDUCIDO: Habilidad de un campo magnético para producir magnetismo en un metal.

MANEJADORA DE AIRE: Abanico-ventilador, serpentín de transferencia de calor, filtro y partes de la cubierta de un sistema.

MANIFOLD DE SERVICIO (Múltiple): Dispositivo con manómetros, mangueras y válvulas manuales interconectados, que utilizan los técnicos para dar servicio a los sistemas de refrigeración.

MANÓMETRO: Instrumento para medir presiones de gases y vapores. Es un tubo de vidrio (o plástico) en forma de "U", con una cantidad de líquido (agua o mercurio) y los extremos abiertos.

MANÓMETRO COMPUESTO: Instrumento para medir presiones por arriba y abajo de la presión atmosférica.

MANÓMETRO DE ALTA PRESIÓN: Instrumento para medir presiones en el rango de 0 a 500 psig (101.3 a 3,600 kPa).

MANÓMETRO DE BAJA PRESIÓN: Instrumento para medir presiones en el rango de 0 a 50 psia (0 a 350 kPa).

MANÓMETRO DE BOURDON: Instrumento para medir presión de gases y vapores, el cual se basa en el tubo de Bourdon. Son circulares y consisten de carátula y aguja para indicar la presión.

MANÓMETRO DE COMPRESIÓN: Instrumento usado para medir presiones positivas (arriba de la presión atmosférica) solamente. La carátula de estos manómetros, normalmente va de 0 a 300 psig (101.3 a 2,170 kPa).

MANOVACUÓMETRO: Ver Vacuómetro.

MASA: Cantidad de materia mantenida junta, de tal manera que forma un cuerpo.

MBH: Miles de BTU (14 MBH = 14,000 BTU).

MEDIDOR DE FLUJO: Instrumento utilizado para medir la velocidad o el volumen de un fluido en movimiento.

MEGOHMETRO: Instrumento para medir resistencias eléctricas extremadamente altas (en el rango de millones de ohms).

MEGOHMIO: Unidad para medir la resistencia eléctrica. Un meghomio es igual a un millón de ohms.

MERCOID, BULBO: Interruptor de circuito eléctrico, que utiliza una pequeña cantidad de mercurio en un tubo de vidrio sellado, para hacer o romper contacto eléctrico con las terminales dentro del tubo.

MET: Término aplicado al calor liberado por un humano en reposo. Es igual a 50 Kcal/m² Hr ó 58 W/m² (18.4 BTU/pie² Hr).

MICRO: La millonésima parte de una unidad especificada.

MICROFARADIO (mfd): Unidad de la capacidad eléctrica de un capacitor. Un microfaradio es igual a la millonésima parte de un faradio.

MICRÓMETRO: Instrumento de medición, utilizado para hacer mediciones precisas hasta de 0.01 mm.

MICRÓN: Unidad de longitud en el sistema métrico, que equivale a la milésima parte (1/1000) de un milímetro.

MICROPROCESADOR: Componente eléctrico que consiste de circuitos integrados, los cuales pueden aceptar y almacenar información, y controlar un dispositivo de capacidad.

MILI: Prefijo utilizado para denotar una milésima parte (1/1,000); por ejemplo, milivoltio significa la milésima parte de un voltio.

MIRILLA: Tubo o ventana de vidrio en el sistema de refrigeración, que sirve para mostrar la cantidad de refrigerante o aceite, e indica la presencia de burbujas de gas en la línea de líquido.

MISCIBILIDAD: La capacidad que tienen las sustancias para mezclarse.

MOFLE DE DESCARGA: Cámara de absorción de ruidos; se usa en compresores de refrigeración, para reducir el ruido de las pulsaciones del gas de descarga.

MOLÉCULA: La parte más pequeña de un átomo o un compuesto, que retiene la identidad química de esa sustancia.

MONOCLORODIFLUOROMETANO: Refrigerante mejor conocido como R-22. Su fórmula química es CHClF2. El código de color del cilindro donde se envasa es verde.

MONÓXIDO DE CARBONO (CO): Gas incoloro, inodoro y venenoso. Se produce cuando se quema carbón o combustibles carbonosos con muy poco aire.

MOTOR: Máquina rotatoria que transforma energía eléctrica en movimiento mecánico.

MOTOR DE CUATRO POLOS: Motor eléctrico de 1,800 rpm, 60Hz (velocidad síncrona).

MOTOR DE DOS POLOS: Motor eléctrico de 3,600 rpm, 60 Hz (velocidad síncrona).

MOTOR DE FASE DIVIDIDA: Motor con dos devanados de estator. Ambos devanados están en uso durante el arranque. Uno se desconecta por un interruptor centrífugo, después que el motor adquiere velocidad. Posteriormente, el motor opera solamente sobre el otro devanado.

MOTOR DE INDUCCIÓN: Motor de corriente alterna, que opera sobre el principio del campo magnético rotatorio. El rotor no tiene conexión eléctrica, pero recibe energía eléctrica, por la acción de transformador del campo de los devanados.

MOTOR DE POLOS SOMBREADOS: Pequeño motor de CA, diseñado para arrancar bajo cargas ligeras.

MOTOR HERMÉTICO: Motor que mueve al compresor, sellado, dentro del mismo casco que contiene al compresor.

MOTOR MONOFÁSICO: Motor eléctrico que opera con corriente alterna de una sola fase.

MOTOR POLIFÁSICO: Motor eléctrico diseñado para usarse con circuitos eléctricos de tres o cuatro fases.

MOTOR UNIVERSAL: Motor eléctrico que opera ya sea con CA o con CD.

MUÑÓN: Parte del cigüeñal (o flecha), que está en contacto con los cojinetes del extremo largo de la biela.

N

NEOPRENO: Hule sintético, resistente al aceite y gas hidrocarburo.

NEUTRALIZADOR: Sustancia utilizada para contrarrestar ácidos, en un sistema de refrigeración.

NEUTRÓN: La parte del núcleo de un átomo, el cual no tiene potencial eléctrico; eléctricamente es neutro.

NEVERA: Ver "Gabinete para Helado".

NEWTON: Unidad de fuerza del Sistema Internacional (SI), equivalente a la fuerza ejercida sobre un objeto que tiene una masa de un kilogramo, y una aceleración gravitacional de 1 m/seg².

NITRÓGENO LÍQUIDO: Nitrógeno en forma líquida, utilizado como refrigerante de baja temperatura, en sistemas de refrigeración sacrificables o químicos.

NÚCLEO DE AIRE: Bobina de alambre que no tiene núcleo metálico.

NÚCLEO MAGNÉTICO: Espacio en el que existen líneas de fuerza magnéticas.

NÚMERO DE REYNOLDS: Relación numérica de las fuerzas dinámicas del flujo de masa, con el esfuerzo puro debido a la viscosidad.

O

OHM (R): Unidad de medición de la resistencia eléctrica. Un ohm existe, cuando un voltio causa un flujo de un ampere.

OHMETRO: Instrumento para medir la resistencia eléctrica en ohms.

OHM, LEY DE: Relación matemática entre el voltaje, la corriente y la resistencia en un circuito eléctrico, descubierta por George Simon Ohm. Esta se establece como sigue: el voltaje (V), es igual a la corriente en amperes (I), multiplicada por la resistencia (R) en ohms; V = I x R.

ORGÁNICO: Perteneciente a o derivado de organismos vivos.

ORIFICIO: Abertura de tamaño exacto para controlar el flujo de fluidos.

OSCILOSCOPIO: Tubo con recubrimiento fluorescente, que muestra visualmente una onda eléctrica.

OZONO: Una forma de oxígeno, O_3, que tiene tres átomos en su molécula, generalmente es producido por descargas eléctricas a través del aire. La capa de ozono, es la capa externa de la atmósfera de la tierra, que absorbe la luz ultravioleta del sol, y protege a las capas más bajas y a la tierra de los dañinos rayos. En esta capa de ozono, han ocurrido agujeros causados por el cloro. Los clorofluorocarbonos (CFC's) contienen cloro, y cuando se liberan a la atmósfera, deterioran la capa de ozono.

P

PARO (Cut -Out): Término usado para referirse al valor de la presión o temperatura, a la cual se abre el circuito eléctrico de un control.

PASCAL (Pa): Unidad de presión absoluta en el sistema internacional (SI); es igual a la fuerza de un Newton ejercida sobre una superficie de un m²; Pa = N/m². Para algunos fines científicos o prácticos, el Pascal puede resultar una unidad muy pequeña, por lo que entonces se utiliza el kiloPascal (kPa) o el BAR. 1 kPa = 1,000 Pa y 1 BAR = 100 kPa.

PASCAL, LEY DE: Esta ley establece que la presión aplicada a un fluido, se transmite igualmente en todas direcciones. Para honrar a Pascal, el sistema internacional de unidades (SI), utiliza el término Pascal como unidad de presión.

PEINE PARA CONDENSADOR: Dispositivo en forma de peine, de metal o plástico, usado para enderezar las aletas de metal en los condensadores.

PERMANGANATO DE POTASIO: Compuesto utilizado en filtros de carbón para ayudar a reducir los olores.

pH: Medición de la concentración de iones de hidrógeno libres en una solución acuosa. El rango del pH va de 1 (acidez) hasta 14 (alcalinidad). Un pH de 7 es neutral.

PIEZOELÉCTRICO: Propiedad del cristal de cuarzo que le causa vibración, cuando se le aplica un voltaje de alta frecuencia (500 kHz o más alto). Este concepto se utiliza para atomizar agua en un humidificador.

PIE-LIBRA: Unidad de trabajo. Un pie-libra es la cantidad de trabajo que se ejerce, al levantar un peso de una libra a una altura de un pie.

PIRÓMETRO: Instrumento utilizado para medir altas temperaturas.

PLACA DE IDENTIFICACIÓN: Placa comúnmente montada sobre el casco de los compresores y motores, la cual proporciona información relativa sobre el fabricante, número de parte y especificaciones.

PLATO DE VÁLVULAS: Parte del compresor, que se encuentra ubicada entre la parte alta del cuerpo del

compresor y la cabeza. Contiene las válvulas y los puertos del compresor.

POLEA: Volante plano con ranuras en forma de "V". Cuando se instala en el motor y en el compresor, proporciona medios para darle movimiento.

POLEA TENSORA (LOCA): Polea que tiene un paso variable, y que puede ajustarse para proporcionar diferentes relaciones de impulso de polea.

POLIESTIRENO: Plástico utilizado como aislante, en algunas estructuras refrigeradas.

POLIURETANO: Cualquier polímero de hule sintético, producido por la polimerización de un grupo HO y NCO, a partir de dos diferentes compuestos. En refrigeración, se utiliza como aislante y en productos moldeados.

POLO DEL CAMPO: Parte del estator de un motor, el cual concentra el campo magnético del campo del devanado.

POLO NORTE (MAGNÉTICO): Extremo de un imán, del cual fluyen hacia afuera, las líneas de fuerza magnéticas.

POLO SUR (MAGNÉTICO): Extremo de un imán hacia el cual fluyen las líneas de fuerza magnética.

PORCELANA: Recubrimiento de cerámica aplicado a superficies de acero.

POTENCIAL ELÉCTRICO: Fuerza eléctrica que mueve o intenta mover electrones, a lo largo de un conductor o una resistencia.

POTENCIÓMETRO: Instrumento para medición o control, el cual funciona al detectar pequeños cambios en la resistencia eléctrica.

PPM (PARTES POR MILLÓN): Unidad para medir la concentración de un elemento en otro.

PRESIÓN: Energía impactada sobre una unidad de área. Fuerza o empuje sobre una superficie.

PRESIÓN ABSOLUTA: Es la suma de la presión manométrica más la presión atmosférica.

PRESIÓN ATMOSFÉRICA: Presión que ejerce el aire atmosférico sobre la tierra. Se mide en kPa, mm de Hg, kg/cm², lb/pulg², etc. Al nivel del mar, tiene un valor de 101.325 kPa (14.696 lb/pulg²).

PRESIÓN CRÍTICA: Condición comprimida del refrigerante, en la cual el líquido y el gas, tienen las mismas propiedades.

PRESIÓN DE ALTA: Término empleado para referirse a la presión, a la cual se lleva a cabo la condensación, en un sistema de refrigeración.

PRESIÓN DE BAJA: Presión del lado de baja del ciclo de refrigeración, a la cual se lleva a cabo la evaporación.

PRESIÓN DE CONDENSACIÓN: Presión dentro de un condensador, a la cual el vapor de refrigerante, cede su calor latente de evaporación y se vuelve líquido. Esta varía con la temperatura.

PRESIÓN DE DISEÑO: La más alta o más severa presión esperada, durante la operación. Algunas veces, se usa como la presión de operación calculada, más una tolerancia por seguridad.

PRESIÓN DE OPERACIÓN: Presión real a la cual trabaja el sistema, bajo condiciones normales. Puede ser positiva o negativa (vacío).

PRESIÓN DE SUCCIÓN: En un sistema de refrigeración, se llama así a la presión a la entrada del compresor.

PRESIÓN DE VAPOR: Presión ejercida por un vapor o un gas.

PRESIÓN ESTÁTICA: Presión de un fluido, expresada en términos de la altura de columna de un fluido, tal como el agua o el mercurio.

PRESIÓN PIEZOMÉTRICA: En un sistema de refrigeración, se llama así, a la presión contra la que descarga el compresor. Comúnmente, es la presión que existe en el lado del condensador, y se mide en la descarga del compresor.

PRESIONES PARCIALES: Condición donde dos o más gases ocupan un espacio, cada uno ejerciendo parte de la presión total.

PRE-ENFRIADOR: Dispositivo que se utiliza para enfriar el refrigerante, antes de que entre al condensador principal.

PROPANO: Hidrocarburo volátil, utilizado como combustible o refrigerante.

PROTECTOR DE SOBRECARGA: Dispositivo operado ya sea por temperatura, corriente o presión, que detiene la operación de la unidad, si surgen condiciones peligrosas.

PROTECTOR (ELÉCTRICO): Dispositivo eléctrico que abrirá un circuito eléctrico, si ocurren condiciones eléctricas excesivas.

PROTÓN: Partícula de un átomo con carga positiva.

PSI: Iniciales de "pounds per square inch", se usan para expresar presiones en el sistema inglés.

PSIA: Iniciales de "pounds per square inch absolute", se usan para expresar presiones absolutas en el sistema inglés.

PSICROMÉTRICA, MEDICIÓN: Medición de las propiedades del aire: como temperatura, presión, humedad, etc., utilizando una carta psicrométrica.

PSICRÓMETRO: Instrumento para medir la humedad relativa del aire.

PSICRÓMETRO DE ASPIRACIÓN: Instrumento que forza a circular una muestra de aire, a través de su interior, para medir la humedad relativa.

PSICRÓMETRO DE ONDA: Instrumento de medición, con termómetros de bulbo seco y de bulbo húmedo.

Moviéndolo rápidamente en el aire, se mide la humedad relativa.

PSIG: Iniciales de "pounds per square inch gauge", se usan para expresar presiones manométricas en el sistema inglés.

PULIDO: Suavizar una superficie metálica, hasta un alto grado de refinamiento o precisión, utilizando un abrasivo fino.

PUMP DOWN: Acción de utilizar un compresor o una bomba, para reducir la presión dentro de un contenedor o sistema. En un sistema de refrigeración, es la condición donde se detiene el flujo de refrigerante líquido, hacia un recipiente (comúnmente el evaporador), y el vapor formado del líquido remanente en ese recipiente, es bombeado por el compresor. Esto se hace hasta reducir la presión a cierto valor, o se puede prolongar hasta remover todo el refrigerante. Este método, generalmente, se hace automático conectando la válvula solenoide de líquido con el termostato, y el interruptor de baja presión con el motor del compresor.

PUNTO DE CONGELACIÓN: Temperatura a la cual se solidifica un líquido al removerle calor. La temperatura (o punto) de congelación del agua es de 0ºC (32ºF), a la presión normal o atmosférica.

PUNTO DE CONGELACIÓN, DEPRESIÓN DEL: Temperatura a la cual se forma hielo, en una solución de agua con sal.

PUNTO DE EBULLICIÓN: Temperatura a la que un líquido hierve, bajo la presión atmosférica de 101.3 kPa. El punto de ebullición del agua pura es de 100ºC a nivel del mar.

PUNTO DE ESCURRIMIENTO: La temperatura más baja a la cual un líquido escurrirá o fluirá.

PUNTO DE FUSIÓN: Temperatura a la cual se derrite o se funde una sustancia a la presión atmosférica.

PUNTO DE IGNICIÓN: En los líquidos, es la temperatura a la cual arden, y continúan quemándose, por lo menos durante 5 segundos.

PUNTO DE INFLAMACIÓN: En los líquidos, es la temperatura más baja, en la cual el vapor que existe sobre la superficie se inflama cuando se expone a una flama, pero que se apaga inmediatamente.

PUNTO TRIPLE: Condición de presión-temperatura, en la cual una sustancia está en equilibrio (balance) en los estados sólido, líquido y vapor.

PURGAR: Liberar gas comprimido hacia la atmósfera, a través de una o varias partes, con el propósito de eliminar contaminantes.

Q

QUEMADOR: Dispositivo en el que se quema un combustible.

QUEMADURA DE MOTOCOMPRESOR: Condición en la cual el aislamiento del motor eléctrico se deteriora, debido a un sobrecalentamiento.

QUEMADURA POR CONGELACIÓN: Condición aplicada a los alimentos que no han sido debidamente envueltos, y que se han vuelto duros, secos y descoloridos.

R

RADIACIÓN: Transmisión de calor por rayos térmicos u ondas electromagnéticas.

RANGO: Ajuste de presión o temperatura de un control; cambio dentro de los límites.

RANKINE: Ver escala Rankine.

RE-AJUSTAR (REHABILITAR): Término utilizado para describir el trabajo de actualizar una instalación vieja, con equipo moderno, o para que cumpla con los requerimientos de nuevos códigos.

REACTANCIA: La parte de la impedancia de un circuito de corriente alterna, debido a la capacitancia o a la inductancia, o a ambas.

REACTANCIA INDUCTIVA: Inducción electromagnética en un circuito, que crea una fem contraria o inversa, al cambiar la corriente original. Esta se opone al flujo de la corriente alterna.

RECIBIDOR DE LÍQUIDO: Cilindro o contenedor conectado a la salida del condensador, para almacenar refrigerante líquido en un sistema.

RECICLADO DE REFRIGERANTE: Limpiar el refrigerante para volverlo a usar, reduciendo su humedad, acidez y materia en suspensión. Generalmente, se aplica a procedimientos en el sitio de trabajo, o en talleres de servicio locales.

RECIPROCANTE: Movimiento hacia adelante y hacia atrás en línea recta.

RECOCIDO: Proceso de tratar un metal térmicamente, para obtener propiedades deseadas de suavidad y ductilidad.

RECTIFICADOR (ELÉCTRICO): Dispositivo eléctrico para convertir CA en CD.

RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTE: Recoger refrigerante y colocarlo en un cilindro, sin necesariamente efectuarle pruebas.

REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN: Proceso de crear bajas temperaturas, utilizando el efecto enfriador formado, cuando un refrigerante es absorbido por una sustancia química.

REFRIGERACIÓN QUÍMICA: Sistema de enfriamiento, utilizando un refrigerante desechable. También conocido como sistema refrigerante sacrificable.

REFRIGERACIÓN TERMOELÉCTRICA: Mecanismo de refrigeración que depende del efecto Peltier. Una corriente directa, que fluye a través de una unión eléctrica entre dos metales disímiles, produce un efecto de calefacción o enfriamiento, dependiendo del sentido del flujo de corriente.

REFRIGERADOR LIBRE DE ESCARCHA: Gabinete de refrigeración que opera con deshielo automático durante cada ciclo.

REFRIGERANTE: Sustancia utilizada en los mecanismos de refrigeración. Este absorbe calor en el evaporador, cambiando de estado de líquido a vapor, liberando su calor en un condensador, al regresar de nuevo del estado gaseoso al estado líquido.

REFRIGERANTES HALOGENADOS: Grupo de refrigerantes sintéticos, que en su estructura química contienen uno o varios átomos de elementos halogenados, tales como flúor, cloro o bromo.

REGISTRO: Combinación de rejilla y ensamble humidificador, que cubre una abertura de aire o el extremo de un ducto de aire.

REGULADOR DE TIRO: Dispositivo que mantiene un tiro deseado, en un aparato calentado por combustión, controlando automáticamente el tiro de la chimenea a un valor deseado.

REJILLA: Apertura ornamental o persiana, colocada en un cuarto en el extremo final de un pasadizo de aire.

RELACIÓN DE ASPECTO: Relación entre lo largo y lo ancho de un ducto o rejilla de aire rectangulares.

RELACIÓN DE COMPRESIÓN: Relación de volumen del espacio muerto con el volumen total del cilindro. En refrigeración, también se utiliza como la relación de la presión absoluta del lado de alta, entre la presión absoluta del lado de baja.

RELEVADOR: Mecanismo electromagnético, movido por una pequeña corriente eléctrica en un circuito de control. Este opera una válvula o un interruptor, en un circuito de operación.

RELEVADOR DE ARRANQUE: Dispositivo eléctrico que conecta y/o desconecta, el devanado de arranque de un motor eléctrico.

RELEVADOR DE CORRIENTE: Dispositivo que abre o cierra un circuito. Está hecho para actuar por el cambio en el flujo de corriente en ese circuito.

RELEVADOR POTENCIAL: Interruptor eléctrico que abre al aumentar el voltaje, y cierra con bajo voltaje.

RELEVADOR TÉRMICO: Control eléctrico operado por calor, que se usa para abrir o cerrar un circuito eléctrico en un sistema de refrigeración. Este sistema utiliza una resistencia, para convertir energía eléctrica en energía calorífica.

RESINA EPÓXICA: Adhesivo plástico sintético.

RESISTENCIA: Oposición al flujo o movimiento. Coeficiente de fricción.

RESISTENCIA ELÉCTRICA (R): La dificultad que tienen los electrones para moverse a través de un conductor o sustancia.

RESISTOR: Dispositivo eléctrico y pobre conductor de electricidad, que produce una cierta cantidad de resistencia al flujo de corriente.

RESORTE DOBLADOR: Resorte que se coloca en el interior o exterior de los tubos de cobre, para evitar que se colapsen al doblarlos.

RESTRICTOR: Dispositivo para producir una caída de presión o resistencia deliberada en una línea, reduciendo el área de sección transversal del flujo.

ROCÍO: Humedad atmosférica condensada, depositada en forma de pequeñas gotas sobre las superficies frías.

ROCÍO, PUNTO DE: Temperatura a la cual el vapor de agua del aire (a 100% de humedad relativa) comienza a condensarse y depositarse como líquido.

ROSCA HEMBRA: Cuerda interior de las conexiones, válvulas, cuerpos de máquina y similares.

ROSCA MACHO: Cuerda exterior sobre la tubería, conexiones, válvulas, etc.

ROTOR: Parte giratoria o rotatoria de un mecanismo.

R-11, TRICLOROMONOFLUOROMETANO: Refrigerante químico, sintético, de baja presión, que también se utilizaba como fluido limpiador. Actualmente está descontinuado.

R-12, DICLORODIFLUOROMETANO: Refrigerante químico, sintético popularmente conocido como freón 12. Actualmente está regulada su producción.

R-160, CLORURO DE ETILO: Refrigerante tóxico raramente utilizado.

R-170, ETANO: Refrigerante para aplicación en baja temperatura.

R-22, MONOCLORODIFLUOROMETANO: Refrigerante para baja temperatura. Su punto de ebullición es de -40.5ºC a la presión atmosférica.

R-290, PROPANO: Refrigerante para aplicación en bajas temperaturas.

R-500: Refrigerante que es una mezcla azeotrópica de R-12 y R-152a.

R-502: Refrigerante que es una mezcla azeotrópica de R-22 y R-115.

R-600, BUTANO: Refrigerante para aplicación en bajas temperaturas. También se utiliza como combustible.

R-717, AMONIACO: Refrigerante popular para sistemas de refrigeración industrial; también es un refrigerante común en sistemas de absorción.

S

SALMUERA: Agua saturada con un compuesto químico que puede ser una sal.

SALMUERA DE ALCOHOL: Solución de agua y alcohol, que permanece como líquido a temperaturas abajo de 0ºC.

SANGRAR: Reducir lentamente la presión de un gas o de un líquido en un sistema o cilindro, abriendo lentamente una válvula. Este término se aplica también, a la acción de drenar constantemente, una pequeña cantidad de agua de un condensador evaporativo, o de una torre de enfriamiento. El agua nueva que reemplaza al agua "sangrada", diluye las impurezas que forman el sarro.

SATURACIÓN: Condición existente, cuando una sustancia contiene la mayor cantidad que pueda retener, de otra sustancia, a esa presión y temperatura.

SELLO DE FUELLE: Método de sellar el vástago de la válvula. Los extremos del material sellante, se aseguran al bonete y al vástago. El sello se expande y se contrae con el nivel del vástago.

SELLO DE LA FLECHA: Dispositivo utilizado para evitar fugas entre la flecha y la carcasa.

SELLO DEL CIGÜEÑAL: Unión a prueba de fugas, entre el cigüeñal y el cuerpo del compresor.

SELLO DEL COMPRESOR: Sello a prueba de fugas entre el cigüeñal y el cuerpo del compresor, en un compresor de tipo abierto.

SEMICONDUCTOR: Clase de sólidos, cuya habilidad para conducir electricidad, está entre la de un conductor y la de un aislante.

SENSOR: Material o dispositivo que sufre cambio en sus características físicas o electrónicas, al cambiar las condiciones circundantes.

SEPARADOR DE ACEITE: Dispositivo utilizado para remover aceite del gas refrigerante.

SERPENTÍN DE AIRE: Serpentín en algunos tipos de bombas de calor, utilizado ya sea como evaporador o como condensador.

SI: Ver SISTEMA DE UNIDADES SI.

SÍLICA GEL: Compuesto químico absorbente, que se usa como desecante.

SISTEMA DE CONTROL: Todos los componentes que se requieren, para el control automático de la variable de un proceso.

SISTEMA DE MANEJO TOTAL DE ENERGÍA: Concepto de conservación, donde un edificio es visto en términos del uso de su energía total, en lugar de analizar los requerimientos de sistemas separados.

SISTEMA DE RECIRCULACIÓN: Sistema en el que el refrigerante líquido, es bombeado a través del evaporador, en una proporción más rápida de lo que es evaporado; el exceso de líquido ayuda a mantener húmeda la superficie interior del tubo, para promover una mejor transferencia de calor en el evaporador. Esto permite un uso más eficiente de la superficie del lado de baja. El líquido en exceso viaja junto con el vapor, a través de la línea de succión, a un recibidor de baja presión donde se separa del vapor. El líquido es recirculado de nuevo al evaporador, junto con el líquido del condensador.

SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR: Sistema que produce y almacena agua caliente, transfiriendo calor del condensador a agua fría.

SISTEMA DE REFRIGERANTE SECUNDARIO: Sistema de refrigeración, en el que el condensador es enfriado por el evaporador de otro sistema de refrigeración (primario).

SISTEMA DE UNIDADES SI (Le Systéme International d' Unitès): Sistema de mediciones creado para usarse internacionalmente. En prácticamente todos los países europeos es obligatorio; algunos países como E.U., no lo han adoptado aún, por la sabida razón del tiempo y costo que implica el cambio. En nuestro país, tampoco se ha impuesto totalmente por la influencia del sistema métrico; aunque algunas unidades son comunes a ambos sistemas. Ver capítulo 15 para mayor información.

SISTEMA EN CASCADA: Arreglo en el cual se usan en serie, dos o más sistemas de refrigeración. El evaporador de un sistema, se utiliza para enfriar el condensador del otro. Con los sistemas en cascada, se logran temperaturas ultra bajas.

SISTEMA HERMÉTICO: Sistema de refrigeración que tiene un compresor impulsado por un motor, y ambos están contenidos en la misma carcasa.

SISTEMA INUNDADO: Tipo de sistema de refrigeración en el cual el refrigerante líquido llena todo el evaporador.

SISTEMA MÉTRICO DECIMAL: Sistema decimal de mediciones.

SISTEMA MÚLTIPLE: Mecanismo de refrigeración, en el que varios evaporadores, están conectados a una sola unidad de condensación.

SISTEMA REMOTO: Sistema de refrigeración en el que la unidad de condensación, está alejada del espacio enfriado.

SISTEMA SECO: Sistema de refrigeración que tiene el refrigerante líquido en el evaporador, principalmente en una condición atomizada o en forma de gotas.

SISTEMA TIPO ABIERTO: Sistema de refrigeración con compresor movido por bandas, o directamente acoplado.

SISTEMA UNITARIO: Sistema de calefacción/refrigeración, ensamblado de fábrica en un solo paquete; es comúnmente diseñado para acondicionar un espacio o cuarto.

SISTEMA "SPLIT": Instalación de refrigeración o aire acondicionado, en el que se coloca la unidad de condensación fuera o lejos del evaporador. También se aplica a instalaciones de bomba de calor.

SOBRECALENTAMIENTO: 1- Temperatura del vapor arriba de su temperatura de ebullición (saturación) a la misma presión. 2- La diferencia entre la temperatura a la salida del evaporador, y la temperatura más baja del refrigerante, que se está evaporando en el evaporador.

SOBRECARGA: Carga mayor a aquella para la cual fue diseñado el sistema o mecanismo.

SOLDADURA CON PLATA: Proceso de soldadura en el que la aleación contiene algo de plata.

SOLDAR: Unión de dos metales con material de aporte no ferroso, cuyo punto de fusión es menor al del metal base.

SOLENOIDE: Bobina enrollada alrededor de un material no magnético (papel o plástico). Comúnmente, lleva un núcleo de hierro móvil, el cual es atraído por el campo magnético al energizarse la bobina.

SOLENOIDE DE NÚCLEO DE AIRE: Solenoide con núcleo hueco, en lugar de un núcleo sólido.

SOLUCIÓN: Líquido mezclado con otro líquido o sólido completamente disuelto. Una solución acuosa de bromuro de litio (comúnmente usada en sistemas de absorción), es agua con una cantidad de bromuro de litio disuelta. Las soluciones "fuertes" o "débiles", son aquellas con concentraciones altas o bajas, respectivamente, de otro líquido o sólido.

SUBENFRIAMIENTO: Enfriamiento de refrigerante líquido, abajo de su temperatura de condensación.

SUBLIMACIÓN: Condición donde una sustancia cambia de sólido a gas, sin volverse líquido.

SUSTANCIA: Cualquier forma de materia o material.

T

TABLERO DE CARGA: Tablero o gabinete, diseñado especialmente para cargar refrigerante y aceite a los sistemas de refrigeración. Está equipado con manómetros, válvulas y cilindros de refrigerante.

TAPÓN DE SEGURIDAD: Dispositivo que libera el contenido de un recipiente, antes de alcanzar las presiones de ruptura.

TEMPERATURA: 1- Intensidad de calor o frío, tal como se mide con un termómetro. 2- Medición de la velocidad del movimiento de las moléculas.

TEMPERATURA ABSOLUTA: Temperatura medida desde el cero absoluto.

TEMPERATURA AMBIENTE: Temperatura de un fluido (generalmente el aire), que rodea un objeto por todos lados.

TEMPERATURA CRÍTICA: Temperatura a la cual el vapor y el líquido tienen las mismas propiedades.

TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO: Medición del grado de humedad. Es la temperatura de evaporación de una muestra de aire.

TEMPERATURA DE BULBO SECO: Temperatura del aire, medida con un termómetro ordinario.

TEMPERATURA DE CONDENSACIÓN: Temperatura dentro de un condensador, en el que el vapor de refrigerante, cede su calor latente de evaporación y vuelve líquido. Esta varía con la presión.

TEMPERATURA DE EBULLICIÓN: Temperatura a la cual un líquido cambia a gas

TEMPERATURA EFECTIVA: Efecto global de la temperatura sobre un humano, humedad y movimiento del aire.

TEMPORIZADOR ("Timer"): Mecanismo operado por reloj utilizado para control, abriendo y cerrando un circuito eléctrico.

TERMISTOR: Básicamente, es un semiconductor que tiene una resistencia eléctrica, que varía con la temperatura.

TERMOCOPLE: Dispositivo que genera electricidad, usando el principio que si dos metales diferentes se soldan juntos en un extremo, y esta unión se calienta, se desarrollará un voltaje a través de los extremos abiertos (efecto Seebeck).

TERMOCOPLE, TERMÓMETRO: Instrumento eléctrico que utiliza el termocople como fuente de flujo eléctrico. Se conecta a un miliamperímetro calibrado en grados de temperatura.

TERMODINÁMICA: Rama de las ciencias; trata con las relaciones entre el calor y la acción mecánica.

TERMÓMETRO: Instrumento para medir temperaturas.

TERMÓMETRO KATA: Termómetro de alcohol de bulbo grande, usado para medir la velocidad del aire o condiciones atmosféricas, mediante el efecto de enfriamiento.

TERMÓMETRO REGISTRADOR: Instrumento para medir temperaturas, el cual tiene una plumilla marcando sobre una gráfica móvil.

TERMOMÓDULO: Número de termopares usados en paralelo para lograr bajas temperaturas.

TERMOPILA: Número de termopares usados en serie para crear un voltaje más alto.

TERMOSTATO: Dispositivo que detecta las condiciones de la temperatura ambiente, y a su vez, acciona para controlar un circuito.

TERMOSTATO ELECTRÓNICO: Termostato que utiliza componentes electrónicos, para realizar varias funciones como: sensar, interrumpir, temporizar, escalonar y exhibir.

TETRACLORURO DE CARBONO: Líquido incoloro, no inflamable y muy tóxico, que se utiliza como solvente. No debe permitirse que toque la piel y no deben inhalarse sus vapores.

TINTE DE REFRIGERANTE: Agente colorante que puede agregarse al refrigerante, para ayudar a localizar fugas en un sistema.

TONELADA DE REFRIGERACIÓN: Efecto refrigerante, equivalente a la cantidad de calor que se requiere para congelar una tonelada corta (2,000 lb) de agua a hielo, en 24 horas. Esto puede expresarse como sigue: 1 TR= 12,000 btu/h = 3,024 kcal/h.

TORQUE: Fuerza giratoria.

TORQUÍMETRO: Herramienta que se utiliza para medir el torque o presión, que se aplica a una tuerca o tornillo.

TORRE DE ENFRIAMIENTO: Dispositivo que enfría por evaporación del agua en el aire. El agua es enfriada hasta la temperatura de bulbo húmedo del aire.

TRAMPA DE VAPOR: Válvula automática que atrapa aire, pero permite que el condensado pase, al mismo tiempo que evita el paso de vapor.

TRANSDUCTOR: Dispositivo que se enciende por el cambio de fuerza de una fuente, con el propósito de abastecer fuerza en otra forma, a un segundo sistema.

TRANSFORMADOR: Dispositivo electromagnético que transfiere energía eléctrica, desde un circuito primario, a varios voltajes en un circuito secundario.

TRANSFORMADOR DELTA: Transformador eléctrico trifásico, que tiene puntas de tres devanados conectadas eléctricamente formando un triángulo.

TRANSISTOR: Dispositivo electrónico comúnmente usado para amplificación. Su uso es similar al tubo de electrones. Depende de las propiedades conductoras de los semiconductores, en los cuales los electrones que se mueven en un sentido, son considerados como agujeros de salida, que sirven como transportadores de electricidad positiva en el sentido opuesto.

TRANSMISIÓN: Pérdida o ganancia de calor desde un edificio, a través de componentes exteriores como ventanas, paredes, pisos, etc.

TRANSMISIÓN DE CALOR: Movimiento de calor desde un cuerpo o sustancia a otro. El calor puede transmitirse por radiación, conducción, convección o combinación de las tres anteriores.

TRANSMISIÓN EXTERNA: Término utilizado para indicar que un compresor, es movido por medio de bandas y polea o directamente de la flecha, usando un motor externo. Al compresor y al motor se les da servicio por separado.

TRIFÁSICO: Que opera por medio de la combinación de tres circuitos de corriente alterna, los cuales difieren en fase por un tercio de ciclo.

TROPÓSFERA: Parte de la atmósfera inmediatamente arriba de la superficie de la tierra, en la cual, ocurren la mayoría de los disturbios meteorológicos.

TROQUELADO: Proceso de moldear metales de baja temperatura de fusión, en moldes de metal modelados con toda precisión.

TUBO DE BOURDON: Tubo de metal elástico, aplanado, de paredes delgadas y doblado en forma circular, el cual tiende a enderezarse al aumentar la presión dentro del mismo. Se utiliza en manómetros.

TUBO CAPILAR: Tubo de diámetro interior pequeño, que se utiliza para controlar el flujo de refrigerante hacia el evaporador. Se utiliza, generalmente, en sistemas de refrigeración pequeños, tales como refrigeradores domésticos, unidades de aire acondicionado de ventana, etc.

TUBO DE ESTRANGULACIÓN: Dispositivo de estrangulación, que se usa para mantener una correcta diferencia de presiones entre el lado de alta y el lado de baja, en un sistema de refrigeración. A los tubos capilares, algunas veces, se les llama tubos de estrangulación.

TUBO DE PITOT: Tubo utilizado para medir velocidades del aire.

U

ULTRAVIOLETA: Ondas de radiación invisible, con frecuencias más cortas que las longitudes de onda de la luz visible, y más largas que los rayos X.

UNIDAD DE CONDENSACIÓN: Parte de un mecanismo de refrigeración, la cual succiona vapor de refrigerante del evaporador, lo comprime, lo licúa en el condensador y lo regresa al control de refrigerante.

UNIDAD DE VENTANA (Sistema Unitario): Sistema de calefacción/refrigeración ensamblado de fábrica en un solo paquete, diseñado para acondicionar un espacio o cuarto. Comúnmente se instala en la ventana.

UNIDAD PAQUETE: Sistema de refrigeración completo, que incluye compresor, condensador y evaporador, ubicado en el espacio refrigerado.

UNIÓN: Punto de conexión (como entre dos tubos).

UNIÓN CALIENTE: La parte de un circuito termoeléctrico que libera calor.

UNIÓN FRÍA: Parte de un sistema termoeléctrico, que absorbe calor conforme opera el sistema.

V

VACÍO: Presión menor que la atmosférica.

VACUÓMETRO: Instrumento para medir vacío muy cercano al vacío perfecto.

VÁLVULA: Accesorio utilizado para controlar el paso de un fluido.

VÁLVULA DE AGUA (ELÉCTRICA): Válvula tipo solenoide (operada eléctricamente), que se usa para abrir y cerrar el flujo de agua.

VÁLVULA DE AGUA (TERMOSTÁTICA): Válvula usada para controlar el flujo de agua a través de un sistema, accionada por una diferencia de temperaturas. Se usa en unidades como compresores y/o condensadores, enfriados por agua.

VÁLVULA DE AGUJA: Tipo de válvula que tiene el asiento del vástago en forma de aguja, y un orificio pequeño en el asiento del cuerpo; sirve para medir flujos bajos con mucha precisión.

VÁLVULA DE ALIVIO: Válvula de seguridad en sistemas sellados. Abre para liberar fluidos, antes que alcancen presiones peligrosas.

VÁLVULA DE ÁNGULO: Tipo de válvula de globo, con conexiones para tubo en ángulo recto. Usualmente, una conexión va en plano horizontal y la otra en plano vertical.

VÁLVULA DE CONTROL: Válvula que regula el flujo o presión de un medio, el cual afecta un proceso controlado. Las válvulas de control, son operadas por señales remotas de dispositivos independientes, que utilizan cualquier cantidad de medios de control, tales como neumáticos, eléctricos o electrohidráulicos.

VÁLVULA DE DESCARGA: Válvula dentro del compresor de refrigeración, que permite que salga del cilindro el gas refrigerante comprimido, hacia la línea de descarga, evitando que se devuelva.

VÁLVULA DE DOS VÍAS: Válvula con un puerto de entrada y uno de salida.

VÁLVULA DE ESCAPE: Puerto móvil que proporciona salida para los gases del cilindro en un compresor.

VÁLVULA DE EXPANSIÓN: Tipo de control de refrigerante, la cual mantiene presión constante en el lado de baja del sistema de refrigeración. La válvula es operada por la presión en el lado de baja o de succión. Con frecuencia, se le refiere como válvula de expansión automática (VEA).

VÁLVULA DE EXPANSIÓN AUTOMÁTICA (VEA): Ver válvula de expansión.

VÁLVULA DE FLOTADOR: Tipo de válvula que opera con un flotador, sobre la superficie del líquido, controlando su nivel.

VÁLVULA DE GAS: Dispositivo en la tubería para arrancar, parar o regular el flujo de un gas.

VÁLVULA DE LÍQUIDO-VAPOR: Válvula manual doble, que se utiliza comúnmente en los cilindros de refrigerante, con la cual se puede obtener refrigerante, ya sea en forma líquida o vapor, del cilindro.

VÁLVULA DE PRESIÓN DE AGUA: Dispositivo utilizado para controlar el flujo de agua. Esta es responsable de crear la presión piezométrica del sistema de refrigeración.

VÁLVULA DE RETENCIÓN (Check): Válvula de globo que acciona automáticamente, y que sólo permite el flujo en un solo sentido.

VÁLVULA DE SEGURIDAD: Válvula auto-operable de acción rápida, que se usa para un alivio rápido del exceso de presión.

VÁLVULA DE SERVICIO: Dispositivo utilizado en cualquier parte del sistema donde se desea verificar presiones, cargar refrigerante o hacer vacío o dar servicio.

VÁLVULA DE SERVICIO DE DESCARGA: Válvula de dos vías operada manualmente, ubicada en la entrada del compresor. Controla el flujo de gas de la descarga, se usa para dar servicio a la unidad.

VÁLVULA DE SERVICIO DE SUCCIÓN: Válvula de dos vías operada manualmente, ubicada en la entrada del compresor. Controla el flujo de gas de la succión, se usa para dar servicio a la unidad.

VÁLVULA DE SUCCIÓN: Válvula dentro del compresor de refrigeración, que permite el ingreso del vapor de refrigerante, proveniente de la línea de succión, al cilindro, evitando que se devuelva.

VÁLVULA DE TERMO EXPANSIÓN: Válvula de control operada por la temperatura y presión dentro del evaporador. Controla el flujo de refrigerante hacia el evaporador. El bulbo sensor se instala a la salida del evaporador.

VÁLVULA DE TRES VÍAS: Válvula de control de flujo con tres puertos, para el flujo de fluidos.

VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN: Dispositivo instalado en la línea de succión, que mantiene una presión constante en el evaporador, durante una parte de trabajo del ciclo.

VÁLVULA REVERSIBLE: Válvula utilizada en bombas de calor para invertir el sentido del flujo, dependiendo si se desea refrigeración o calefacción.

VÁLVULA SANGRADORA: Válvula con una pequeña abertura interna, que le permite un flujo mínimo de fluido cuando la válvula está cerrada.

VÁLVULA SOLENOIDE: Válvula diseñada para funcionar por acción magnética, a través de una bobina energizada eléctricamente. Esta bobina acciona un núcleo móvil, el cual abre o cierra la válvula.

VÁLVULA TERMOSTÁTICA: Válvula controlada por elementos que responden a cambios de temperatura.

VÁLVULA "SCHRADER": Dispositivo cargado con resorte, que permite flujo en un sentido al presionar un perno en el centro, y en el sentido opuesto, cuando existe una diferencia de presión.

VAPOR: Estado o fase de una sustancia que está en su temperatura de saturación, o muy cercano a ella.

VAPOR SATURADO: Vapor que se encuentra a las mismas condiciones de temperatura y presión, que el líquido del cual se está evaporando. Es decir, si este vapor se enfría, se condensa.

VAPORIZACIÓN: Cambio del estado líquido al gaseoso.

VELOCÍMETRO: Instrumento que mide velocidades del aire, utilizando una escala que indica directamente la velocidad del aire.

VENTILACIÓN: Flujo de aire forzado, por diseño, entre un área y otra.

VENTILADOR (ABANICO): Dispositivo de flujo radial o axial, usado para mover o producir flujo de gases.

VENTILADOR CENTRÍFUGO: Algunas veces llamado ventilador de jaula de ardilla. El ventilador o rotor va dentro de una cámara involuta de metal, para dirigir el aire. El ventilador "bombea" el aire por medio de una fuerza centrífuga, generada por las aspas del rotor al girar. Este tipo de ventilador se utiliza, cuando se necesita vencer una resistencia externa, para circular el aire.

VENTILADOR DEL CONDENSADOR: Dispositivo utilizado para mover aire a través del condensador enfriado por aire.

VENTILADOR DEL EVAPORADOR: Ventilador que incrementa el flujo de aire, sobre la superficie de intercambio de calor de los evaporadores.

VIBRACIÓN CRÍTICA: Vibración que es notable y dañina a una estructura.

VISCOSIDAD: Resistencia a fluir que tienen los líquidos.

VOLTAJE: 1- Término empleado para indicar el potencial eléctrico o fem en un circuito eléctrico. 2- Presión eléctrica que causa que fluya una corriente. 3- Fuerza electromotriz (fem).

VOLTÍMETRO: Instrumento para medir voltaje en un circuito eléctrico.

VOLUMEN ESPECÍFICO: Volumen por unidad de masa de una sustancia (m^3/kg).

W

WATT (W): Unidad de potencia, equivale a la potencia producida al realizar un trabajo de 1 Joule por segundo (1 Watt = 1 J/s).

Y

YUGO ESCOSÉS: Mecanismo utilizado para cambiar el movimiento reciprocante en movimiento rotatorio o viceversa. Se utiliza para conectar el cigüeñal con el pistón, en los compresores de refrigeración.

Z

ZEOTRÓPICA, MEZCLA: Mezcla de dos o más líquidos de diferente volatilidad. Cuando se usa como refrigerante, al hervir en el evaporador, se evapora un mayor porcentaje del componente más volátil, y cambia el punto de ebullición del líquido remanente.

ZONA DE CONFORT: Area sobre una carta psicrométrica, que muestra las condiciones de temperatura, humedad, y algunas veces, el movimiento del aire, en que la mayoría de la gente se siente confortable.

OMA - TraxOil

Sistema de Control Electrónico de Nivel de Aceite

El TraxOil OMA de ALCO, es un control electrónico que monitorea, mantiene y protege el nivel apropiado de aceite de sus compresores.

Tiene integrada una pequeña válvula solenoide que se acciona para alimentar aceite al compresor conforme disminuya su nivel. Si el nivel correcto de aceite no es alcanzado dentro de un periodo de tiempo razonable, o disminuye, se activa una señal de alarma, y seguidamente, se activa también el paro del compresor.

El TraxOil OMA es indispensable para todos los sistemas de refrigeración con compresores en paralelo, que cuentan a su vez, con un sub-sistema de separación y retorno de aceite.

Se instala en el compresor, en lugar de la mirilla indicadora de nivel de aceite, por medio de un adaptador diferente para cada tipo de compresor. El adaptador se suministra por separado.

El TraxOil OMA debe ser instalado en forma horizontal para una correcta operación.

Características

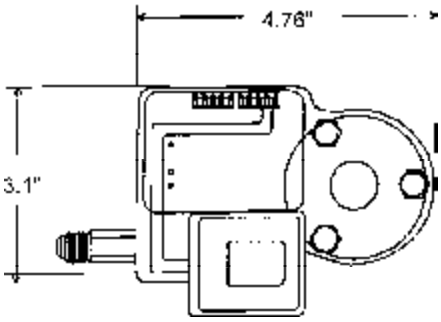
- Unidad autocontenida, con sensor de nivel de aceite y válvula solenoide integrada para suministrar el aceite faltante al nivel del compresor.
- Indicación del estátus y alarma por LED´s luminosos.
- Contactos de salida de un polo doble tiro SPDT, para protección: por paro de compresor y alarma; compatible con todos los controles digitales.
- Bobina solenoide de 24V, ASC2 totalmente encapsulada.
- Fácilidad de instalación, reemplazando por la mirilla del compresor.
- Adecuado para los diferentes tipos de compresores, convencionales y scroll, mediante su adaptador correspondiente.
- La densidad específica del flotador de sensado, no permite que se hunda y falle.
- Restrictor de aceite opcional para sistemas de alta presión de aceite.
- Certificación UL.
- Aprobado por Copeland para sus compresores Glacier Scrolls.

MODELO	DESCRIPCION
OMA-MO1 S/T	TraxOil
OMA-JB1 S/T	TraxOil
OMA-ACA	Adaptador
OMA-ACB	Adaptador
OMA-AUA	Adaptador

Especificaciones

- Presión Máxima de Trabajo (MWP): 400 psig.
- MOPD de la solenoide: 300 psig.
- Voltaje de alimentación: 24 VAC, 50/60 Hz.
- Bobina solenoide Alco: AMF o ASC2.
- Consumo de corriente: 0.9 A.
- Señal de retardo por bajo nivel de aceite: 10 seg.
- Tiempo de retardo después de recuperar el nivel: 10 seg
- Tiempo de retardo para la alarma: 120 seg.
- Interruptor de la alarma: SPDT.
- Capacidad del contacto de la alarma: 2 A, a 24V.
- Refrigerantes: HFC, HCFC, CFC (no para flamables ni amoniaco).
- Temperatura de refrigerante 82ºC, (180 ºF).
- Temperatura de almacenamiento y transporte: 50ºC.
- Temperatura ambiente: 50ºC.
- Conexión de aceite 1/4": SAE macho.

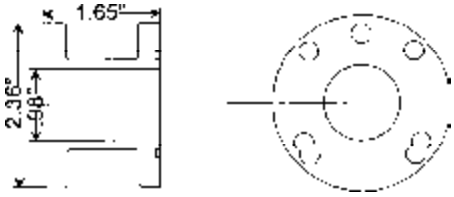
Especificaciones Dimensionales



Adaptadores para TraxOil OMA

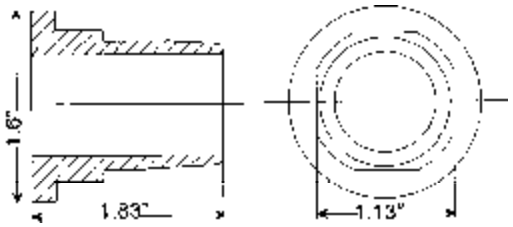
OMA-AUA
Adaptador tipo brida 3/4”
✪ 3 barrenos (.26”)
✪ 4 barrenos (.26”)
✪ Sello O-ring (1.3” x 1”)

Semi-herméticos
Adaptador Universal



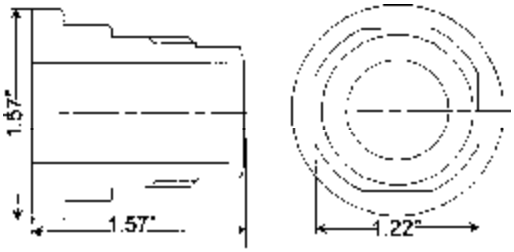
OMA-ACA
Adaptador tipo tornillo 3/4” - 14 NPTF
✪ Rosca NPTF macho
✪ Requiere sello de teflón (no incluido)
✪ Anillo bridado para la unidad de conexión Adaptador/base, adicional (incluido)

Copeland Scroll
ZF, ZS, ZB



OMA-ACB
Adaptador tipo tornillo 1-1/8” -12 UNF
✪ Rosca UNF
✪ Sello O-ring (.86” x 1”)
✪ Anillo Bridado para la unidad de conexión Adaptador/base, adicional (incluido)

Copeland Scroll
ZR



OMA - JB2 Oil Watch

Sensor de Nivel de Aceite

El Sensor de Nivel de Aceite ALCO OMA-JB2, está diseñado para monitorear el nivel de aceite del compresor proveyendo una señal de alarma cuando el nivel de aceite es inadecuado. Adicionalmente, el OMA-JB2 a través de su interruptor SPDT, puede ser usado para el paro del compresor por bajo nivel de aceite.

Importante: El Oil Watch solo es control de monitoreo de nivel de aceite con alarma. No rellena aceite al compresor, y por lo tanto, no tiene válvula solenoide ni conexión de aceite. Por lo demás es similar al TraxOil.

Características

- ❍ Unidad autocontenida.
- ❍ Visor de nivel de aceite.
- ❍ Interruptor SPDT para alarma o paro.
- ❍ Se instala en lugar de la mirilla de aceite del compresor, igual que el TraxOil.
- ❍ Certificación UL.

MODELO	DESCRIPCION
OMA-JB2	Sensor de Nivel de Aceite