



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



...: Mecánica e Industrial:

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

TUBERÍAS DE REFRIGERACIÓN:
MATERIALES Y MANEJO

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

TUBERIAS DE REFRIGERACIÓN: MATERIALES Y MANEJO

R5-1 GENERALIDADES

En el capítulo R1 se presentaron los principales componentes del ciclo de refrigeración mecánica: compresor, evaporador, condensador y dispositivo de medición. También consta de la tubería necesaria para conectar esos elementos y formar un sistema sellado, para que el refrigerante no escape. Este capítulo describe los materiales, herramientas y métodos que los técnicos usan con más frecuencia para formar y armar el sistema de tuberías de refrigeración.

R5-2 MATERIALES DE TUBERIA PARA REFRIGERACION

La mayor parte del tubo que se usa en acondicionamiento de aire está hecho de cobre. Sin embargo, hoy en día el aluminio se usa mucho para fabricar los circuitos internos de los serpentines del evaporador y condensador, aunque no se ha extendido su uso en fabricación en el campo porque no se puede trabajar con tanta facilidad como el cobre, y es más difícil de soldar.

La tubería de acero se usa para armar los sistemas de refrigeración muy grandes en los que se necesitan tubos de 6 pulg de diámetro o mayores. En la refrigeración moderna no se usan conexiones roscadas de tubo de acero, porque no se pueden hacer herméticas. Estos sistemas son soldados, y cuando se necesita conectar al equipo o se necesitan uniones de servicio se usan conexiones atornilladas.

El término tubing se aplica en general a materiales de pared delgada, que se unen mediante sistemas que no sean de rosca cortada en la pared del tubo. Por otro lado, el término tubo común y corriente es el que se aplica a materiales con pared gruesa, como por ejemplo hierro y acero, en los cuales se pueden cortar roscas en la pared y que

se unen mediante conexiones que se atornillan en el tubo. Estos tubos también se pueden soldar. Otra diferencia entre "tubing" y tubo es el método de medición de tamaño (véase figura R5-1). Los tamaños de "tubing" se expresan en términos del diámetro exterior (DE), y los del tubo se expresan como diámetros nominales interiores (DI). Así, en la figura R5-1 el tubo de cobre tipo L tiene un diámetro interior de 0.43". El tubo de nominal de acero tiene un diámetro interno de 0.50", y un diámetro externo de 0.75".

Debido al tratamiento especial que se da al "tubing" de aluminio y al tubo de acero soldado, no se describirá en este capítulo la técnica de fabricación.

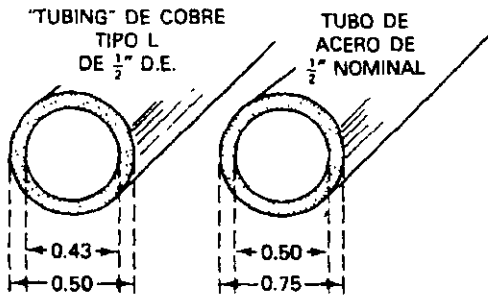


FIGURA R5-1 Método de medir "tubing" y tubo estándar.

R5-3 "TUBING" DE COBRE

Este "tubing"¹ se usa en la mayor parte de los sistemas domésticos de refrigeración, y es cobre especialmente recocido. Cuando se forma el tubo de cobre tiene una tendencia endurecerse, y esta tendencia podría originar grietas en extremos del "tubing" cuando se avellan o se aplanan. El cobre se puede reblandecer por calentamiento hasta que superficie tenga color azul, y dejándolo enfriar. A este suceso se le llama recocido y se hace en fábrica.

El "tubing" de cobre que se usa en refrigeración y acondicionamiento de aire se llama-tubing ACR, que quiere decir que se usa en trabajos de refrigeración y aire acondicionado, y que se ha fabricado y procesado especialmente para este objeto. El "tubing" ACR tiene nitrógeno a presión para evitar la entrada de aire, humedad y polvo, y también para dar máxima protección contra los óxidos perjudiciales que se forman normalmente durante el latonado.

Los extremos están taponados, y los taponos se deben volver a poner después de cortar un tramo del "tubing".

¹ N. del T.: En español no se diferencia entre tubo "tubing" y tubo "pipe", el contexto es lo que define lo que se trata. Sin embargo, en este capítulo sí haremos la distinción, y en el resto del libro sólo usaremos la palabra "tubing" cuando sea necesario aclarar para que el lector no se confunda.

R5-3.1 Clasificación del "tubing" de cobre

El "tubing" de cobre tiene tres clasificaciones: K, L y M q se basan en los espesores de pared:

- K: pared gruesa, aprobado para refrigeración y aire acondicionado
- L: pared media, aprobado para refrigeración y aire acondicionado
- M: pared delgada; no se usa en sistemas de refrigeración

El "tubing" M de pared delgada no se usa en tuberías de refrigerante a presión, porque no tiene el espesor de pared necesario para cumplir con los reglamentos de seguridad sin embargo, se usa en tuberías de agua, drenado de condensados y otras necesidades relacionadas con el sistema.

FIGURA R5-2

Especificaciones de "tubing" normal de cobre.

Tipo	DIAMETRO		Espesor de pared, pulg.	Weight per foot (lb)
	Exterior, pulg.	Interior, pulg.		
K	1/2	0.402	0.049	0.2691
	5/8	0.527	0.049	0.3437
	3/4	0.652	0.049	0.4183
	7/8	0.745	0.065	0.6411
	1 1/8	0.995	0.065	0.8390
	1 3/8	1.245	0.065	1.037
	1 5/8	1.481	0.072	1.362
	2 1/8	1.959	0.083	2.064
	2 5/8	2.435	0.095	2.927
	3 1/8	2.907	0.109	4.003
	3 5/8	3.385	0.120	5.122
	L	1/2	0.430	0.035
5/8		0.545	0.040	0.2849
3/4		0.666	0.042	0.3621
7/8		0.785	0.045	0.4518
1 1/8		1.025	0.050	0.6545
1 3/8		1.265	0.055	0.8840
1 5/8		1.505	0.060	1.143
2 1/8		1.985	0.070	1.752
2 5/8		2.465	0.080	2.479
3 1/8		2.945	0.090	3.326
3 5/8		3.425	0.100	4.292

El "tubing" K de pared gruesa se emplea en usos especiales, cuando se esperan condiciones excepcionales de presión. El tipo L es el que se usa con más frecuencia para aplicaciones normales en refrigeración. La figura R5-2 muestra una tabla de especificaciones para "tubing" tipos K y L. Ambos tipos se consiguen en variantes de extrusión suave o dura.

R5-3.2 "Tubing" de cobre extruido suave

Como su nombre lo dice, se recuece para hacer que el sea más flexible y fácil de doblar y conformar. Se consigue en el comercio en tamaños de 1/8" a 1 1/8" DE y se vende con frecuencia en rollos de 7.5, 15 y 30 metros. Los rollos se deshidratan y sellan en fábrica. El "tubing" de cobre suave se puede soldar o usar con conexiones abocinadas o mecánicas de otro tipo. Como se dobla y se conforma con facilidad debe sujetarse con abrazaderas u otros componentes para soportar su propio peso. Su aplicación más frecuente es para tamaños de tubería de 1/4" a 3/4" DE. Cuando el diámetro es mayor que 3/4", se hace difícil el darle forma.

R5-3.3 Tubing" de cobre extruido duro

Este "tubing" también se usa mucho en sistemas comerciales de refrigeración y aire acondicionado. A diferencia del

extruido suave, es duro y rígido y tiene la forma de tramos rectos. Se debe usar con conexiones formadas para dar los cambios de dirección y dobleces necesarios. A causa de su construcción rígida es más autosoportante y necesita de pocos soportes. Sus diámetros van de "a más de 6". El "tubing" extruido duro se vende en tramos normales de 6 m que están deshidratados, cargados con nitrógeno y taponados en ambos extremos para mantener una condición interna limpia y libre de humedad. El empleo de "tubing" extruido duro se asocia con más frecuencia con tamaños mayores de tubería, de 7/8" o más.

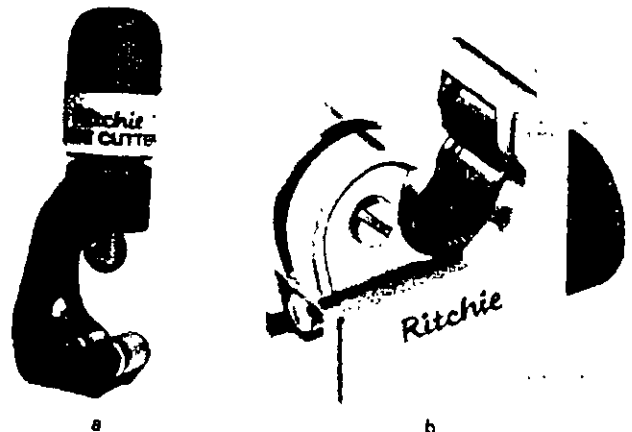


FIGURA R5-3 Cortadores de "tubing" (Cortesía de Yellow Jacket Division, Ritchie Engineering Company, Inc.)

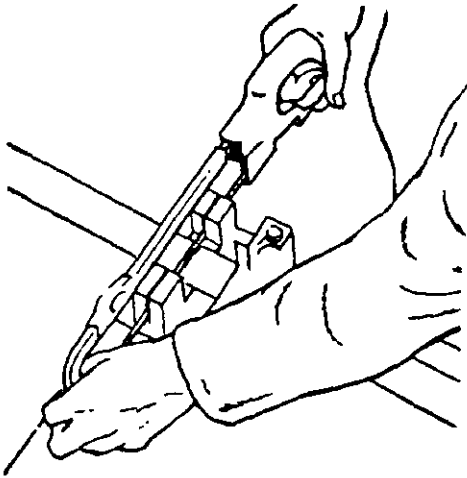


FIGURA R5-4 Corte de un tubo con arco, sierra y un cartabón para aserrar. (Cortesía de Imperial Eastman.)

R5-4 CORTE DEL "TUBING" DE COBRE

Hay dos métodos para cortar "tubing" de cobre. El primero emplea los cortadores manuales que se ven en la figura R5-3; son adecuados para cortar el extruido suave o duro. Se pueden conseguir en diversos modelos, para cortar tamaños desde 1/8" hasta 4 1/8" DE.

El cortador manual se coloca sobre el "tubing" en el lugar donde se va a cortar. Al apretar la perilla se impulsa la carretilla de corte contra el "tubing". A continuación, al hacer girar el cortador alrededor del "tubing" y al mismo tiempo apretar la perilla, se hace el corte. Hay una rima íntegra que se usa para quitar las rebabas del interior del "tubing" después del corte.

Un segundo método, menos deseable, para cortar "tubing" extruido duro de mayores diámetros es emplear un arco y sierra, y un soporte de aserrar para ayudar a obtener un corte perpendicular y que los cortes sean más exactos (véase figura R5-4).

La sierra debe tener cuando menos 32 dientes por pulgada, para asegurar un corte liso. Trate de evitar que las limaduras del metal entren al "tubing" que va a usar. Algunos mecánicos también liman el extremo cortado para obtener una superficie lisa. Limpie con un trapo el interior del tubo.

Para contratistas que hacen mucho trabajo de tuberías de refrigeración hay máquinas motorizadas portátiles que usan ruedas abrasivas para los cortes del "tubing" y soplan tanto su interior como su exterior; sin embargo, no se necesitan estas máquinas para la instalación promedio.

R5-5 DOBLADO DE "TUBING"

Cuando se usa "tubing" de tamaños menores, en general es más cómodo y económico doblar sencillamente el "tubing" para que ajuste a las necesidades de la aplicación sin usar conexiones especiales. Esto se puede hacer a mano sin herramientas especiales; pero se necesita práctica para no hacer dobleces demasiado agudos o estrechos y con el aplastar el material.

Como regla práctica, el radio mínimo de doblez en que se puede curvar un "tubing" de diámetro pequeño unas cinco veces el diámetro del mismo, como se muestra en la figura R5-5. El "tubing" mayor necesita de radios hasta 10 veces el diámetro del mismo.

Para hacer un doblez a mano se inicia con un radio grande y se conforma gradualmente al "tubing" a la forma adecuada, y al mismo tiempo se disminuye el radio. No trate de doblar a la primera llegando al radio final.

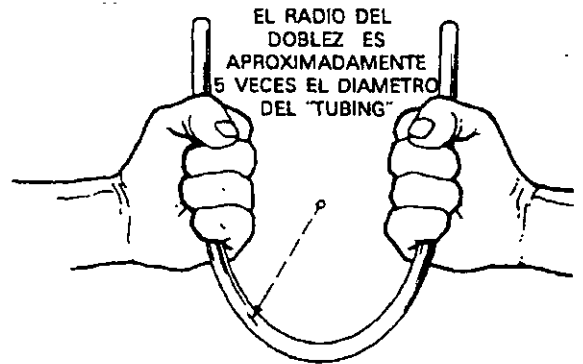


FIGURA R5-5 Técnica que se recomienda para doblar tubos a mano. (Cortesía de Imperial Eastman.)

Se consiguen resortes para doblar tubo, como el que ve en la figura R5-6, en los cuales se introduce dentro de ellos el "tubing" para evitar que éste se aplaste. Estos resortes son relativamente baratos y sus tamaños acomodan al "tubing" de tamaño de uso más frecuente.

El método más exacto y confiable para doblar "tubing" una dobladora de palanca como la que se ve en la figura R5-7, para material tanto duro como suave. Se suministran estos tamaños de ruedas y bloques de conformación, hasta unos 7/8". Se pueden hacer dobleces a cualquier ángulo hasta 180°.

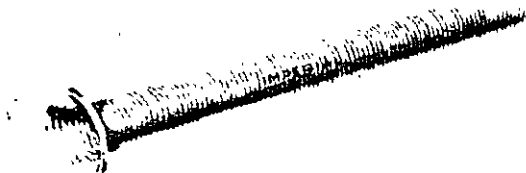


FIGURA R5-6 Doblador de tubo tipo resorte. (Cortesía de Imperial Eastman.)

R5-6 METODOS PARA UNIR "TUBING"

Como se mencionó antes, las paredes del "tubing" de cobre son demasiado delgadas para hacerles rosca, y por lo tanto se deben usar otros medios para conectarlo. Los métodos se pueden dividir en dos categorías generales:

1. Coples mecánicos Son conexiones avellanadas o de compresión, semipermanentes porque se pueden desarmar mecánicamente.
2. Uniones al calor Soldadura y latonado, lo cual significa que son permanentes.

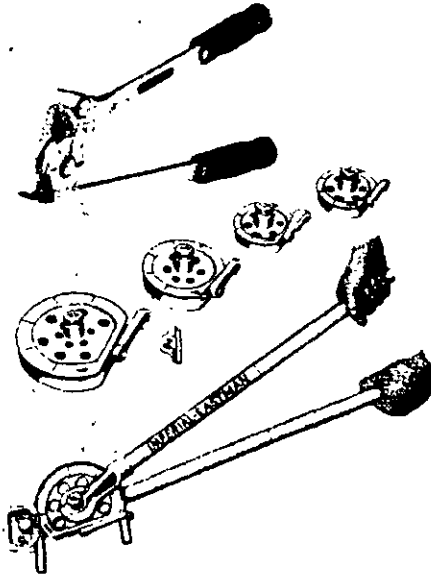


FIGURA R5-7 Doblador de tubo tipo palanca (Cortesía de Imperial Eastman)

R5-7 COPLES MECANICOS

R5-7.1 Conexiones avellanadas

Desde hace aproximadamente 100 años la conexión avellanada es una de las técnicas de mayor empleo para unir "tubing" de cobre extruido suave. Es importante un avellanado hecho en forma correcta si es que se desean uniones herméticas. Para ello se necesitan las herramientas y la práctica correctas.

Los avellanados, campanas abocinados se hacen con herramientas especiales, que agrandan el extremo del tubo de cobre para darle una forma cónica como se ve en la figura R5-8. Este cono tiene un ángulo de 45° que coincide con la cara de una conexión especial. La tuerca de campana, al apretarla, fuerza al cobre suave contra el asiento maquinado de la conexión, formando así un sello hermético. La campana

que se ve en la figura R5-8 se llama avellanado de pared sencilla, o de espesor sencillo. Hay otros que se llaman avellanados de pared doble. A continuación se describen las técnicas para formar a ambos.

R5-7.2 Avellanados de pared sencilla

La figura R5-9 representa un avellanador común que consiste de un molde, soporte o bloque de avellanado, y una prensa o yugo que sujeta al cono de troquel, movido con un tornillo.

Nótese que los moldes del soporte se deslizan para permitir que el "tubing" se introduzca en el agujero del tamaño adecuado. A continuación se aprieta la tuerca de manopla para sujetar al material en su lugar durante el avellanado.

La figura R5-10 representa un avellanado normal. La

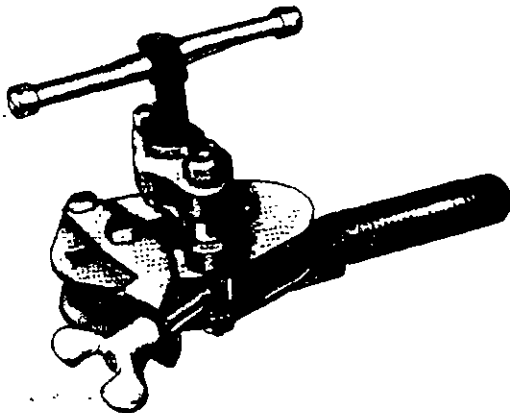


FIGURA R5-9 Herramienta avellanadora normal (Cortesía de Yellow Jacket Division, Ritchie Engineering Company.)

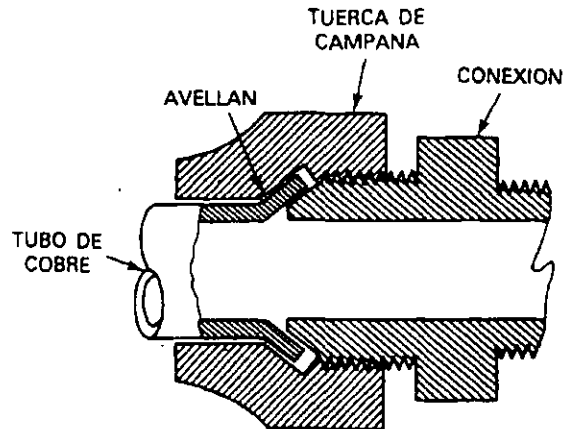


FIGURA R5-8 Sección longitudinal de una conexión avellanada a 45°

ociedad en el soporte tiene un ángulo de 45°. El "tubing" debe sobresalir ligeramente sobre el soporte, aproximadamente a un tercio de la altura del avellán. Es necesario para dar material suficiente como para llenar la abertura después de haber introducido el troquel en el "tubing", y también para asegurar la superficie correcta que recargue contra la cara de la conexión. Si es demasiado pequeña, puede ser que la tuerca de campana no sujete al "tubing"; si es demasiado grande, puede ser que no quepa en la tuerca de campana. Para esta operación se necesita práctica.

Pero antes de hacer la campana es importante preparar el "tubing". Use material de buena calidad. No todos los tipos de "tubing" se recomiendan para avellanarlos. Siga las prácticas correctas de corte y rebabeado. Corte el tubo perpendicularmente y use lima si es necesario. Quite las rebabas internas y externas. Use la lima del

ortador.

Para formar la campana, primero coloque la tuerca de campana sobre el "tubing". Introduzca éste en el agujero del tamaño adecuado, y ajuste la altura a la que sobresale del soporte; apriete las tuercas de mariposa. Coloque una gota de aceite en el cono de troquel. Apriete ese cono en el "tubing" primero con media vuelta. A continuación regrese un cuarto de vuelta. Vuelva a apretar tres cuartos de vuelta a apretar tres cuartos de vuelta y a continuación regrese un cuarto de vuelta. Continúe este procedimiento de vaivén hasta haber formado el avellanado; con práctica este movimiento se hace rutinario. No se recomienda hacerlo de una vez, porque el operador no adquiere el sentido del avance que se lleva y puede tender a endurecer el metal. Quite el tubo abocinado del bloque y examine con cuidado la campana terminada para ver que los lados no tengan grietas u otras imperfecciones.

Mantenga las herramientas en un estado correcto y bien lubricado siempre, para facilidad de operación y mayor duración. Nunca sobreapriete el mecanismo de alimentación al hacer un avellanado, porque puede barrerse.

Nota: El abocinado de 45° es normal en la industria de la refrigeración y aire acondicionado. En otras industrias, como en la automotriz, se usan tubos de acero o de latón. Estos metales no se conforman con tanta facilidad como el cobre, y por lo tanto se usan avellanes de 37°. Por consiguiente, los avellanadores no son intercambiables.

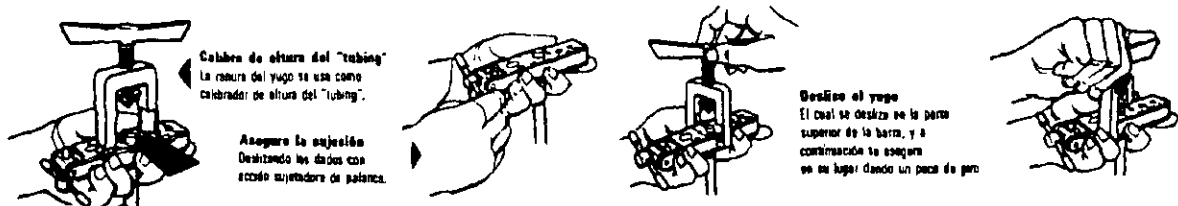


FIGURA R5-10 Operaciones normales para avellanar. (Cortesía de Yellow Jacket Division, Ritchie Engineering Company.)

R5-7.3 Bocinas de doble pared

Una bocina de doble pared consiste en una superficie sellante de paredes gemelas. Su fabricación se logra usando un avellanador convencional que tenga adaptadores para doble pared.

Como se ve en la figura R5-11, el "tubing" se sujeta en la barra de avellanado, dejándolo sobresalir una determinada distancia sobre la parte superior de la barra. El adaptador se coloca en el "tubing", se acopla el yugo con la barra y se hace avanzar el tornillo de alimentación hasta que se sienta una resistencia positiva. Con ello se termina la operación de preformado, con la que se dobla el "tubing" hacia adentro. Se quita el adaptador y se hace avanzar al troquel cónico hasta que se sienta una resistencia regular, el conformado final se hace como se describió para un avellanado de pared sencilla. Con esta operación se completan los dos pasos necesarios para formar el avellanado de pared doble.

¿Por qué avellanes o bocinas de pared doble? Se usan principalmente en "tubing" de tamaños mayores, en los cuales un avellán de pared sencilla pudiera ser débil, a causa de una gran expansión. Los avellanes de pared doble ofrecen mayor resistencia a la fractura en instalaciones que tienen mucha vibración, y se pueden armar y desarmar más veces sin que se barra el avellanado.

R5-7.4 Conexiones avellanadas

Para adaptarse a las diversas necesidades en sistemas refrigeración y aire acondicionado, se pueden conseguir diversidad de codos, tes, uniones, etc., de donde se selecciona la necesaria, como se ve en la figura R5-12. Las conexiones en general son de latón forjado en troquel y se maquinan con precisión para formar la cara de 45° para el avellanado.

Las roscas para fijar las tuercas de campana se conforman a las normas SAE finas. Algunas conexiones, como la unión adaptadora avellanada se fabrican con roscas para tubo normal. Todas las conexiones se basan en el tamaño del "tubing" que se va a usar. Las tuercas de campana tienen forma hexagonal para su fácil apriete con llaves. El cuerpo de la conexión también tiene, en general, una superficie plana para poder usar una llave ajustable (de perico).

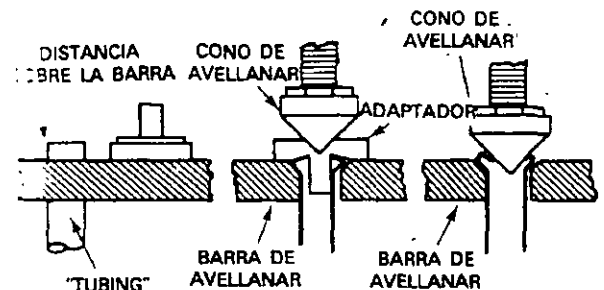


FIGURA R5-11 Método para hacer el avellanado de doble pared.

R5-7.5 Conexiones de compresión

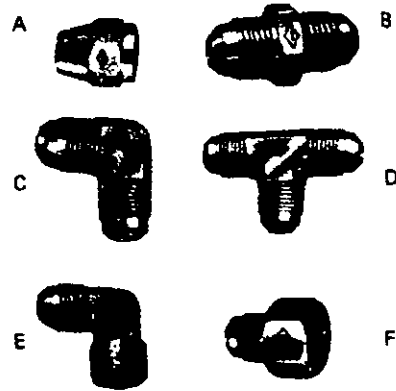
En los últimos años ha habido una tendencia al uso de conexiones tipo de compresión, para unir "tubing" empleado en refrigeración. La popularidad de este método ha aumentado en el campo del aire acondicionado para residencias, porque disminuye la mano de obra necesaria para hacer conexiones avellanadas o soldadas para tubo. La figura R5-13 muestra el concepto de acoplamiento mecánico, fabricado por Aeroquip Corporation.

Se consigue un sello hermético a los gases tan sólo conectando el "tubing" al acoplador con una tuerca especial, collarín de reducción y anillo 'V' para asegurar un conjunto hermético. Una vez armada, la unión se puede desconectar y conectar sin disminuir su eficacia sellante.

Siempre que el "tubing" permanezca recto y redondo para que se pueda introducir en su entrada, se puede hacer una conexión correcta con un mínimo de habilidad mecánica. Este acoplamiento se consigue en tamaños que van desde 1/4 " hasta 1 1/8 " en DE. Se tienen adaptadores para unir esos acoplamientos a otras conexiones, como por ejemplo tubo soldado o conexiones roscadas.

R5-7.6 Conexiones de diafragma

El desarrollo de tubería flexible, precargada y de conexión rápida ha desempeñado un papel principal en el crecimiento y confiabilidad de acondicionamiento doméstico de aire. El tubo de succión y el de líquido se hacen con "tubing" flexible de cobre o de acero en espiras. Las tuberías de succión se cubren en la fábrica con material aislante de espuma de hule. Cada extremo del "tubing" está provisto con una mitad de acoplamiento que coincide con la otra mitad de acoplamiento en el equipo (figura R5-14). Ambas mitades de acoplamiento tienen diafragmas de sello que impiden la pérdida de refrigerante antes de conectar. La mitad macho, en el equipo, tiene una hoja cortadora, el diafragma de sello de refrigerante, y un sello intermedio de hule sintético, para evitar la pérdida del refrigerante mientras se conecta el acoplamiento. La mitad hembra, en el "tubing", tiene un diafragma metálico, que es un cierre metálico hermético. Al apretar la contratuerca de la unión se presionan entre sí las mitades del acoplamiento (figura R5-15), se perforan y se



- - TUERCA DE CAMPANA NORMAL
- - COPLE DE AVELLANES
- - CODO DE 90° CON AVELLANES
- - TE DE AVELLANES
- - CODO DE AVELLANES MACHO PARA TUBO MACHO
- - ADAPTADOR DE AVELLANES A ROSCA MACHO DE TUBO

FIGURA R5-12 Conexiones normales para avellanés. (Cortesía de Imperial Eastman.)

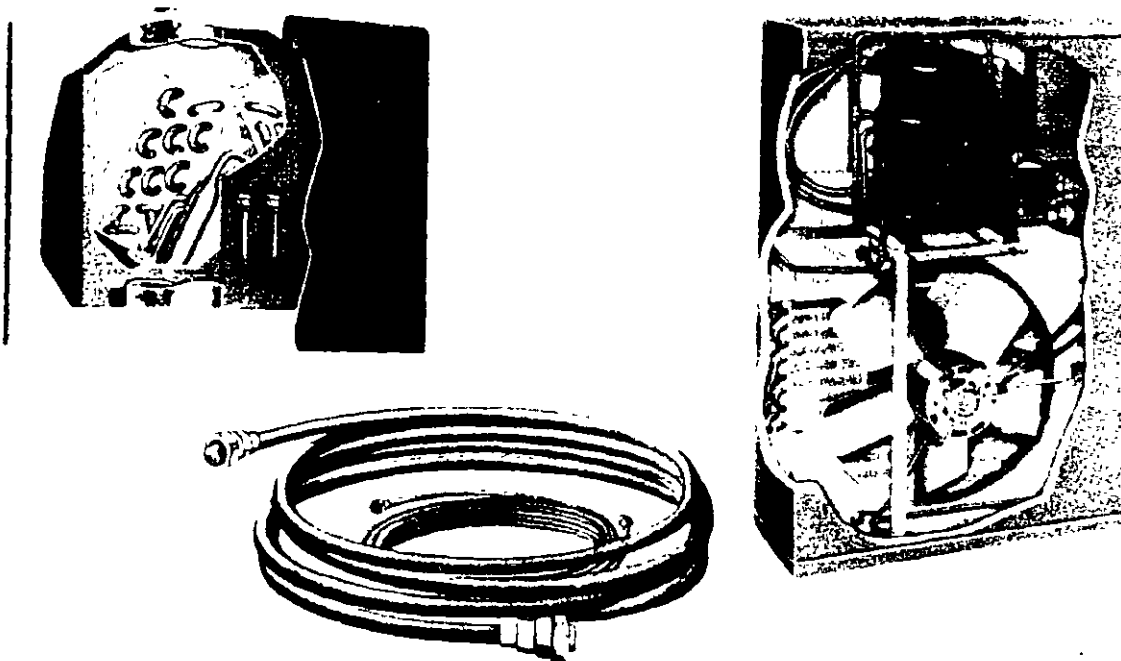


FIGURA R5-13 Tubos precargados de refrigerante (Cortesía de Aeroquip Corporation)

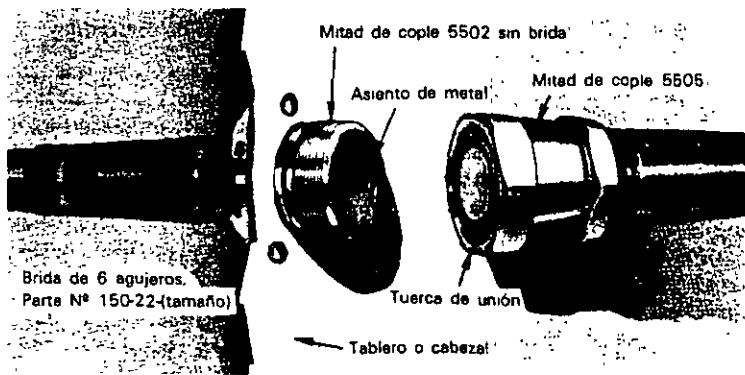


FIGURA R5-14 Acoplamiento de una tubería con una unidad (Cortesía de Aeroquip Corporation)

del acoplamiento, y los valores correctos del par que se use para apretar las conexiones. Si se tiene demasiado "tubing", haga una espira plana horizontal; no se hagan espiras verticales, que funcionan como trampas de aceite. Los tubos precargados se fabrican en diversos tamaños y longitudes de 3 a 15 metros. Es necesario planear la instalación para tener material suficiente, pero no demasiado, porque hace que se eleve el costo y la caída de presión en el sistema.

El acoplamiento que se describió se llama "conexión de un golpe", para indicar que se acopla y permanece acoplada. Sin embargo, se puede desarmar para revisar la tubería, cambiar la ubicación del equipo, etc. El único factor que se debe tener en cuenta es la pérdida del refrigerante del sistema. El desacoplado y acoplado para demostraciones demuestra la capacidad de armado y desarmado de este tipo de conexión, varias veces, cuando se usan las herramientas correctas.

El acoplamiento, al igual que las conexiones del tipo de compresión, están sujetos a una alta frecuencia de fugas cuando se usan las herramientas incorrectas. Sólo se deben usar llaves españolas que ajusten en las caras de las tuercas. Se puede permitir el empleo de llaves ajustables (de perico) si están en buenas condiciones y hay poco desgaste en el tornillo en el resorte de la quijada. No use pinzas, pinzas de electricista, llaves Stillson, etc., en estas conexiones. Cualquier herramienta que produzca una presión de apriete hace que la tuerca se aplaste a la forma de huevo. Cuando esto sucede, se destruye la conexión, no puede ser hermética y debe remplazarse.

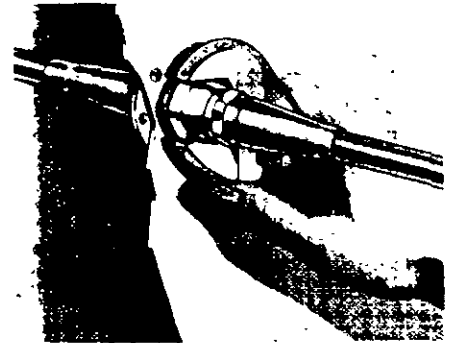


FIGURA R5-15 Apriete de la conexión (Cortesía de Aeroquip Corporation.)

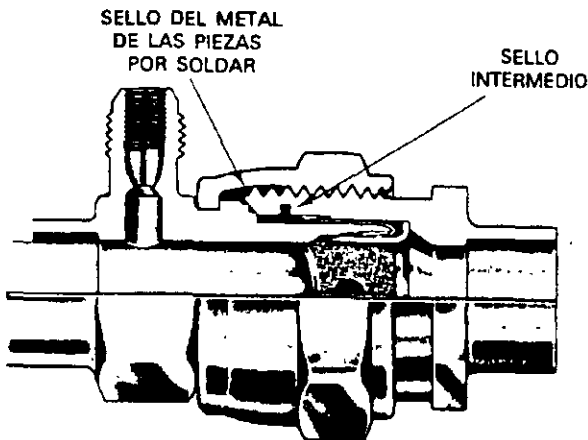


FIGURA R5-16 Conexión terminada. (Cortesía de Aeroquip Corporation.)

R5-8 UNIÓN CON CALOR

A la unión de la tubería del refrigerante con calor se le llama soldado o latonado y consiste en unir dos piezas metálicas entre sí con un tercer metal, o soldadura, que se funde a una temperatura menor que la de las piezas que se van a unir. Cuando se funde, la soldadura pasa entre las dos piezas. El metal fundido se adhiere a las superficies de los dos metales y forma una buena unión entre ellas. En general, la soldadura tiene menor resistencia que los metales que une, y por lo tanto, para tener la resistencia máxima en la unión soldada, la capa de soldadura debe ser muy delgada. La gran diferencia entre estañar y latonar es la temperatura a la cual fluye el metal fundido.

La soldadura autógena o eléctrica es distinta del estañado o latonado porque no usa otro metal como medio de fijación en la unión. Las dos piezas del material a soldar se deben "pudelar," es decir, sus orillas o superficies a unir se deben fundir y permitir mezclarse al metal fundido, para que cuando se enfríe sean una parte homogénea.

R5-8.1 Soldadura suave

La soldadura más común es una mezcla de estaño y plomo. Es mitad estaño y mitad plomo, y se llama soldadura 50-50. Esta soldadura comienza a fundirse a 182 °C, pero no se vuelve fluida sino hasta que se calienta hasta 213 °C. A las soldaduras 50-50 se les llama soldaduras suaves y se usan principalmente en plomería y sistemas de calefacción, donde las temperaturas de trabajo alcanzan los 121 °C. No se recomiendan en trabajos de refrigeración.

Otra forma de soldadura suave, pero que es más dura que las de plomo y estaño, se compone de 95% estaño y 5% antimonio, y se le llama normalmente soldadura noventa y cinco-cinco (95%-5%). Comienza a fundirse a 210 °C y es completamente líquida a 240 °F. Se trabaja con facilidad con un soplete pequeño manual de propano o de acetileno. Se recomienda la soldadura suave noventa y cinco-cinco para uso en trabajos de refrigeración, en especial en "tubing" de cobre extruido suave.

R5-8.2 Soldadura dura

Cuando se usa "tubing" de cobre de mayor diámetro y extruido caliente, o cuando los reglamentos locales prescriben el empleo de soldadura dura, las uniones con esa soldadura tienen una liga mucho más resistente. En los últimos 20 años, aproximadamente, las soldaduras duras, o soldaduras de plata, como se llaman ahora, se han adoptado extensamente en las industrias de refrigeración y aire acondicionado para unir metales. La selección de esas aleaciones en preferencia de otras se facilitó por la necesidad de uniones de alta resistencia, resistentes a la corrosión, a prueba de vibraciones y herméticas. El estañado con plata cumple con todos esos requisitos, y también ofrece la ventaja adicional que une metales iguales o diferentes con mayor facilidad de aplicación y a temperaturas bajas.

En general; las soldaduras de plata fluyen a una temperatura aproximada de 593 a 640 °C. El cobre se funde a 1082 °C, y por lo tanto esta aleación fluye a unos 400 °C por abajo de la temperatura de fusión del cobre, con lo cual es muy segura para usar en "tubing" y conexiones de cobre. Cuando se hace en forma correcta, la unión con soldadura de plata tiene una resistencia a la tensión superior a la del material que une.

Algunas de las soldaduras de plata de menor temperatura de fusión se pueden aplicar con los sopletes de aire-acetileno o aire-propano, pero el de oxígeno-acetileno es el que más se usa, y se describirá más adelante. Las técnicas del soldado y latonado correcto, y las notas acerca del equipo, se describirán también después.

R5-8.3 Conexiones de soldar

Para empleo en sistemas con soldadura dura y suave, se dispone de varias conexiones de soldar, como las que se ven en la figura R5-17. Algunas de ellas son para conectar "tubing" a "tubing", y otras pueden tener una conexión en uno de sus extremos con rosca de tubo.

Estas conexiones son de barra de latón, o latón o cobre forjados, y se fabrican con precisión para permitir que el tubo se introduzca a la abertura de la conexión con ajuste apretado y sólo quede una holgura para soldadura muy delgada.

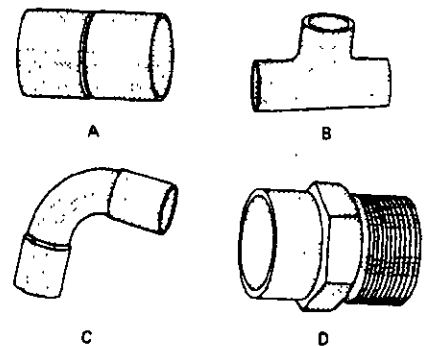


FIGURA R5-17 Algunas conexiones comunes de soldar o latonar con tubo de cobre a) cople con tope para soldar; b) te para soldar; c) codo de 90° para soldar; d) adaptador rosca macho de tubo para soldar. (Cortesía de Mueller Brass Company)

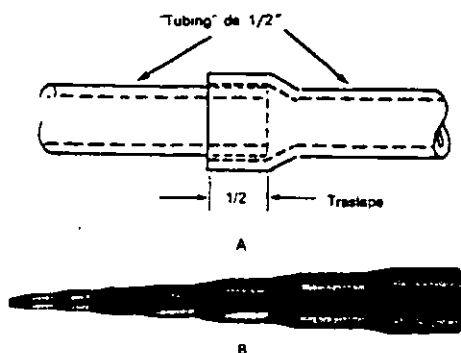


FIGURA R5-18 a) Conexión abocardada. Dos tramos de tubo suave de cobre se muestran empalmados y listos para soldar o latonar para hacer una unión de conexión de ellos. Nótese que ambos tramos del "tubing" son del mismo diámetro. b) Herramienta de abocardar. (Cortesía de Yellow

R5-9 ABOCADADO DE TUBO DE COBRE

A veces, al armar "tubing" de cobre del mismo diámetro, algunos fabricantes creen que es más confiable unir los dos tramos de "tubing" "haciendo una conexión acampanada con sólo una unión de soldadura, como se ve en la figura R5-18a. Esto se hace con una herramienta expansora (figura R5-18b) que es algo semejante al cono de avellanado. El bloque sujeta al "tubing", y el sacabocados de tamaño correcto se empuja en un extremo del "tubing" hasta que se forma una campana. Algunas

No use lana de acero, porque las fibras pueden pegarse a la conexión y formar un hueco. No use lija de esmeril, ya que con frecuencia contiene aceites y abrasivos indeseables que entran profundamente en el metal.

c. No toque las superficies después de limpiarlas.

d. La limpieza se debe hacer inmediatamente antes de soldar, para reducir la oxidación a un mínimo.

3. Empleo del fundente adecuado. El fundente no limpia al metal. Lo mantiene limpio una vez que se ha limpiado en forma mecánica como se mencionó antes. El fundente se consigue en forma tanto de pasta como líquido, pero en general, los técnicos de refrigeración prefieren la pasta

a. La primera regla es seleccionar el fundente adecuado, dependiendo si el trabajo es de soldadura suave o de plata. Para la plata use un fundente adecuado, de buena calidad y baja temperatura. Esto es muy importante y requiere de especial atención en el trabajo de refrigeración. Consulte a un distribuidor de soldadura.

b. Siempre remueva el fundente antes de usarlo (véase figura R5-23), porque cuando está en reposo algunos de sus ingredientes tienden a asentarse en el fondo, en especial en climas cálidos. Use un cepillo. Nunca aplique con sus dedos el fundente en pasta; el sudor y los aceites que contienen pueden evitar que el fundente se adhiera

c. En la mayor parte de los trabajos normales, se untan con fundente tanto el extremo del tubo como el interior de la conexión (figura R5-24), pero en los trabajos de refrigeración se introduce en parte el extremo del "tubing" en la conexión y se unta la pasta de fundente alrededor del exterior de la unión.

d. A continuación se introduce el "tubing" hasta el fondo en la conexión (figura R5-25).

e. Cuando sea posible, gire la junta o tubería para repartir el fundente de manera uniforme.

f. Precaución: si se usa mucho fundente se puede dañar los componentes internos y el funcionamiento del sistema de refrigeración.

g. Nota: Con algunas aleaciones de soldadura de plata, se puede soldar cobre con cobre sin fundente. Para unir las aleaciones de "tubing" de cobre con partes de latón, siempre se necesita fundente.

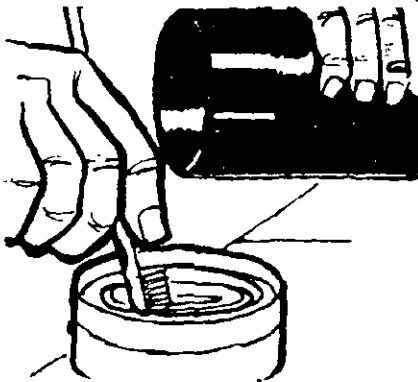


FIGURA R5-23 Mezcla del fundente
(Cortesía de Mueller Brass Company)

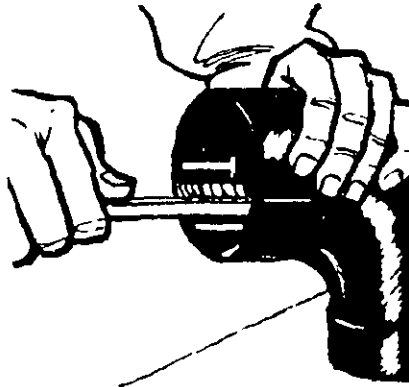


FIGURA R5-24 Aplicación del fundente.
(Cortesía de Mueller Brass Company.)



FIGURA R5-25 Empalme de las piezas (Cortesía de Mueller Brass Company.)

4. Soporte del conjunto:

a. Antes de soldar o latonar, el conjunto se debe alinear con cuidado y soportar en forma correcta.

b. Ponga los soportes de modo que no se restrinja la expansión y contracción.

c. Cuide que no se introduzcan deformaciones en la unión durante la soldadura y el enfriamiento.

d. Una banda de plomero para tubo es un soporte provisional excelente mientras se colocan los arreglos definitivos.

R5-10.2 Calentamiento y aplicación de la soldadura - suave

Para estañar, aplique la flama en el hombro de la conexión, para que el calor pase en dirección al "tubing" (figura R5-26). Tenga cuidado de no dejar que la flama entre en forma directa en el hueco en donde entrará la soldadura. Cuando se trate de un codo o una te, caliente primero la parte más pesada de la conexión y a continuación pase hacia la abertura donde va a entrar la soldadura. De este modo el calor se distribuye de modo uniforme tanto en el "tubing" como en la conexión. A veces, quite momentáneamente la flama y toque la unión con la soldadura, para ver si el metal ya está bastante caliente como para fundirla.

herramientas tienen el mecanismo de tornillo para hacer la fuerza. Otras necesitan de golpes de martillo para que el dado entre al "tubing".

El abocinado, cuando se hace y se suelda en forma correcta, reduce el número de conexiones soldadas, y con ello las probabilidades de fugas; sin embargo, toma más tiempo que cuando se usan conexiones preformadas, y por lo tanto la opción depende de la persona.

R5-10 SOLDADO Y LATONADO

En el campo de refrigeración se ha llegado a determinados procedimientos fundamentales de soldadura con aleación de plata, a través de una larga experiencia. En muchos aspectos, estos fundamentos son semejantes a los que se recomiendan para soldaduras suaves, y un buen operador de soldadura suave en general es bueno también para soldar con plata.

Hay seis pasos sencillos que se deben seguir para obtener uniones resistentes y herméticas, que son básicos tanto para soldar con estaño como con plata:

1. Un buen ajuste y la holgura correcta
2. Un metal limpio
3. Fundente adecuado
4. Armar y soportar
5. Calentar y hacer que fluya la aleación
6. Limpieza final

R5-10.1 Cuatro pasos de la preparación

1. Cortar y ajustar el tubo o "tubing" (figura R5-19).

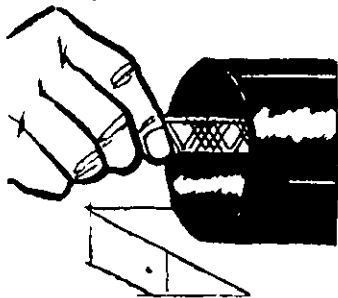


FIGURA R5-20 Rababeado (Cortesía de Mueller Brass Company.)

a. Corte el tubo a la longitud requerida. Asegúrese de cortar los extremos perpendicularmente; con mucho, la mejor herramienta es un cortador de tubo. Si se usa arco y segueta, voltee la boca del "tubing" hacia abajo para que caigan las limaduras.

b. Elimine las rebabas con una rima o una lima media caña, como se ve en la figura R5-20.

c. Pruebe introducir el extremo del "tubing" en la conexión, para asegurarse que tenga el ajuste estrecho que se necesita. La holgura debe ser uniforme alrededor. Si es necesario, en cobre extruido blando, se puede usar un dado para redondear el "tubing".

2. Limpie el tubo y las conexiones (figuras R5-21 y R5-22). Esto quiere decir que las superficies a unir deben estar libres de aceite, grasa, herrumbre u óxidos.

a. En los casos en los que el "tubing" o las conexiones tengan una cubierta de aceite o grasa, si se aplica abundante solvente de limpieza con un cepillo o un trapo limpio se eliminará eficazmente esa contaminación.

b. Limpie la hembra de la conexión y el extremo del "tubing" con un cepillo de alambre limpio y lija fina.

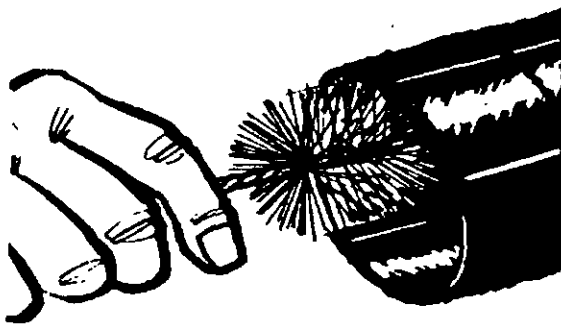


FIGURA R5-21 Cepillado con escobillón de alambre. (Cortesía de Mueller Brass Company.)

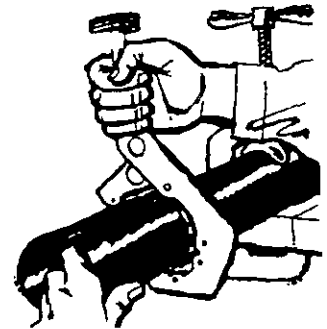


FIGURA R5-19 Corte del "tubing". (Cortesía de Mueller Brass Company.)

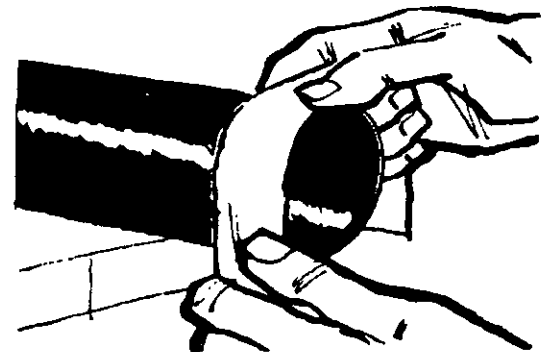


FIGURA R5-22 Lijado. (Cortesía de Mueller Brass Company.)

Al aplicar la soldadura suave (figura R5-28), nunca empuje la soldadura hacia la unión. Cuando ésta tiene la temperatura suficiente, toque tan sólo con la soldadura y la atracción capilar la succionará para llenar la holgura entre las superficies por unir. Cuando aparezca un anillo de soldadura en la circunferencia, quiere decir que ha hecho usted una unión hermética y tremendamente resistente. Limpie la unión con un trapo limpio mientras la soldadura esté todavía fundida (figura R5-28). A esto se le llama alisar la soldadura.

Al trabajar con conexiones grandes, de 2" o mayores, ayuda si se usan dos sopletes, o mejor aún, una boquilla de ete en forma de Y (figura R5-29), que proporciona una ia doble o cuádruple. Con ello se asegura una distribución suficiente y pareja del calor.

También, cuando se trabaja con conexiones de tamaño 2" o mayor, cada conexión se debe golpetear con un mazo pequeño en dos o tres puntos de su circunferencia al mismo tiempo que se alimenta la soldadura (figura R5-30). Con ello se asienta la unión y también se expulsan gases que pudieran haber quedado atrapados, y que estorbarían el flujo de la soldadura.

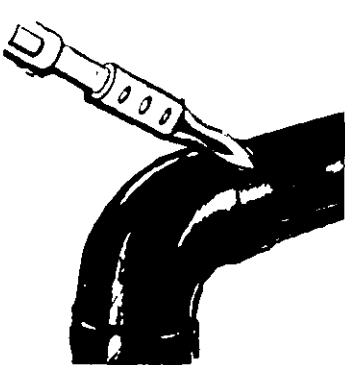


FIGURA R5-26 Aplicación de la flama
(Cortesía de Mueller Brass Company.)

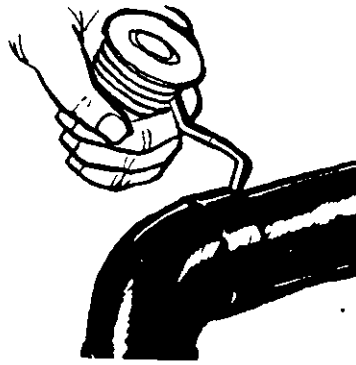


FIGURA R5-27 Aplicación de la soldadura
(Cortesía de Mueller Brass Company.)

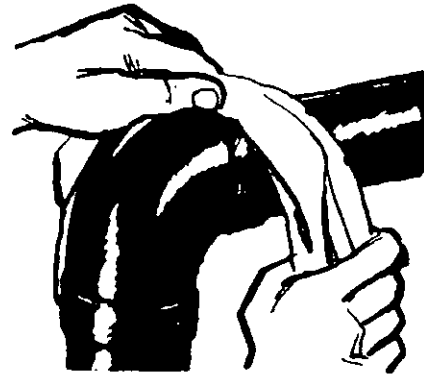


FIGURA R5-28 Alisamiento de la soldadura.
(Cortesía de Mueller Brass Company.)

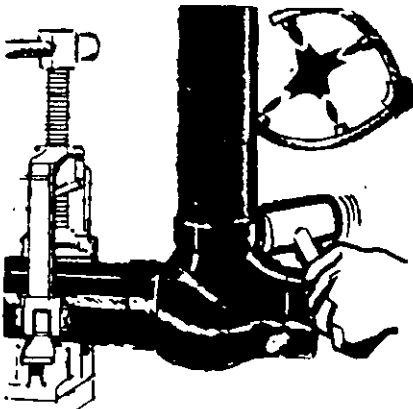


FIGURA R5-30 Golpeteo con mazo.
(Cortesía de Mueller Brass Company.)

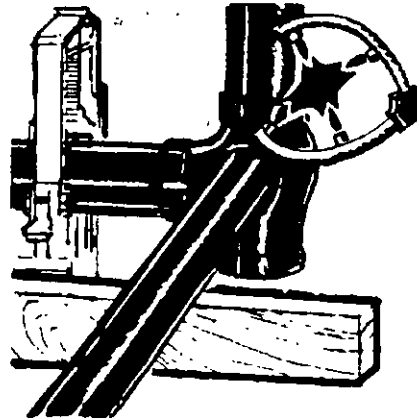


FIGURA R5-29 Calentamiento de piezas de diámetros mayores
(Cortesía de Mueller Brass Company.)

R5-10.3 Calentamiento y aplicación de la soldadura de plata

- Para soldar en forma rápida y eficiente con plata, la flama corta y redonda de oxiacetileno es la que da el mejor tipo de calor. Los sopletes de aire-acetileno o aire-propano se han usado bien para soldar con plata, tubo y conexiones hasta de 1" de diámetro.
- Ajuste el oxiacetileno para tener una flama ligeramente reductora, o sea, que tenga menos oxígeno.
Nota: más adelante se describirán el equipo y las flamas que se emplean en soldadura.
- Inicie el calentamiento del tubo a una distancia de 4" del extremo de la conexión (figura R5-31). Caliente uniformemente alrededor para que el tubo se expanda uniformemente y para hacer llegar el calor, también uniformemente, al extremo interior de la conexión.
- Cuando el fundente del tubo adyacente a la junta se haya derretido en un líquido claro, transfiera el calor a la junta.
- Recorra la flama hacia adelante y hacia atrás de la conexión, manteniéndola dirigida hacia el "tubing". Evite dejar que la flama pegue sobre la cara de la conexión, porque con ello puede haber sobrecalentamientos.

- Cuando el fundente sea un líquido transparente tanto en la conexión como en el "tubing", recorra la flama un poco hacia atrás y aplique la aleación de soldadura con firmeza contra el tubo y la conexión. Si el calentamiento es adecuado, la aleación fluirá libremente hacia las uniones.

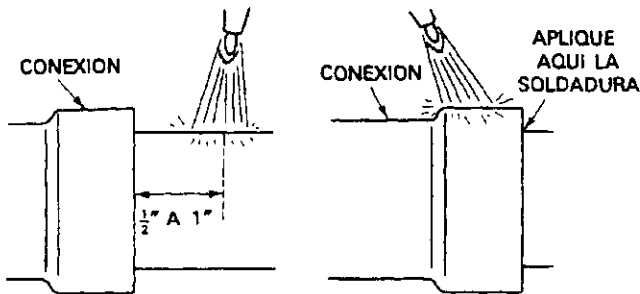


FIGURA R5-31 Latonado de uniones horizontales.

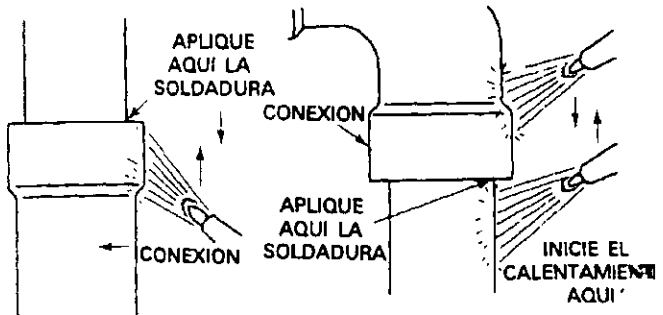


FIGURA R5-32 Latonado de uniones verticales.

La técnica para hacer uniones verticales (figura R5-32) es esencialmente la misma: iniciar el calentamiento preliminar del "tubing", y a continuación pasar a la conexión. Nota: Esto difiere un poco de la soldadura suave. Cuando el "tubing" y la conexión alcanzan un color negro, el fundente tendrá apariencia lechosa y será viscoso. Continúe con el calentamiento para llevar al material hasta la temperatura de soldado, y el fundente se hará transparente; en ese punto aplique la soldadura de plata y suelde.

La soldadura de tubos de gran diámetro necesita del empleo de la técnica que acabamos de describir, pero se escoge un tramo de sólo 2' a la vez, y se traslapa la soldadura de segmento a segmento. Esta operación necesita de determinado nivel de práctica, una vez aprendidos los puntos fundamentales.

Limpieza después de soldar: No enfríe con agua. En especial para las conexiones fundidas, permita que se enfríen al aire hasta que se haya solidificado la aleación de soldadura-, a continuación aplique un cepillo o trapo mojados a la unión para romper y limpiar el fundente. Se debe limpiar todo el fundente antes de revisar y probar a presión. Use un cepillo con cerdas de alambre, si es necesario.

R5-10.4 Consejos de seguridad para soldar y latonar

- Nunca trate de soldar o latonar mientras el sistema esté a presión o al vacío.
- Muchos fundentes contienen cloruros o fluoruros, y deben manejarse con cuidado para evitar demasiado contacto con la piel, o inhalar sus humos.
- Muchas soldaduras de plata contienen cadmio, en diversas concentraciones. Los humos de cadmio son muy venenosos, y por lo tanto asegúrese que el lugar de trabajo tenga buena ventilación.
- Use anteojos de seguridad.

R5-10.5 Equipo de latonado

Como se mencionó antes, es posible lograr temperaturas de fusión para algunas soldaduras de plata de baja temperatura empleando sopletes aire-acetileno o aire-propano; pero cuando hay que hacer muchas instalaciones o reparaciones de equipos de refrigeración, el empleo de equipo de oxiacetileno para latonar ha demostrado ser de lo más satisfactorio. La introducción de oxígeno puro junto con el acetileno produce una flama muy caliente. La figura R5-33 muestra los componentes de un equipo normal de oxiacetileno.

El empleo eficiente del equipo de oxiacetileno depende de un flujo constante, dosificado, de oxígeno y acetileno en proporciones correctas. Por lo tanto, el operador se debe familiarizar por completo con este equipo.

Tanto el tanque de oxígeno como el de acetileno tienen reguladores de presión y conjuntos de dos manómetros: uno para indicar la presión del tanque y otro para la presión que pasa al soplete. La presión necesaria para el soplete varía de acuerdo con la boquilla y el soplete que se usen.

Mientras trabaje con el equipo de oxiacetileno nunca apunte el soplete sin encender hacia una flama o fuente de chispas abiertas. El acetileno es muy inflamable, y el oxígeno soporta la combustión en forma muy activa.

Para encender el soplete se necesita un encendedor o chispa. No use cerillos. Abra la válvula de acetileno del plete aproximadamente un cuarto de vuelta. La válvula oxígeno se abre a continuación violentamente y al mismo mpo se provoca la chispa que enciende la flama. Una vez grada la ignición, se ajusta la válvula del acetileno para obtener el tamaño deseado de la flama. La válvula del oxígeno se hace girar lentamente para establecer el tipo de flama, como se ve en la figura R5-34.

A la flama correcta se le llama flama neutral; tiene un cono luminoso azul, con un tinte rojizo en su punta. Una flama carbonizante o reductora se manifiesta por un color verdoso originado por demasiado acetileno. Produce hollín o carbón que pueden evitar el flujo de soldadura. Una flama oxidante es la que resulta cuando hay demasiado oxígeno; usará picaduras en el material y tenderá a endurecer la unión, haciéndola más susceptible a roturas por vibración.

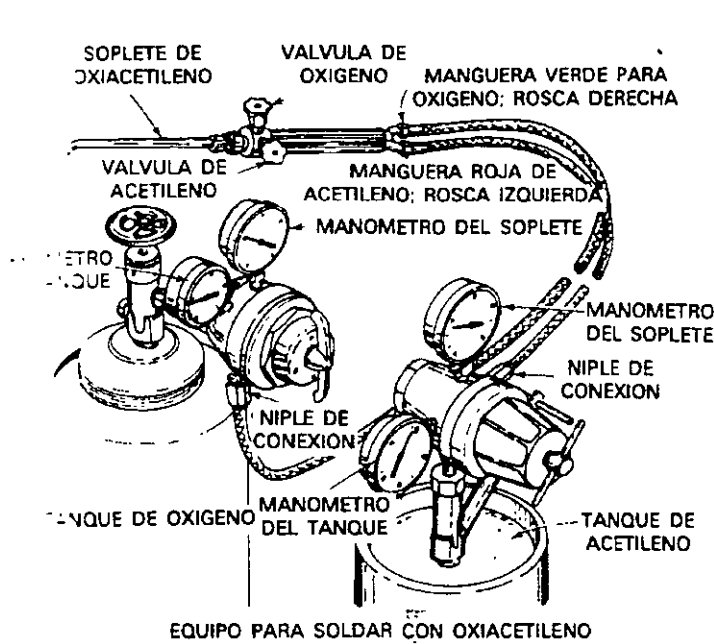
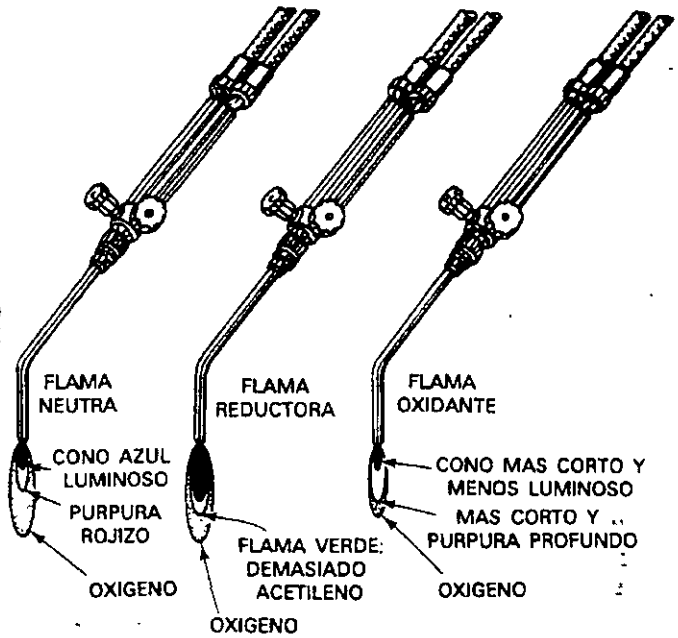


FIGURA R5-33 Equipo de soldar con oxiacetileno. (Reproducido de *Basic Air-Conditioning*, por G. Schweitzer y A. Ebling; derechos de autor Hayden Book Company, Inc.; con autorización del editor.)



FLAMAS DE OXIACETILENO
 FIGURA R5-34 Flamas de oxiacetileno. (Reproducido de *Basic Air-Conditioning*, por G. Schweitzer y A. Ebling; derechos de autor Hayden Book Company, Inc.; con autorización del editor.)

R5-10.6 La soldadura es un arte

Los principiantes deberían probar con algunas uniones: soldándolas y recalentándolas para desarmarlas y examinarlas. Así pueden determinar si en algunos lugares no se han soldado, y si sucede esto, qué fue lo que originó la falla y cómo corregirla.

Es probable que en ninguno de los trabajos para los que se llama a un técnico de servicio se requiera más adiestramiento que soldadura. Los técnicos pueden conocer todos los principios de la soldadura, pero se encontrarán con que se necesita bastante experiencia antes de estar capacitados para hacer uniones consistentemente herméticas, resistentes y con buena apariencia.

PROBLEMAS

- R5-1. ¿Cuál es el material más común que se usa en las tuberías de refrigeración?
- R5-2. El "tubing" de cobre se diferencia del tubo de hierro porque tiene una pared más gruesa. ¿Cierto o falso?
- R5-3 El "tubing" de cobre se consigue en tres clasificaciones, de acuerdo con su espesor de pared. ¿Cuáles son esas clasificaciones?
- R5-4 Para las instalaciones de refrigeración y aire acondicionado se aprueban dos de las clasificaciones de espesor de pared del "tubing" ¿Cuáles son esas dos?
- R5-5. ¿Cómo se llaman las dos formas de "tubing" de cobre?
- R5-6. Dar el nombre de tres métodos de unir "tubing".
- R5-7. ¿Qué ángulo tienen los avellanes del "tubing" que se usa en trabajos de refrigeración?
- R5-8 Al doblar el "tubing", ¿cuál es el radio mínimo de doblar que se puede usar?
- R5-9. ¿Cuál es el único tipo de llave que se debería usar en las uniones de compresión?
- R5-10. ¿Cuál es el nombre del procedimiento para fijar dos extremos de tubo sin usar un cople?
- R5-11 ¿Cuáles son las cuatro etapas de preparación al latonar "tubing"?
- R5-12. La flama de oxiacetileno correcta para latonar es la flama _____.



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

COMPONENTES DEL CICLO DE COMPRESIÓN

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

COMPONENTES DEL CICLO DE COMPRESIÓN

R6-1 GENERALIDADES

El ciclo de refrigeración por compresión de vapor, como el que se describió en el capítulo RI, es el método más común de transferencia de calor en las instalaciones de refrigeración. Hay cuatro componentes principales en ese ciclo: evaporador, compresor, condensador y dispositivo de reducción de presión.

R6-2 EVAPORADORES

El evaporador o serpentín de enfriamiento es la parte del sistema de refrigeración donde se elimina el calor del producto: aire, agua o lo que se vaya a enfriar. Cuando el refrigerante entra a los conductos del evaporador absorbe el calor del producto por enfriar, y al hacerlo comienza a herir y se evapora. En este proceso, el evaporador lleva a cabo el objeto principal del sistema: la refrigeración.

Los fabricantes desarrollan y producen evaporadores de diversos diseños y formas para cumplir con las necesidades de sus posibles clientes. El serpentín de ventilador, o de convección forzada (figura R6-1) es el diseño más común; se usa en instalaciones tanto de refrigeración como de aire acondicionado.

Las aplicaciones específicas pueden necesitar del empleo de superficies planas de placas, para congelar por contacto. Para ello se coloca tubo continuo, o se troquela, entre las dos placas de metal, que se sueldan entre sí en las orillas, y se hace vacío en el espacio entre las placas. Estas pueden armarse también en grupos como entrepaños, utilizando el refrigerante en varios arreglos de flujo (véase figura R6-2).

En la figura R6-3 se muestran otras formas de evaporadores tipo placa. Su uso está muy difundido en refrigeradores pequeños, congeladores y fuentes de sodas, y las placas se pueden conformar con facilidad a una diversidad de formas.

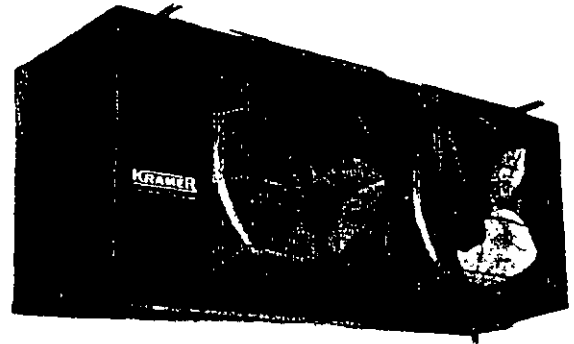


FIGURA R6-1 Serpentín con sopladores. (Cortesía de Kramer Trenton Company)

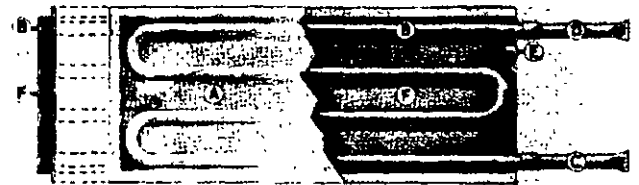


FIGURA R6-2 Placa de vacío Dole: a) chaqueta exterior de la placa. Es robusta, de acero soldado eléctricamente; superficie lisa b) Tubo de acero continuo a través del cual pasa el refrigerante c) Entrada del condensador d) Salida al compresor. Se usan conexiones de cobre para todos los refrigerantes, excepto para el amoníaco, para el que sólo se usan conexiones de acero e) Conexión en la que se hace el vacío, para después permanecer sellada. f) Espacio vacío en la placa seca. El espacio en la placa de soporte contiene solución eutéctica al vacío. No se necesita mantenimiento debido a la construcción sencilla y robusta. No hay partes en movimiento, nada que se gaste o que se eche a perder; no es necesario el servicio. (Cortesía de Dole Refrigerating Company.)

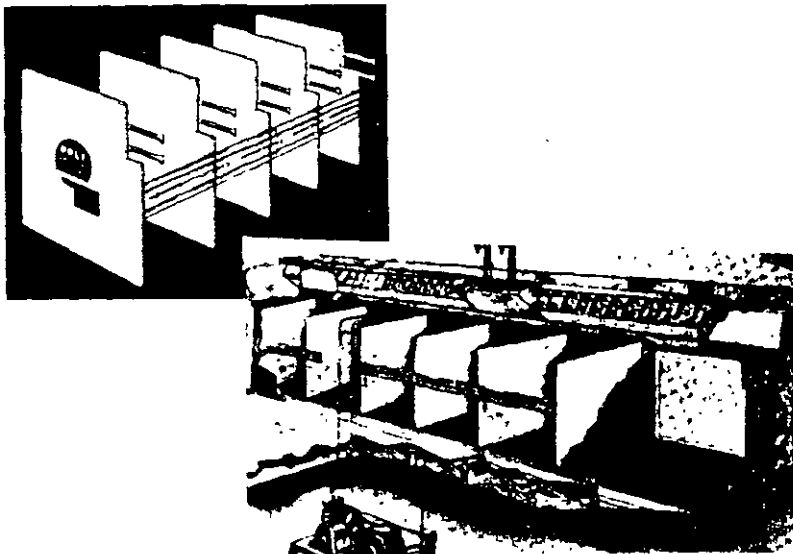


FIGURA R6-3 Evaporadores de placas en una fuente de sodas. (Cortesía de Dole Refrigerating Company.)

Los evaporadores tipo placas también se arman en grupos o bancos para su instalación en cuartos fríos de almacenamiento, y se colocan cerca del techo, como se ve en la figura R6-4. Este tipo se puede conectar para que el flujo del refrigerante sea en serie o en paralelo, dependiendo de las necesidades de uso. Los serpentines tipo placa también se usan en refrigeración de camiones y carros de ferrocarril, para transportar alimentos refrigerados, o alimentos congelados, y su diseño es semejante al que se ve en la figura R6-5. Con frecuencia, el espacio entre las placas se llena

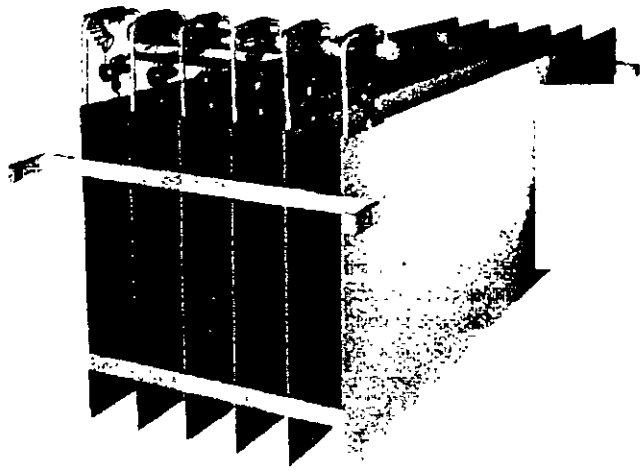


FIGURA R6-4 Evaporadores de placas para almacenes fríos (Cortesía de Dole Refrigerating Company.)

superficial para el paso del calor, sin aumentar el tamaño del serpentín de manera apreciable.

Otro método de contrarrestar la pérdida de transporte de calor originada por una capa de aire es la adición de un entilador o soplador, que provocarán un movimiento rápido de aire a través del evaporador. En la figura R6-7 ve ese tipo de serpentín de convección forzada. Dependiendo del diseño y del uso del serpentín, el ventilador puede estar situado ya sea para empujar o jalar aire, para que éste pase por el serpentín. En el primer caso se dice que su acción es orzada, y en el segundo que su acción es inducida.

El empleo de un ventilador mejora el flujo de aire la

con una solución que retiene su temperatura si la unidad no funciona durante periodos cortos.

El serpentín del tipo de tubo desnudo se puede usar para enfriar ya sea aire o un líquido, y los evaporadores más pequeños se fabrican de tubo de cobre. El tubo de acero se usa en evaporadores de sistemas que usan amoniaco como refrigerante, y en los evaporadores mayores con otros refrigerantes.

Una capa de aire se adhiere a la superficie externa de un serpentín y funciona como aislador, frenando el proceso de transferencia de calor. Este proceso depende principalmente del área de la superficie y de la diferencia de temperaturas. Uno de los métodos que se usan para compensar o superar la pérdida de conducción debida a la película de aire, es aumentar el área. Esto se puede lograr agregando aletas al tubo del evaporador, como se ve en la figura R6-6. La adición de aletas no suprime la capa de aire; da más área a la que se pega o adhiere la capa de aire; proporciona más área

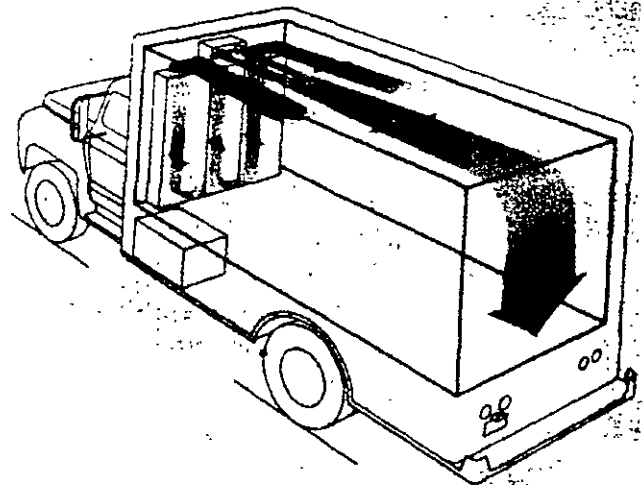


FIGURA R6-5 Camión refrigerado. (Cortesía de Dole Refrigerating Company.)

transferencia de calor del aire al refrigerante dentro del serpentín, ya que aumentará la cantidad de aire que se pone en contacto con el área superficial del serpentín. Muchos fabricantes de serpentines diseñaron sus unidades de transferencia de calor con filas alternadas de tubo, lo que permite, mediante el empleo de un soplador, que se ponga en contacto un gran volumen de aire con la superficie del tubo o las aletas unidas a él. El movimiento forzado o inducido del aire que cruza el serpentín ocasionará en general que ceda mayor cantidad de su calor al refrigerante dentro del serpentín, para un determinado periodo.

En los primeros días de la refrigeración mecánica, los serpentines de enfriamiento se mantenían a una temperatura menor a la de congelación. Como la temperatura de esos evaporadores no subía de 32 °F, la escarcha que se acumulaba sobre ellos no tenía oportunidad de fundirse y eliminarse cuando estaba trabajando el equipo. Esas unidades tenían que pararse y desescarcharse en forma manual, ya que la escarcha que se acumulaba en el evaporador limitaba la cantidad de calor que éste podía sacar del aire que pasaba

por él. En muchas de las aplicaciones actuales de refrigeración, se deben mantener bajas temperaturas, y por ello los productos se deben mantener en estado congelado en almacenamiento. Pero el descongelado de la unidad de

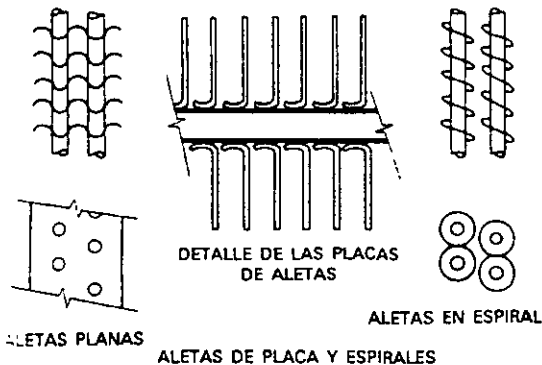
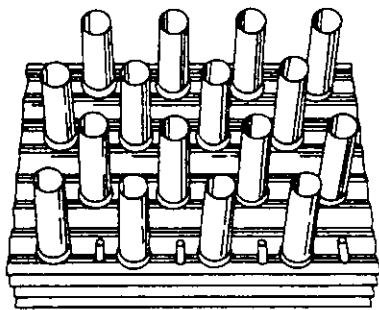


FIGURA R6-6 Tubos aletados para evaporador (Reproducido con autorización de ASHRAE Handbook and Product Directory, 1975)

enfriamiento se lleva a cabo por otros métodos que no son manuales, como se verá en el capítulo R9. Los depósitos sobre la unidad de enfriamiento provienen de la humedad del aire y los productos en el espacio por refrigerar. Cuando se elimina esa agua del aire, la humedad de éste disminuye.



FIGURA R6-7 Evaporador con tubos aletados y aire forzado. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

Puede ser que las condiciones sean tales que no se desee tener una temperatura demasiado baja o un bajo contenido de humedad del aire que rodee a la unidad de enfriamiento. Si la temperatura de un recinto refrigerado necesita mantenerse a unos 2 °C, se debe emplear un serpentín o evaporador en el que el refrigerante esté a menor temperatura que la deseada. Cuando el aire entra en contacto con el serpentín de enfriamiento a una temperatura menor que 0 °C, algo de escarcha se forma en la superficie del mencionado serpentín. Cuando se alcanza la temperatura que se desee, el mecanismo de control detiene el funcionamiento de la unidad de refrigeración. Estando la temperatura del aire en 2 °C, ese aire, más caliente, fundirá la escarcha de la unidad de enfriamiento, o sea que la descongelará. Esto se llevará a cabo en forma natural, en especial si se trata de un serpentín con circulación forzada de aire, en el que al aire a mayor temperatura se le impulsa para que pase por la

superficie del evaporador.

El período de apagado en el ciclo de la unidad debe ser lo suficientemente largo como para asegurar un desescarchado completo del serpentín. Si no es así, hay la posibilidad sólo de desescarchado parcial, que hace que se acumule la humedad en la parte inferior de la unidad. Si esto sucede, se originará una acumulación de hielo en toda la superficie del serpentín, que evolucionará hasta una completa tapazón de éste.

Las condiciones de diseño pueden ser tales que se deba mantener la alta humedad, para conservar la frescura del producto que se está enfriando, o para evitar la pérdida de peso o el deterioro. Ejemplos de aplicaciones en las que se desea una humedad relativa alta son el cuarto frío de almacenamiento, en donde se mantiene fresco al aire, o una vitrina de exhibición en una florería, con atmósfera cargada de humedad. Los cuartos o cajas de almacenamiento de verduras también se deben mantener con alta humedad.

Estas condiciones se pueden lograr mediante el empleo de evaporadores no congelantes, que son serpentines sobredimensionados que se usan con válvulas termostáticas de expansión como dispositivos medidores. Para mantener la temperatura del espacio refrigerado a unos 2 °C, el serpentín de gran superficie necesita de una temperatura interna de refrigerante de únicamente -5 a -4 °C. Con ello, la temperatura externa del serpentín será aproximadamente -1 °C a 0 °C, la cual permite sólo raras veces la acumulación de escarcha, y ésta desaparecerá con rapidez cuando la temperatura del recinto quede satisfecha y el compresor se pare.

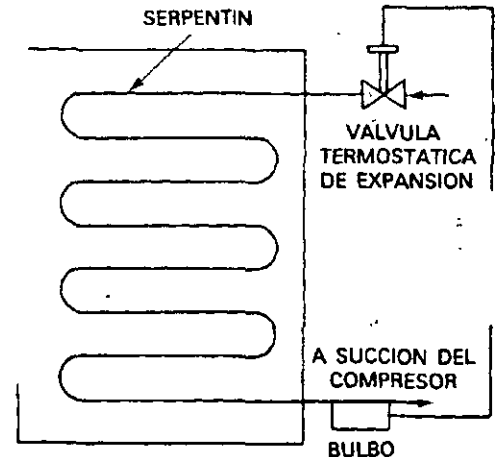


FIGURA R6-9 Serpentín de expansión seca con válvula termostática de expansión. (Reproducido con autorización de ASHRAE Handbook and Product Directory, 1975.)

El drenado de condensado se muestra en la figura R6-8, bajo el serpentín no escarchante, aun cuando no se use gran cosa cuando el sistema trabaja en forma normal. Este tipo de serpentín se diseña para no eliminar demasiada humedad del aire, y por lo tanto se puede mantener una humedad relativa hasta de 85% dentro del espacio refrigerado.

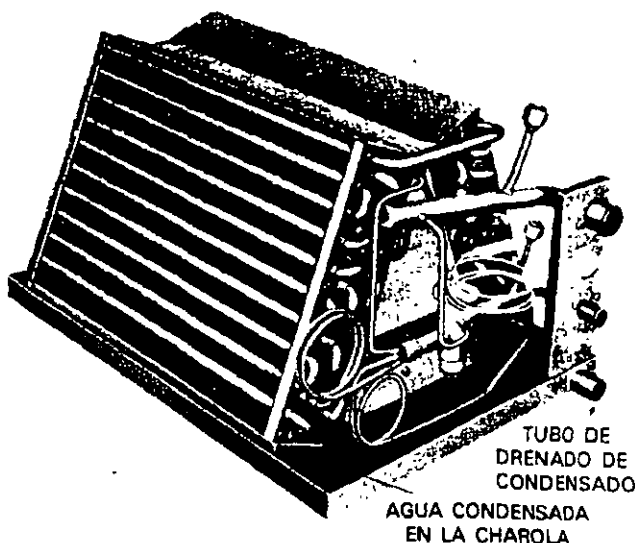


FIGURA R6-8 Unidad de evaporación con drenado de agua condensada (Cortesía de Borg-Warner Central Environmental Systems, Inc.)

Los evaporadores que se han descrito hasta ahora han sido del tipo de expansión seca, para diferenciarlos de los de tipo de expansión inundada. El serpentín directo, o de expansión seca, se diseña para tener evaporación completa del refrigerante en el serpentín mismo, del cual sólo sale vapor. Este vapor, en general, está sobrecalentado en la última parte del serpentín. Sobrecalentado quiere decir elevar la temperatura del vapor de refrigerante arriba de la necesaria para pasarlo de líquido a vapor. Entonces, el refrigerante llegará al compresor en estado sobrecalentado, recogiendo más calor al pasar por el tubo de succión. La figura R6-9 es un esquema que muestra un serpentín de expansión directa con válvula termostática de expansión. El serpentín tiene una mezcla de refrigerante líquido y gaseoso siempre que la unidad está trabajando. Se mantiene un sobrecalentamiento constante mediante la acción de la válvula, la cual se origina en el bulbo térmico, con sensibilidad a los cambios de temperatura que se lleven a cabo en su lugar.

La válvula automática de expansión puede mantener las características del serpentín seco, o de expansión directa. Esa válvula mantiene una presión constante dentro del evaporador. Este tipo de válvula en general se usa cuando se prevé una carga uniforme. Los controles del refrigerante se describen con más detalle en este capítulo y, más adelante y de nuevo, en el capítulo R10.

El evaporador del tipo inundado está lleno con refrigerante líquido. Está diseñado de tal modo que el nivel del refrigerante líquido se mantenga mediante un arreglo de flotador que se ubica en un acumulador y fuera del serpentín evaporador. En la figura R6-10 se muestra un diseño típico. Parte del refrigerante, líquido se evapora en el serpentín, y ese vapor pasa al acumulador. De la parte superior de éste pasa al tubo de succión y a continuación al compresor, en el que todo líquido que pueda quedar en el acumulador queda disponible para recircular en el serpentín del evaporador. Cuando se calibra al equipo en forma correcta, el líquido residual es mínimo.

Cuando se evapora el refrigerante en el serpentín inundado como resultado del calor que ha absorbido, descende su nivel. A medida que baja el flotador siguiendo al nivel del líquido, permite que pase al acumulador más refrigerante, de modo que se mantiene un nivel de líquido bastante constante. Un serpentín inundado tiene una excelente eficiencia de transmisión de calor, porque sus superficies interiores están mojadas de líquido, en vez de estar en contacto con vapor.

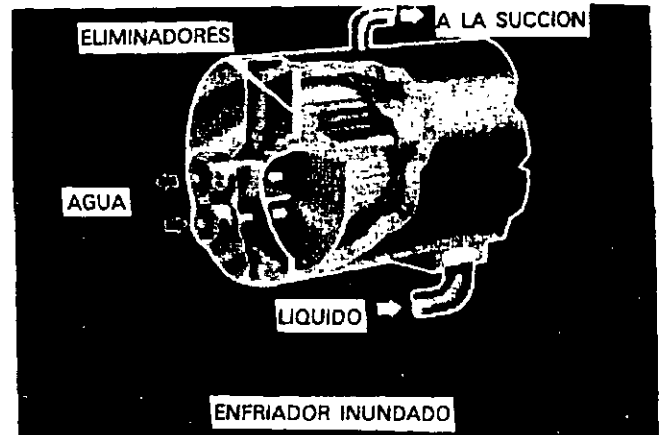
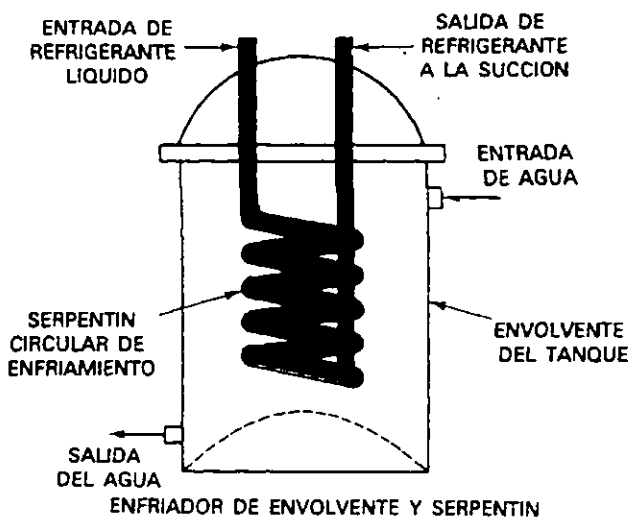


FIGURA R6-10 Enfriador inundado. (Cortesía de Carrier Air Conditioning Company.)

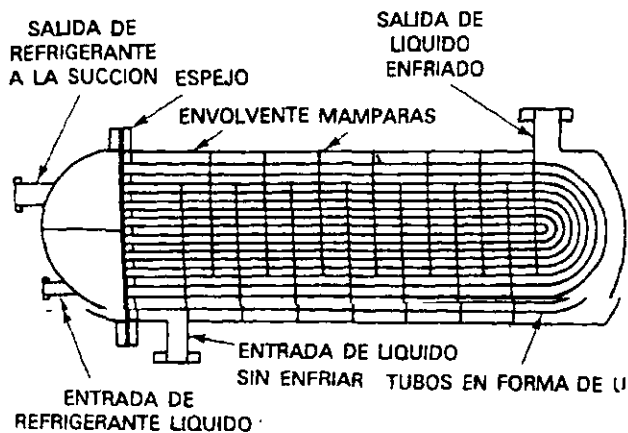


(A)

El diseño de los serpentines de enfriamiento de líquido varía dependiendo de sus aplicaciones, al igual que los de enfriamiento de aire. Como hay mayor transferencia de calor entre líquidos y metales que entre aire y metales, un serpentín sumergido tiene la capacidad de eliminar varias veces la cantidad Btu que uno enfriando por aire bajo condiciones semejantes. Los serpentines sumergidos se usan en enfriadores tipo baño de agua, en los que la capacidad de "mantenimiento de frío" se pone a trabajar cuando se echan latas con leche tibia u otros líquidos a enfriar.

Los arreglos de carcasa y tubos, y de carcasa y serpentín, así como los de otros tipos se usan para enfriar uno o más líquidos, o hasta para enfriamiento de soluciones de salmuera. En la figura R6-11 se muestra un enfriador de carcasa y serpentín, para agua. Es del tipo de expansión directa, con el refrigerante circulando en el interior del serpentín y el agua por el lado de la carcasa o envoltorio, a una temperatura no mucho menor que 4 °C para evitar la con relación.

El evaporador de tubo dentro de tubo, al que a veces se llama de doble tubo, es un serpentín de enfriamiento líquido que da altas tasas de transferencia de calor entre el refrigerante y el líquido que se enfría. La trayectoria del flujo de refrigerante puede ser ya sea en los tubos, aunque en general la salmuera o líquido que se enfría circula dentro del tubo interior, y el refrigerante que saca el vapor circula entre los dos tubos. Este tipo de serpentín de intercambio de calor también se usa en un diseño de condensador que se describirá más adelante en este capítulo.



ENFRIADOR DE LIQUIDO DIRECTO, DE TUBOS EN U Y DE EXPANSION

(B)

FIGURA R6-11 Enfriador de agua de envolvente y tubos, y enfriador directo de liquido por expansion (tipo tubo en U) (Reproducido con autorización de *ASHRAE Handbook and Product Directory*, 1975)

1. Recibir o eliminar el vapor de refrigerante del evaporador, de modo que se puedan mantener en él la temperatura y presión deseadas.
2. Aumentar la presión del vapor de refrigerante mediante el proceso de compresión, y en forma simultánea aumentar la temperatura del vapor para que ceda su calor al medio de enfriamiento del condensador

Los compresores se clasifican en general en tres tipos principales: alternativos o recíprocos, rotatorios y centrífugos. El compresor alternativo se usa en la mayor parte de las aplicaciones pequeñas, comerciales e industriales, en unidades condensadoras. Este tipo de compresor se puede clasificar a su vez de acuerdo a su construcción, si es abierto y accesible para servicio en el campo, o completamente hermético y sin podersele dar servicio en el campo,

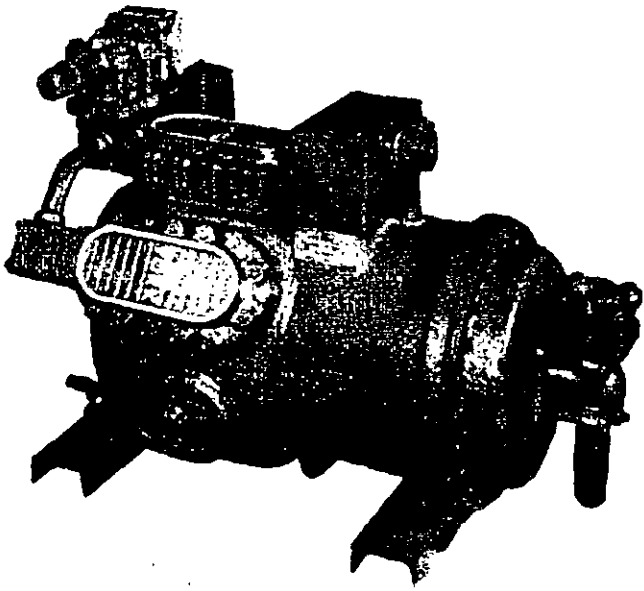


FIGURA R6-13 Compresor alternativo típico (Cortesía de Borg-Warner Air Conditioning, Inc.)

En la figura R6-12 se muestra un enfriador Baudelot, y tiene varias aplicaciones. Se puede usar para enfriar agua otros líquidos para diversos usos industriales, y con frecuencia se usa para enfriar leche. Los tubos del evaporador son verticales, y el líquido por enfriar se circula sobre los serpentines de enfriamiento por gravedad desde la bandeja o distribuidor ubicado sobre ellos. El líquido se acumula en una bandeja colectora abajo del serpentín, de donde puede recircularse al enfriador Baudelot, o bien bombearse a su destino en el proceso industrial.

R6-3 COMPRESORES

Después que el refrigerante ha absorbido vapor y evaporado en el serpentín de enfriamiento, pasa por la tubería de succión al siguiente de los componentes principales del circuito de refrigeración, que es el compresor. Esta unidad, que tiene dos funciones principales en el ciclo, se clasifica con frecuencia como el corazón del sistema, porque es el que hace circular al refrigerante por el sistema. Las funciones que lleva a cabo son:

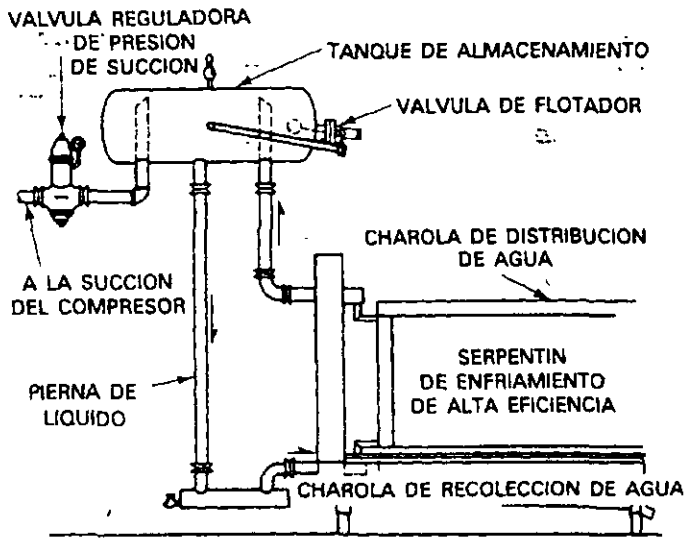


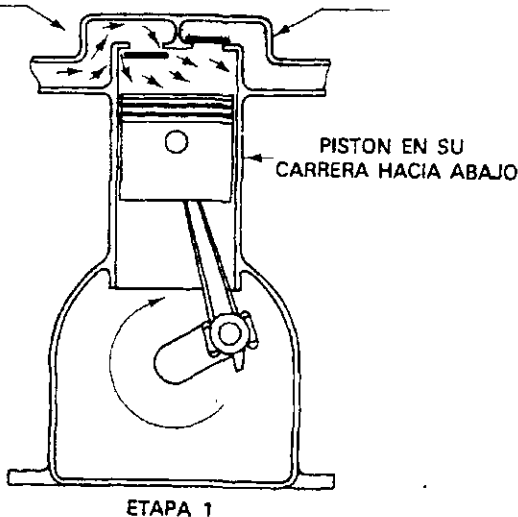
FIGURA R6-12 Enfriador de Baudelot. (Reproducido con autorización de *ASHRAE Handbook and Product Directory*, 1975.)

El tamaño de los compresores alternativos varía desde el que se necesita para un cilindro y su pistón de operación, hasta uno tan grande que tiene 16 cilindros y pistones. El cuerpo del compresor puede estar fabricado en una o dos piezas de hierro colado, acero colado, o, en algunos casos, aluminio. El arreglo de los cilindros puede ser horizontal, radial o vertical, y pueden estar en línea o dispuestos en V o en W.

La figura R6-13 muestra el exterior de un compresor alternativo normal que se usa en aplicaciones comerciales. Así

como los compresores difieren en cuanto a diseño y construcción, también lo hacen sus componentes individuales. Pero su propósito principal es el mismo: la compresión del vapor de refrigerante hasta llevarlo a una presión y temperatura altas, de modo que se pueda reducir su contenido calorífico y se condense en un líquido que se pueda usar una y otra vez en el ciclo.

LA CARRERA DEL PISTON HACIA ABAJO CREA VACIO EN EL CILINDRO. LA PRESION EN EL TUBO DE SUCCION EMPUJA LA VALVULA DE SUCCION QUE ABRE LA PRESION EN EL TUBO DE DESCARGA MANTIENE CERRADA LA VALVULA DE DESCARGA



LA PRESION EN EL CILINDRO MANTIENE CERRADA A LA VALVULA DE SUCCION LA PRESION EN EL CILINDRO LEVANTA LA VALVULA DE DESCARGA Y EL GAS PASA AL TUBO DE DESCARGA

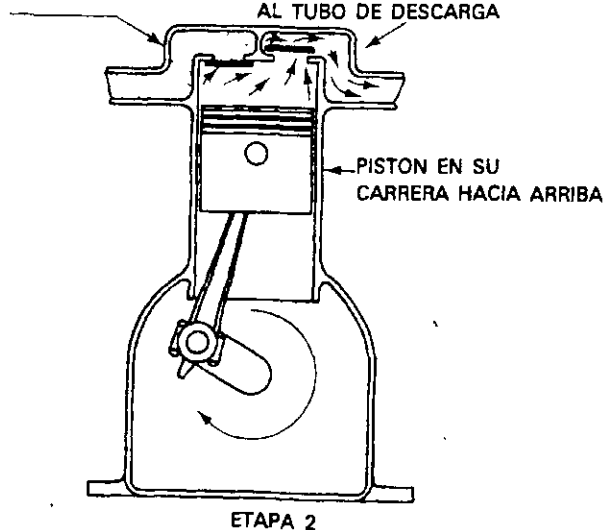


FIGURA R6-15 Cómo actúan las presiones diferenciales en las válvulas del compresor alternativo

permiten que escape vapor de refrigerante del cilindro, el pistón no puede bombear todo el vapor comprimido a la tubería de gas caliente. Si hay escape en la válvula de succión, el vapor comprimido, o parte de él, pasará al tubo de succión y calentará al vapor de baja presión y tura que hay allí. Si la válvula de descarga tiene escapes de algo



FIGURA R6-14 Flujo de gas por válvulas de lengüeta. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company)

Los pistones de los compresores pueden tener la válvula de succión ubicada en la cabeza del pistón; a este arreglo se le llama de válvulas a la cabeza. O bien, el pistón puede tener cabeza maciza y las válvulas de succión y descarga pueden estar ubicadas en una placa de válvulas o cabeza de cilindro. Una placa de válvulas normal, que muestra las válvulas internas de succión y descarga, de un compresor alternativo de dos cilindros, se muestra en la figura R6-14.

La figura R6-15 muestra esquemas de un pistón de compresión y las válvulas internas de succión y descarga en diferentes etapas del ciclo de compresión.

La figura R6-16 muestra un conjunto que consta del pistón, su perno, la biela y el cigüeñal. Todos los componentes del conjunto del pistón alternativo tienen maquinado de precisión, están cuidadosamente balanceados para eliminar vibraciones, y ajustados con tolerancias estrechas para asegurar que el compresor tenga alta eficiencia de bombeo del vapor del refrigerante. En la figura R6-17 se ve un tipo distinto de cigüeñal, con diseño excéntrico. La biela se arma

en un disco excéntrico, con contrapesos fijos. Si el cigüeñal no está maquinado casi por completo, se debe balancear dinámicamente.

Las válvulas internas de un compresor se desgastan bastante en el funcionamiento normal, porque deben abrir y cerrar cientos de veces por minuto cuando trabaja el compresor. En general, las unidades comerciales pequeñas tienen válvulas de disco o de lengüeta de acero de alta calidad, porque son de operación menos ruidosa, más eficiente y son de construcción más sencilla; duran más que las válvulas no flexibles del tipo placa de anillo. La figura R6-18 muestra uno de los diversos diseños de válvulas internas para compresor. Es muy importante el funcionamiento correcto de las válvulas para obtener una alta eficiencia general del compresor.

Si las válvulas de succión no asientan en forma correcta y

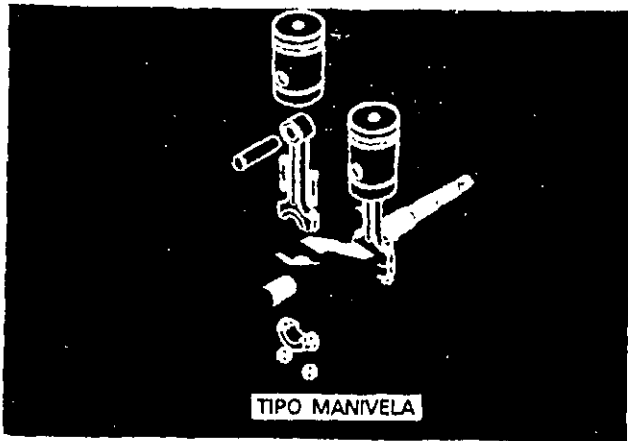


FIGURA R6-16 Cigüeñal tipo manivela. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company)

neopreno, que ajusta apretadamente en el eje. Los sellos de los compresores alternativos están en el lado de baja presión, o de succión. Es deseable que se mantenga un sello tan perfecto como sea posible, porque si las condiciones son tales que se necesite que el lado de baja presión trabaje al vacío, una fuga en el sello o en cualquier otro punto del lado de baja succionaría aire N, humedad, que pasarían al sistema.

En la mayor parte de los compresores alternativos se usan empaquetaduras entre las partes unidas para asegurar condiciones a prueba de fugas, porque la mayor parte de las superficies no están maquinadas tan finamente como para dar uniones herméticas metal a metal. Principalmente, las empaquetaduras se usan entre la cabeza de cilindros y la placa de válvulas, entre la placa de válvulas y la caja del compresor, entre el cuerpo del compresor y la placa inferior, si a hay, y también entre las válvulas exteriores de servicio y sus bases de montaje.

Cuando las partes en contacto están fuertemente aseguradas, imprimen su forma y contorno en el material, el cual en general es lo suficientemente blando y resistente para tomar la impresión y con ello sellar cualquier gas o aceite que posiblemente se vayan a escapar a la atmósfera, y evitar que entre el aire atmosférico. El material de la empaquetadura debe ser tal que no haya reacción química cuando se ponga en contacto con el aceite y el refrigerante en el sistema. Cuando las empaquetaduras necesitan cambio después de haber quitado algún componente, y posiblemente haberlo cambiado, las empaquetaduras de repuesto deben ser del mismo material que usó el fabricante originalmente, y del mismo espesor que las que se quitaron, que pudieron haber sido de aluminio, corcho, hule, asbesto o alguna formulación. Una variación en el espesor afectará la eficiencia y

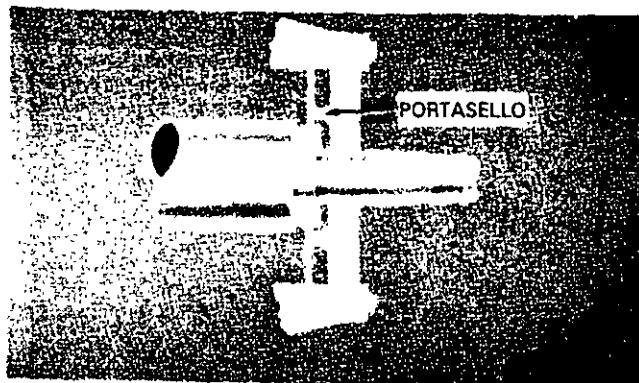


FIGURA R6-19 Sello de cigüeñal. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

vapor de alta presión y alta temperatura al tubo de descarga, el gas caliente regresará al cilindro en la carrera de succión del pistón, limitando el volumen de vapor de succión que entra al cilindro.

En un compresor tipo abierto, un extremo del cigüeñal sobresale del cárter para conectarse en forma directa a un motor externo, o bien puede tener fija una polea para impulsión por bandas mediante un motor externo. Se debe tratar de evitar las fugas de gas y aceite alrededor del cigüeñal, donde sobresale de la caja del compresor; esto se logra mediante un sello de eje.

En la figura R6-19 se muestra un tipo de cierre o sello de eje. El cigüeñal que se muestra tiene un escalón para sello interconstruido, contra el que recargan una arandela de neopreno y un anillo de sello autolubricante. Se mantiene un sello hermético a los gases y al aceite entre el anillo de sello y el escalón del eje mediante la arandela de

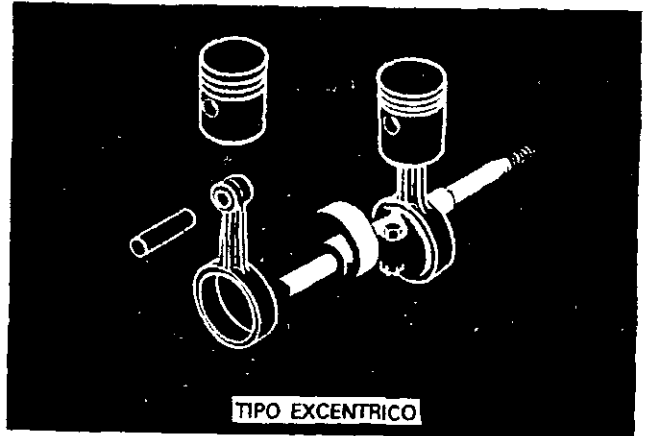


FIGURA R6-17 Cigüeñal tipo excéntrico. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

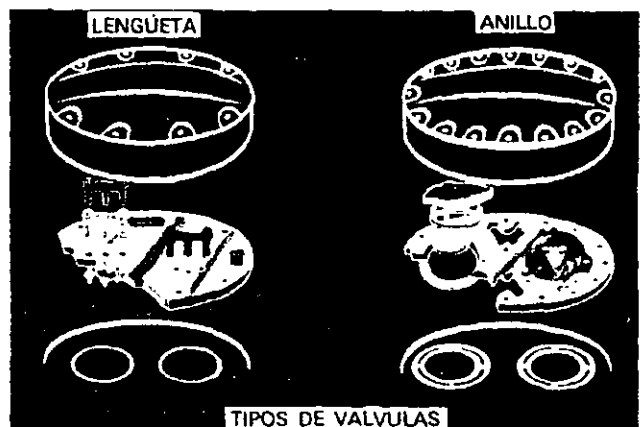


FIGURA R6-18 Tipos de válvulas (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

funcionamiento del compresor. Una empaquetadura demasiado gruesa entre la caja del compresor y la placa de válvulas aumentará el espacio libre sobre el pistón y causará una pérdida de eficiencia volumétrica. Si la empaquetadura es demasiado delgada, puede permitir que el pistón pegue contra la placa de válvulas, dañando al compresor.

Como se mencionó, los compresores alternativos del tipo abierto necesitan motores externos de impulsión, que pueden conectarse en forma directa usando coples. Esto hace que los compresores trabajen a la misma velocidad que la de los motores de impulsión. O también un compresor puede tener un volante en el extremo del cigüeñal, al cual lo hacen girar una o más bandas V que van del volante a una polea montada en el eje del motor. La velocidad a la que gire el compresor depende de la relación de los diámetros del volante y de la polea del motor. La velocidad del compresor se puede calcular como sigue:

$$\text{rpm del compresor} = (\text{rpm del motor} \times \text{diámetro de polea}) / \text{diámetro del volante}$$

EJEMPLO

¿A qué velocidad girará un compresor si tiene un volante de 10 pulgadas y está impulsado por un motor de 1725 rpa que tiene una polea de 4 pulgadas de diámetro?

SOLUCION

$$\text{rpm del compresor} = (1725 \times 4) / 10 = 690 \text{ rpm}$$

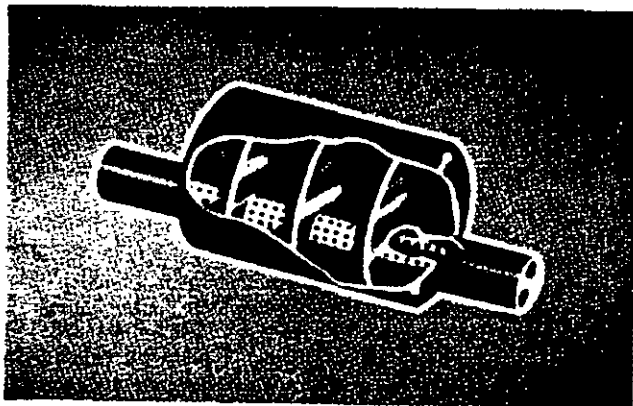


FIGURA R6-21 Silenciador externo de descarga. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

Algunos compresores herméticos se fabrican con resortes montados en el interior, para absorber las vibraciones originadas por la pulsación del vapor de refrigerante que bombean los pistones. Algunos compresores herméticos también tienen resortes o montaduras de vibración de hule ubicadas en el exterior, para absorber choques y vibraciones.

La parte inferior del compresor hermético trabaja como cárcamo de aceite, como un cárter de compresor tipo abierto circular y lubricar el aceite a las partes móviles internas, se lleva consigo algo del calor de compresión ganado por la fricción de las partes móviles. El mismo aceite transfiere algo de ese calor a la envolvente externa del compresor.

La mayor parte de los compresores herméticos se hacen de tal modo que el vapor de succión pasa por los anodos del motor antes de pasar al cilindro o cilindros. Con ello, naturalmente, se ayuda a eliminar el calor de los desvanados del motor y también se ayuda a evaporar cualquier refrigerante líquido que pudiera haber entrado al compresor.

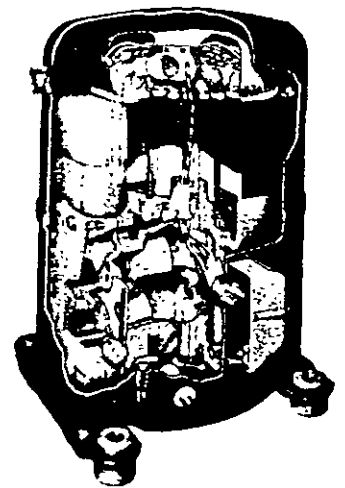


FIGURA R6-20 Compresor alternativo sellado (Cortesía de Tecumseh Manufacturing, Inc.)

El objeto de un compresor hermético es el mismo que del compresor abierto: bombear y comprimir el vapor; pero su construcción es distinta porque el motor está sellado la misma caja que el compresor. En la figura R6-20 se un corte de un compresor completamente hermético. Nótese el cigüeñal vertical, con la biela y el pistón en posición horizontal. La unidad completamente hermética tiene la ventaja de que no sobresale el cigüeñal; por lo tanto es necesario sello alguno y no hay posibilidad de fugas que salgan del compresor, o de aire que entre cuando el sistema trabaja al vacío. Un compresor de este diseño no puede componerse en el campo. Las reparaciones internas se deben hacer en una unidad de servicio, o en la fábrica donde se construyó.

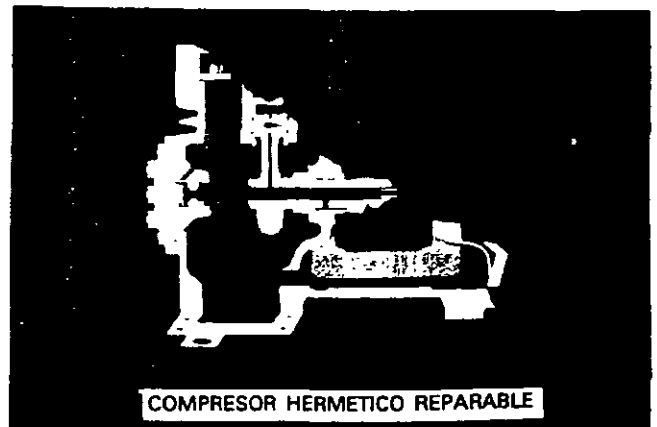


FIGURA R6-22 Compresor hermético reparable. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

Los silenciadores, o mofles, de succión y descarga se intercalan en algunos de los compresores herméticos menores, para absorber o disminuir el sonido originado por el vapor pulsante al ser bombeado a través del compresor. En la figura R6-20 se muestra un silenciador de succión en corte.

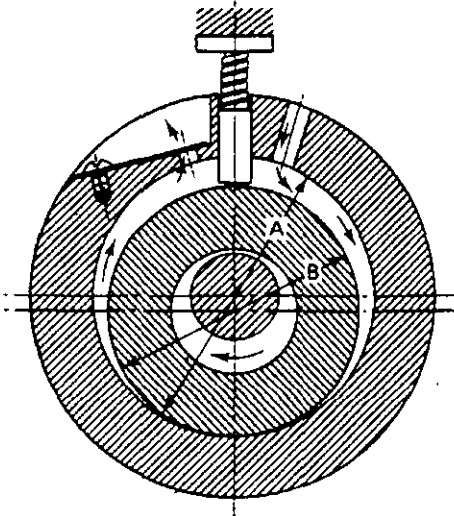


FIGURA R6-23 Compresor rotatorio de pistón rodante. (Cortesía de ASHRAE.)

semejantes, pero difieren en el modo de funcionamiento.

El de tipo de pistón rotatorio, como se ve en la figura R6-23, tiene el rodillo montado en un eje excéntrico. La hoja se ubica en una ranura en la caja del compresor. Al girar el pistón rodante, se succiona vapor al espacio sobre la hoja con tensión de resorte, como se ve, y el elemento rodante comprime al vapor hacia un espacio que disminuye constantemente, forzándolo a salir por la conexión de descarga, para volver a iniciar otro ciclo de compresión. El pistón rodante no hace contacto metal a metal con la pared del cilindro, porque, en funcionamiento normal, una capa de aceite da una holgura entre las dos superficies.

La figura R6-24 muestra el otro tipo principal de compresores rotatorios. Esta unidad consta de un cilindro y una placa o rotor excéntrico que tiene varias aspas, que están sujetas a su lugar ya sea con resortes o por la fuerza centrífuga. A medida que la placa gira en el cilindro, el vapor succionado queda atrapado en el espacio en forma de cuarto creciente que queda entre dos de las aspas. Al seguir girando el rotor, el gas succionado se comprime y su presión y temperatura aumentan hasta que se descarga de la caja.

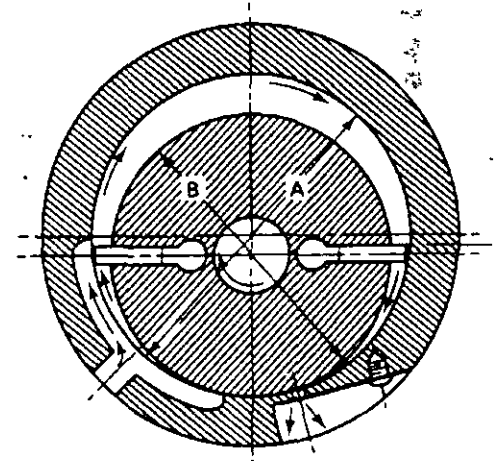


FIGURA R6-24 Compresor rotatorio de espas. (Cortesía de ASHRAE.)

Como se mencionó antes, una capa de aceite evita las fugas de vapor del cilindro, o entre los espacios delimitados por las aspas, mientras la unidad se encuentra trabajando. Para evitar que el gas caliente regrese al cilindro desde la conexión de descarga, cuando a ésta la descubre el rotor, se coloca normalmente una válvula de retención en el tubo de descarga. Durante el período de apagada la unidad, el vapor caliente no puede regresar al evaporador debido a la válvula de retención.

Los compresores rotatorios son unidades bien balanceadas y los que están encerrados en una envoltura hermética, en general tienen soportes de resorte o están montados sobre resortes. En general, su funcionamiento es muy silencioso. Como los compresores rotatorios herméticos tienen transmisión directa, trabajan a la velocidad del motor, que en general es 3450 rpm, y aunque el nivel de sonido está

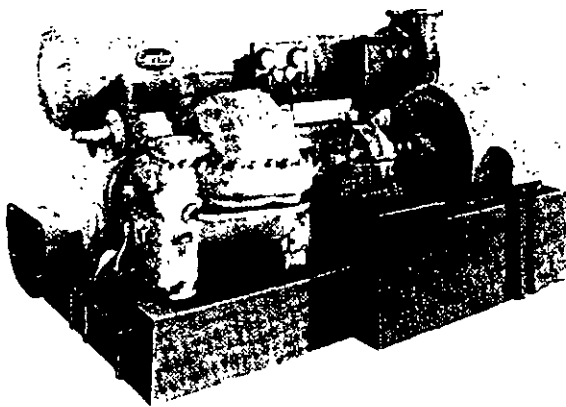


FIGURA R6-25 Unidad completa de refrigeración con compresor centrífugo (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

en relación directa con la velocidad y el caballaje, trabajan en forma relativamente silenciosa, de acuerdo con cualquier comparación. Se usan silenciadores de descarga para evitar que las pulsaciones del gas que se descarga cause vibraciones que pasen al tubo de descarga y al condensador. Los principios de diseño y funcionamiento que se describieron aquí corresponden a las unidades domésticas y comerciales pequeñas, aunque en general, también se aplican estos principios a compresores rotatorios mayores. La aplicación principal de algunos de ellos es en el campo de la baja temperatura, donde se usan como compresores de primera etapa, o de refuerzo.

En la figura R6-25 se muestra una unidad completa d-refrigeración con compresor centrífugo. Como los demás tipos de compresores, comprime al vapor de refrigerante por acción o fuerza centrífuga, como lo dice su nombre. Esta acción la lleva a cabo principalmente el impulsor o rotor, como se ve en la figura R6-26. El vapor se toma en la succión cerca del eje del rotor y se descarga en las aberturas de escape en la orilla externa del rotor. Con la rotación del impulsor, el vapor de la succión se toma con rapidez y pasa a las cámaras del impulsor, en donde se impulsa hacia el exterior de las secciones de carcasa por fuerza centrífuga. Para mantener esa fuerza centrífuga, el impulsor se trabaja a altas velocidades mediante una fuerza externa, como por ejemplo un motor eléctrico, de gasolina, o turbina de vapor. La diferencia de presiones entre el vapor que entra y sale es, pequeña. Por lo tanto, no es una unidad de desplazamiento positivo como los tipos que se acaban de describir, y no es capaz de acumular la presión contra una válvula cerrada en el sistema.

Un compresor centrífugo puede tener uno o más impulsores. Los compresores de varias etapas se fabrican de tal manera que la descarga de un impulsor o etapa entra a la succión de la siguiente. Si la velocidad del motor de impulsión no da la velocidad adecuada de funcionamiento, se pueden emplear engranajes para aumentar la velocidad, o coples fluidos para llegar a las condiciones óptimas de funcionamiento. Como no hay pistones ni válvulas internas de succión-descarga, hay poco desgaste y ajetreo en la unidad. Los cojinetes principales de la carcasa, que sostienen el eje motor, son los componentes más sujetos al desgaste.

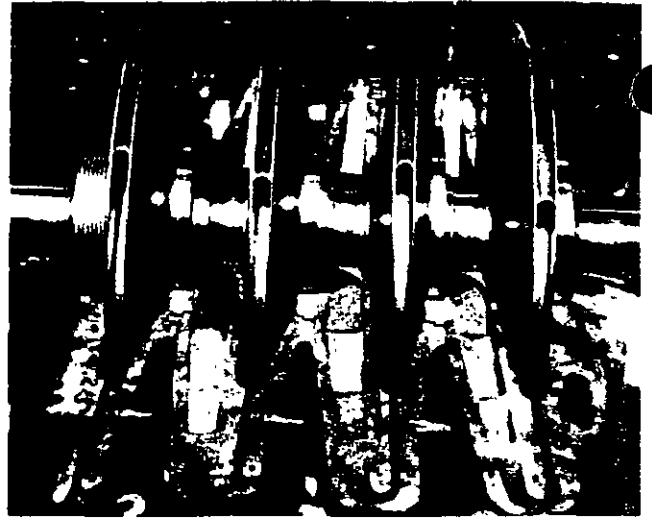


FIGURA R6-26 Impulsor o rotor (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

R6-4 CONDENSADORES

El siguiente componente principal en el ciclo de refrigeración, que sigue en la etapa de compresión, es el condensador. Básicamente, es otra unidad de intercambio de calor en la cual el calor que el refrigerante recogió en el evaporador, y también el que le agregó el compresor, se disipa a algún medio de condensación. El vapor a alta presión y temperatura que deja al compresor está sobrecalentado, y este sobrecalentamiento se acostumbra eliminar en la tubería de descarga de gas caliente, y en la primera parte del condensador. Al bajar la temperatura del refrigerante a su punto de saturación, comienza a condensar el vapor en un líquido, que se vuelve a usar en el ciclo.

Los condensadores pueden tener enfriamiento por aire, agua o enfriarse por evaporación. Los refrigeradores domésticos tienen, en general, un condensador enfriado por aire, que depende del flujo del aire por gravedad para que pase por él. Otras unidades de enfriamiento por aire emplean ventiladores para soplar o succionar grandes volúmenes de aire a través del serpentín del condensador.

La figura R6-27 muestra una unidad normal comercial que usa un condensador enfriado por aire. Depende de un suministro abundante de aire relativamente "frío", porque, para tener flujo de calor del refrigerante en el condensador al medio de enfriamiento, el aire debe estar a una temperatura más baja que la del refrigerante. Ha

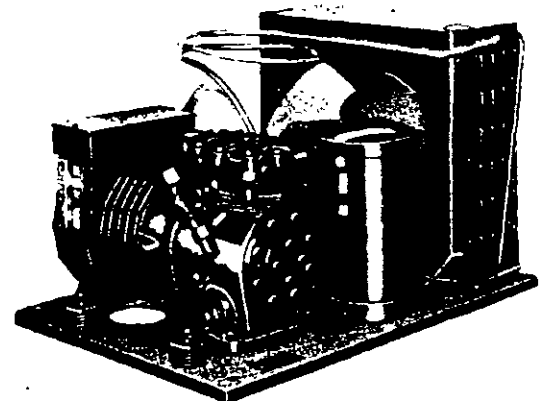


FIGURA R6-27 Unidad pequeña de condensador con enfriamiento de aire. (Cortesía de Copeland Corporation.)

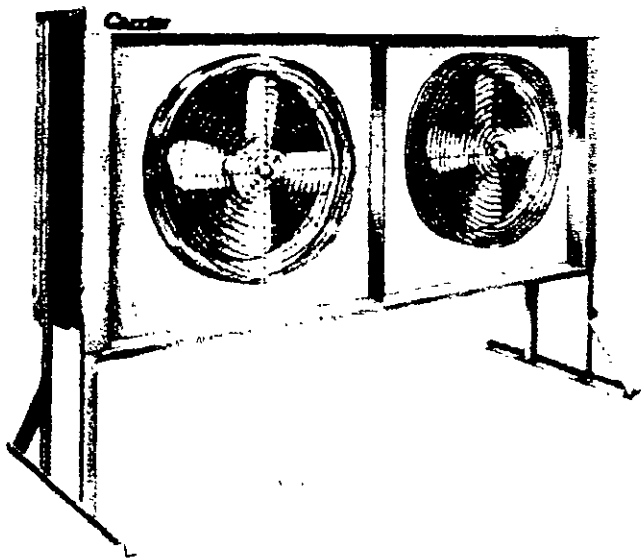


FIGURA R6-28 Condensador remoto enfriado por aire.
(Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

en el condensador y en el motor pueden ocasionar un aumento de temperatura dentro del espacio de almacenamiento, o del equipo mecánico. A resultas de ello, la unidad debe tener una presión y temperatura de descarga mayor, lo cual disminuiría su eficiencia.

La figura R6-28 muestra un condensador remoto enfriado por aire, que puede instalarse en el exterior, junto a una construcción o en un techo plano. En ese lugar, al aire libre, se dispone de un suministro adecuado de aire de enfriamiento, a la temperatura ambiente del exterior, y con ello se evitan las temperaturas indeseables en la construcción. El movimiento de aire por el serpentín se provoca ya sea por medio de un ventilador centrífugo movido por bandas o uno de hélice con acoplamiento directo. El ventilador de baja velocidad y aspas anchas mueve el volumen necesario de aire sin originar demasiado ruido.

Este tipo de condensador puede armarse en cualquier combinación de unidades que se necesiten para la eliminación requerida de calor. El aire puede succionarse o soplar por los serpentines. En otro diseño, un solo condensador puede tener más de un circuito en la disposición de su serpentín, de modo que se puede usar con varios evaporadores y compresores separados.

En la mayor parte de las instalaciones de condensadores remotos enfriados por aire en Estados Unidos, la diferencia entre la temperatura ambiente del aire y la de condensación del refrigerante es de unos 17 °C. Por lo tanto, si la temperatura exterior es 35 °C, el refrigerante se condensa a unos 47 °C.

Pueden surgir dificultades con los condensadores remotos enfriados por aire si se trabajan a bajas temperaturas ambientes, a menos que se tomen las debidas precauciones para mantener las presiones normales para la unidad. Antes en este capítulo, afirmamos que las temperaturas y presiones de condensación demasiado altas disminuyen la eficiencia general de operación de la unidad. A la inversa, una presión y temperatura de condensación demasiado baja afectará la operación eficiente del sistema originando una reducción de la diferencia de presión a través del dispositivo medidor y con ello se pierde flujo de refrigerante al serpentín de enfriamiento. Después, en este capítulo, se describirá el efecto de la caída de presión a través de un dispositivo medidor sobre la capacidad y eficiencia generales de un sistema.

Algunos condensadores remotos enfriados por aire con ventiladores múltiples tienen controles para encender y apagar uno o más de los ventiladores durante los periodos de bajas temperaturas ambientes. El flujo de aire a través de otros tipos de condensadores se puede controlar mediante persianas ajustables. Otros fabricantes instalan controles para permitir la inundación parcial de los serpentines con líquido lo cual, a su vez, disminuye la capacidad de condensación. Es otro método de mantener la diferencia de presiones dentro de límites adecuados.

Los condensadores enfriados por agua permiten menos presiones y temperaturas de condensación, y también dan mejor control de la presión diferencial de las unidades que trabajan. Se pueden clasificar como sigue:

1. Envoltente y tubos

cuando la temperatura del ambiente es mayor que 38 °C, sigue siendo menor que la del refrigerante en el condensador, y éste cede algo de calor al regresar a su estado líquido.

Los condensadores enfriados por aire se construyen de manera algo semejante a los demás tipos de cambiadores de calor, con serpentines de tubo de cobre o aluminio con aletas. Los evaporadores deben tener filtros frente a ellos para reducir su obstrucción por el polvo, pelusa y otros materiales; pero los condensadores no tienen esos filtros, y por lo tanto se deben limpiar con frecuencia para evitar la reducción de su capacidad.

Los condensadores remotos enfriados por aire tienen, en general, mayor espaciado de aletas, para evitar que se tapen con tanta rapidez como los que se montan directamente en la unidad de condensación. También, pueden estar ubicados lejos del compresor, lo cual es una ventaja notable. A veces una unidad completa de condensación se coloca en algún lugar dentro de la construcción en la que se va a usar, y el calor que se disipa

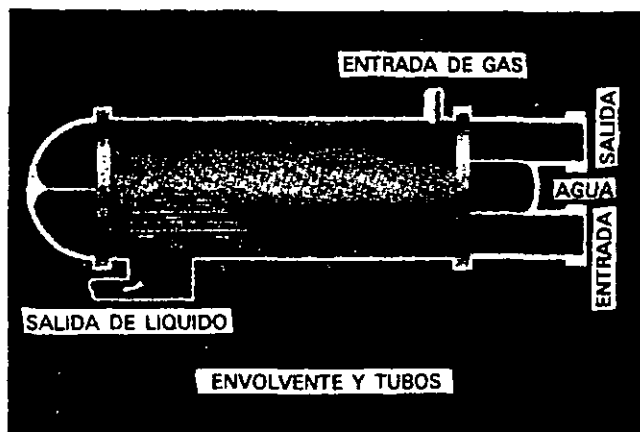


FIGURA R6-29 Condensador de envoltente y tubos.
(Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

2. Envoltente y serpentín
3. Tubo dentro de tubo

Como se hizo notar en un capítulo anterior, el agua en general es un medio eficiente para transmitir calor, que su calor específico es 1 Btu por libra por °F de cambio de temperatura. Si 25 lb de agua aumentan 20 °F y si este calor se elimina en 1 minuto, quiere decir que se eliminan 500 Btu por minuto de la fuente. También, si esta tasa de transmisión de calor continúa durante 1 hora (60 minutos), esto quiere decir que el agua absorbe 30,000 Btu/hr.

Si en el ejemplo anterior se pusiera un condensador enfriado por agua, podrían circularse 3 galones de agua (11.3 litros) por minuto. También, si el calor de compresión fuera 6000 Btu/hr, significaría que la carga del evaporador sería 24,000 Btu/hr; es una carga de refrigeración de 2 ton.

El agua de un pozo u otra fuente subterránea sería tanto más fría que el aire ambiente del exterior. Si se usa agua de torre de enfriamiento, su temperatura se puede bajar en esa torre, después de haber recogido calor en el condensador, hasta llegar a unos 3 a 4 °F de la temperatura ambiente de bulbo húmedo. El empleo de una torre de enfriamiento y bomba de recirculación del agua permite el reuso del agua, excepto por una pequeña pérdida por evaporación, y mantiene el consumo y el costo del agua al mínimo.

El condensador enfriado por agua tipo envoltente y tubos consiste en una envoltente o carcasa cilíndrica de acero que contiene varios tubos de cobre paralelos a la envoltente. Se bombea agua por los tubos mediante las conexiones extremas, en los espejos. El vapor caliente del refrigerante entra a la carcasa en su parte superior, como se en la figura R-29, y el refrigerante líquido pasa, según necesite, por la salida en el fondo de esta combinación condensador y receptor.

Los espejos se atornillan a la carcasa del condensador, con lo que se pueden sacar con facilidad para permitir el ado o limpieza de los tubos de agua, y quitar los depósitos minerales que se puedan haber formado en el interior de los tubos y que causen un flujo restringido del

agua, una reducción de la transmisión de calor, o ambas cosas. Un control de flujo del agua; esto es, el número de veces que pasa por longitud del condensador, o el número de pasos que haga, se determina por la construcción de los cabezales y espejos del condensador. Si el agua entra a un espejo, pasa por todos los tubos a la vez, y sale del condensador por el otro cabezal, el condensador es de un paso. Si la entrada y la salida del agua se encuentran ambas en el mismo cabezal, se trata de un condensador de dos pasos, o de un número par de pasos.

Si, en lugar de varios tubos dentro de la carcasa del condensador, hay uno o más serpentines armados a través de los cuales pasa el agua para eliminar el calor del vapor que se condensa, se dice que el condensador es de envoltente y serpentín. La figura R6-30 muestra un condensador de éstos. Es una unidad compacta y en general sirve como condensador y receptor combinados en el circuito. Normalmente, este tipo de condensador sólo se usa en unidades de baja capacidad y cuando hay la seguridad de tener agua razonablemente limpia, porque el único medio de limpiarlo es lavarlo con limpiador químico.

El condensador de tubo dentro de tubo, de doble tubo, de tubos concéntricos, o de trombón, se puede clasificar como condensador de combinación enfriado por aire y agua. Como se ve en la figura R6-31, tiene el refrigerante pasando por el tubo exterior, en el que queda expuesto al efecto enfriador del aire que pasa naturalmente por el exterior de los tubos exteriores, mientras que se hace circular agua por los tubos interiores. En general, el agua entra por los tubos inferiores y sale por la parte superior. De este modo, se obtiene la eficiencia máxima, porque el agua más fría puede eliminar algo de calor del refrigerante en estado líquido, y con ello se subenfía. Entonces, el agua más caliente todavía puede absorber calor del vapor, ayudando al proceso de condensación.

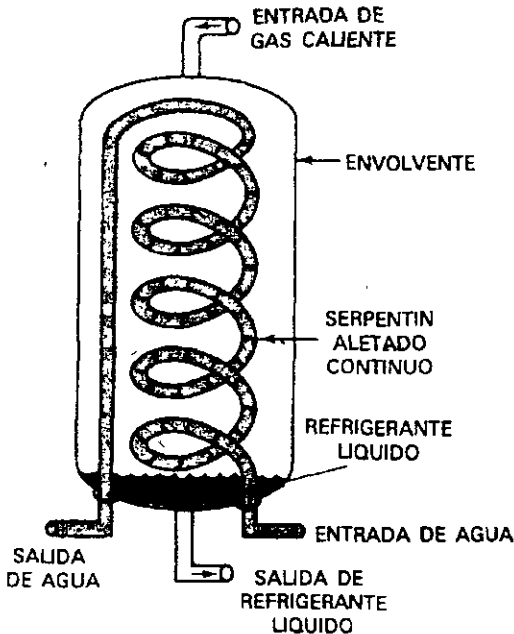


FIGURA R6-30 Condensador de envoltente y serpentín, con enfriamiento por agua. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company)

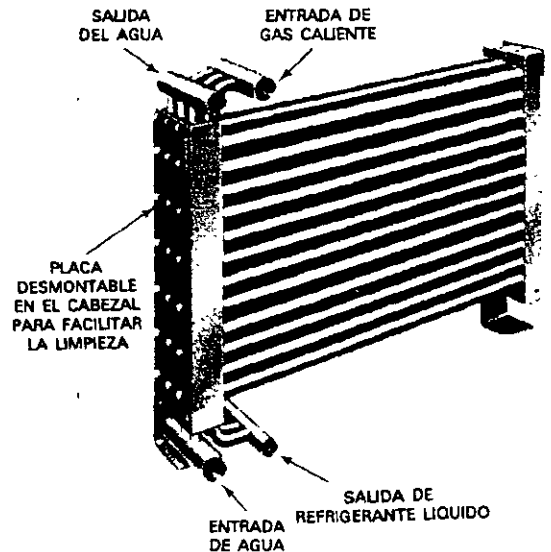


FIGURA R6-31 Condensador tipo tubos concéntricos enfriado por agua. (Cortesía de Halstead & Mitchell, Division of Climate Control.)

Cuando la temperatura ambiente es tal que no se puede tener una temperatura de condensación satisfactoria con un condensador enfriado por aire, y cuando el suministro de agua es inadecuado para un uso muy intenso, se puede usar con ventaja un condensador evaporativo. En la figura R-32 se muestra un diagrama de este tipo de condensador. Se muestra el uso combinado de agua y aire con objeto de eliminar calor del vapor de refrigerante dentro del serpentín del condensador.

En realidad hay doble transferencia de calor en esta unidad: el calor del vapor y el serpentín que lo contiene se transmite al agua, que moja la superficie externa del serpentín; y a continuación pasa al aire a medida que el agua se evapora. El aire puede soplar o succionarse a través del agua de aspersión.

Cuando el aire se sopla por la unidad, el ventilador y el motor están en la corriente de aire seco que entra. Cuando el sistema tiene un ventilador de succión, es esencial que se instalen eliminadores de niebla antes del ventilador. Si no es así, habría una rápida acumulación de costra en todos los componentes del ventilador. Aún con las unidades de soplado de aire, hay la posibilidad que algo del agua de aspersión salga del condensador evaporativo, y se deben instalar placas deflectoras para evitarlo.

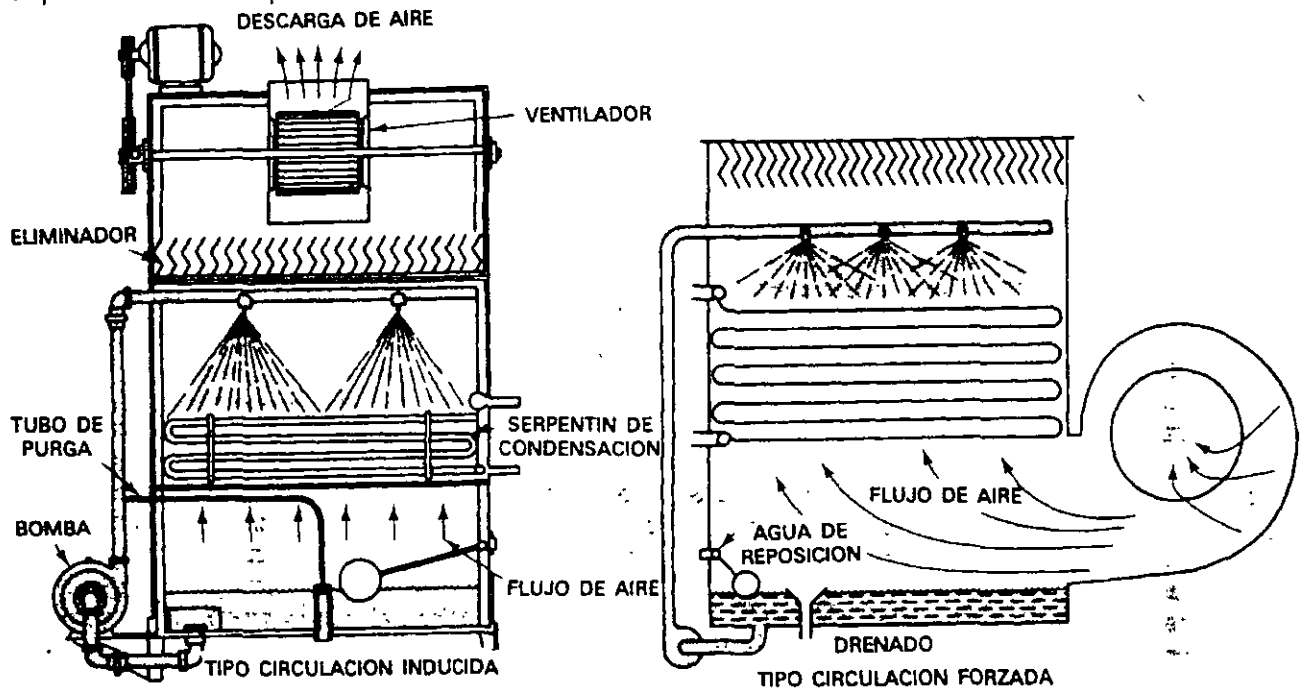


FIGURA R6-32 Esquema de condensadores evaporativos. (Cortesía de ASHRAE.)

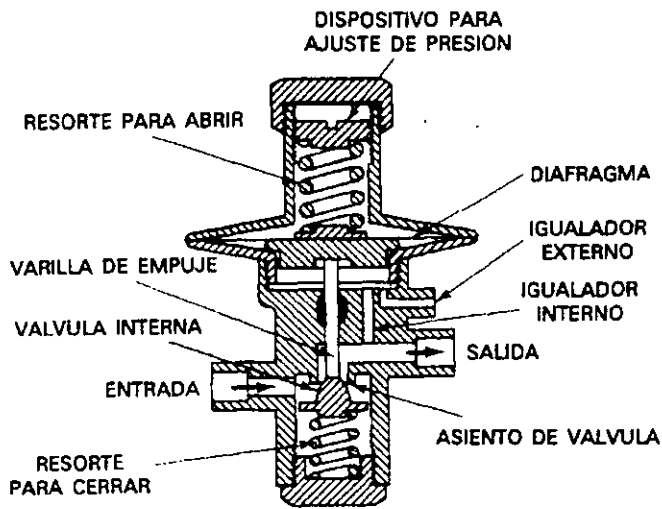
R6-5 RECIBIDORES

Como se mencionó antes, algunos condensadores de carcasa y tubos enfriados por agua también sirven como recibidores, en los que el refrigerante líquido ocupa el fondo del condensador, donde no hay tubos de agua. Si hay demasiado líquido en este tipo de condensador y recibidor, algunos de los tubos de agua quedarán cubiertos por el refrigerante. Con ello se reduce el área de transferencia de calor en el condensador.

En los sistemas diferentes a los que tienen condensador recibidor y a los que trabajan con una carga crítica de refrigerante, se necesita un recibidor. Es en realidad un recipiente de almacenamiento para el refrigerante que no circula en el sistema. Los recibidores que son parte de unidades comerciales pequeñas y autocontenidas en general son lo bastante grandes como para contener la carga completa de operación en el sistema. Esto se aplica también a varios de los sistemas mayores. Sin embargo, en algunos casos, el recibidor puede no ser lo suficientemente grande o no para contener la carga total de refrigerante, si se hace necesario abrir el sistema para una reparación o cambio de un componente. Sería necesario un recibidor auxiliar para dar la capacidad en los paros. Si no lo hay, el refrigerante en exceso se tendría que bombear en un bote vacío de refrigerante, o dejarse escapar a la atmósfera.

En general, los fabricantes de recibidores toman medias precautorias contra la posibilidad de acumulación de presión o demasiado aumento de temperatura en el recibidor, o en un condensador y recibidor de combinación. Entre las medidas de seguridad se encuentran normalmente la instalación de válvulas de alivio de presión, que por costumbre tienen tensión de resorte, que abren si aumenta demasiado la presión en el recibidor. Una válvula de tipo tapón fusible se puede instalar; se diseña para fundirse a determinada temperatura y dejar salir al refrigerante si, por cualquier motivo, se alcanza esa temperatura en el recibidor.

R6-6 CONTROLES DE FLUJO DE REFRIGERANTE



LA VALVULA SE USA YA SEA CON IGUALADOR INTERNO O EXTERNO. PERO NO CON AMBOS

FIGURA R6-33 Válvula de expansión de presión constante. (Cortesía de ASHRAE.)

tendría que cambiar de acuerdo con la variación de la carga.

Los cinco tipos principales de dispositivos reductores de presión que se usan hoy en diversas fases de refrigeración son:

1. Válvula automática de expansión
2. Válvula termostática de expansión
3. Tubo capilar
4. Flotador de lado de baja
5. Flotador de lado de alta

Todos ellos se usan para reducir la presión del refrigerante líquido y, en algunos casos, para controlar el flujo.

La válvula manual, naturalmente, no es adecuada para el funcionamiento automático, porque cualquier variación en las necesidades requiere de ajuste manual; por ello fue que llegó la válvula automática.

La válvula automática de expansión, o de presión constante, que se ve en la figura R6-33, mantiene una presión constante en el serpentín de enfriamiento mientras el compresor trabaja. En esta válvula de expansión de presión constante tipo diafragma, la presión del evaporador efectúa el movimiento del diafragma, al cual se fija el conjunto de la aguja.

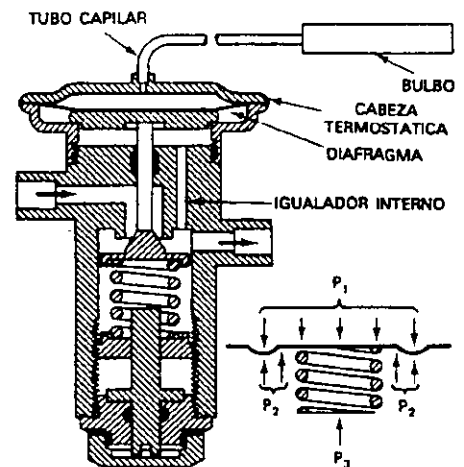
Es necesaria la estabilidad en el flujo de refrigerante y la evaporación para que trabaje en forma correcta esta válvula de expansión de presión constante. Al igual que la válvula manual, su uso se limita a condiciones de cargas más o menos constantes en el evaporador, caso que se aplica también a la válvula automática de expansión. En ambas válvulas hay un tornillo que presiona al resorte sobre el fuelle o diafragma. Cuando se mueve el tornillo en el sentido de las manecillas del reloj hace que haya más presión en el fuelle o diafragma y empuja la válvula para que abra más, admita más refrigerante al evaporador, y con ello se tenga mayor presión de operación. Si se desea menor presión de operación en el serpentín de enfriamiento, se libera la presión del resorte al hacer girar al tornillo en sentido contrario al de las manecillas del reloj; en consecuencia, se afloja el fuelle o el diafragma. Esto permite que cierre la válvula y se impide el flujo de refrigerante. Después de un ajuste, se debe permitir que pase tiempo suficiente para que el dispositivo de control se estabilice antes que se vuelva a cambiar el ajuste. Para una carga dada del serpentín evaporador a donde va el refrigerante, sólo hay un ajuste correcto de la válvula automática de expansión: cuando se escarcha por completo el serpentín. Si se disminuye la

Un componente fundamental e indispensable todo sistema de refrigeración es el control de flujo, o dispositivo reductor de presión. Sus fines principales son.

1. Mantener la presión y punto de ebullición adecuados en el evaporador para manejar la carga térmica deseada.
2. Permitir el flujo del refrigerante hacia el evaporador a la velocidad necesaria para eliminar el calor de la carga.

El dispositivo reductor de presión es uno de los puntos divisores del sistema.

El medio principal de controlar el flujo de refrigerante en los primeros años de la refrigeración, era una válvula manual básica. Al conocer su trabajo y su equipo, los primeros operadores en las fábricas de hielo y operaciones semejantes con cargas constantes, sabían hasta cuánto abrir la válvula manual de acuerdo al trabajo que se había de hacer. Sin embargo, en las aplicaciones modernas que tienen cargas variables con frecuencia, esto no es práctico, porque el ajuste de la válvula manual se



P_1 -PRESIÓN DE VAPOR DEL ELEMENTO TERMOSTÁTICO
 P_2 -PRESIÓN EN EL EVAPADOR
 P_3 -EQUIVALENTE DE PRESIÓN DE LA FUERZA DE SOBRECALENTAMIENTO SOBRE EL RESOR

FIGURA R6-34 Válvula termostática de expansión, tipo diafragma. (Cortesía de ASHRAE.)

presión, habrá reducción del flujo del refrigerante y disminuirá la capacidad de absorción de calor del serpentín. Si se eleva la presión, aumentará el flujo de refrigerante y aumentará la posibilidad de que el refrigerante líquido inunde y llegue al tubo de succión, de donde podría pasar al compresor y dañarlo.

Como las cargas de refrigeración no permanecen constantes, y no pueden estar presentes en toda instalación constantemente para hacer ajustes compensatorios, se desarrolló otro tipo de válvula, la válvula termostática de expansión. Como la válvula automática de expansión, la termostática puede ser del tipo de fuelle o de diafragma, la cual se muestra en la figura R6-34. Ambas tienen un conjunto de tubo capilar y bulbo sensor, que transmite a la válvula la temperatura del vapor de succión a la salida del serpentín del evaporador, donde se fija el bulbo sensor.

El objeto básico de la válvula de expansión termostática es mantener un suministro amplio de refrigerante en el evaporador, sin permitir que pase refrigerante líquido al tubo de succión y al compresor. Cuando el dispositivo medidor es una válvula termostática de expansión, su funcionamiento depende del vapor sobrecalentado que sale del evaporador, ya que algo del evaporador sirve para sobrecalentar al vapor hasta unos 2 a 4 °C sobre la temperatura que corresponde a la presión de evaporación.

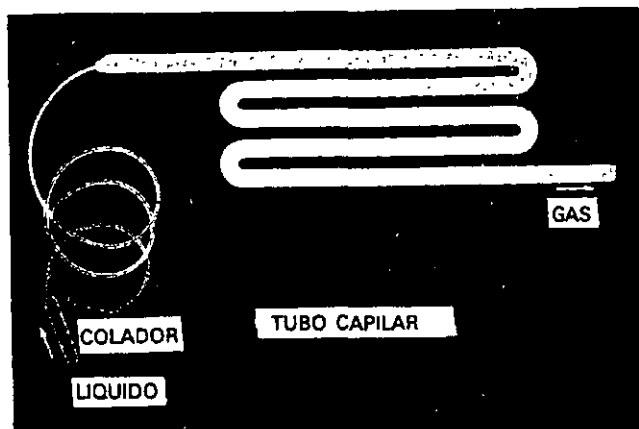


FIGURA R6-35 Tubo capilar. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

El tubo capilar, que se basa en el principio que se acaba de describir, es la forma más sencilla de dispositivo de control o medición de refrigerante, y en general es menos costoso. No tiene partes móviles que se gasten o que necesiten cambiarse, porque es un tubo de pequeño diámetro y de longitud adecuada para la carga de refrigeración que debe manejar. Este dispositivo de reducción de presión, como cualquier otro, se coloca entre el condensador y el evaporador, al final de la tubería de líquido, o en lugar de una tubería de líquido. En la figura R6-35 se muestra un capilar para control de refrigerante. Las ventajas de este control las acabamos de describir; sin embargo, sus desventajas son que está sujeto a taponamientos, que necesita de una carga exacta de refrigerante, y que no es tan sensible a los cambios de carga como otros dispositivos de medición. La superficie de su sección transversal es tan pequeña que sólo se necesita una partícula diminuta para taponar el capilar, o una

pequeña cantidad de humedad para que se congele dentro de él. Se debe instalar un secador y filtro o colador a la entrada del tubo capilar para evitar la posibilidad de taponamiento.

Otro tipo de dispositivo de control de refrigerante es el arreglo de flotador, que también mide el flujo de refrigerante al evaporador. El flotador mismo se fabrica de un metal que no reaccione con el refrigerante que se use en el sistema. Su forma es la de una esfera o de una bandeja cerrada, que sube y baja dentro de la cámara de flotador de acuerdo con el nivel del refrigerante. Se conecta, a través de un brazo y un eslabonamiento, a una válvula de aguja, que abre y cierra contra un asiento y permite y restringe el paso de refrigerante a la cámara.

Un flotador del lado de alta, como su nombre lo indica, se coloca en el lado de alta presión del sistema. Puede ser de diseño y construcción vertical u horizontal, y se puede ubicar cerca ya sea del condensador o del evaporador. En la figura R6-36 se muestra un flotador normal del lado de alta. Su diseño es tal que, a medida que se llena la cámara de flotador con refrigerante, el flotador sube y eleva la aguja de la válvula, separándola de su asiento. Con ello pasa el refrigerante, o se mide, hacia el lado de baja presión del sistema y al evaporador.

Como el flotador, mediante el mecanismo de pivote, se ajusta para abrir a determinado nivel, sólo queda una pequeña cantidad de líquido en la cámara del flotador del lado de alta: la mayor parte del refrigerante del sistema está en el evaporador. Por lo tanto, la carga de refrigerante en el sistema es crítica, hasta el grado que sólo es deseable tener el refrigerante suficiente para mantener el nivel adecuado del evaporador inundado, sin que el líquido moje el tubo de succión y el compresor. Si la carga es excesiva, se tendrá inundación, mientras que si hay poca carga, al evaporador le hará falta refrigerante y el sistema será ineficiente.

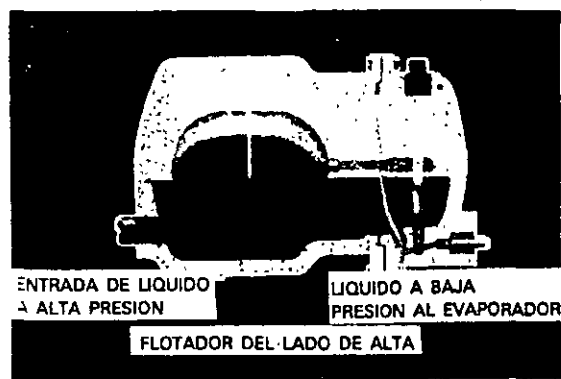


FIGURA R6-36 Flotador del lado de alta. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

Un dispositivo medidor de flotador de lado de baja es aquel en el que el flotador está en el evaporador, o en una cámara adyacente al serpentín de enfriamiento que está inundado y mantiene determinado nivel de líquido dentro del evaporador. Se fabrica en forma algo similar a la del flotador de alta, excepto que a medida que sube el flotador cierra el flujo de refrigerante. En la figura R6-37 se ve su acción: el líquido de alta presión está a la entrada de la cámara flotador. Cuando aumenta la carga en el evaporador, se evapora líquido y el nivel del mismo en el evaporador y en la cámara de flotación desciende. Al bajar el flotador, jala la aguja separándola de su asiento, permitiendo que entre más refrigerante hasta que se alcance el nivel deseado.

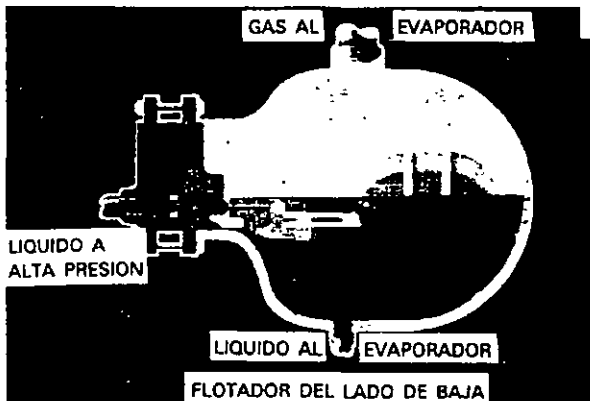


FIGURA R6-37 Flotador del lado de baja. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company)

Si baja la carga en el evaporador, habrá menos evaporación y el nivel de líquido se mantendrá; el flotador hará que la aguja cierre contra su asiento. De este modo el flotador del lado de baja puede mantener el flujo correcto de refrigerante de acuerdo a las necesidades, y según la carga variable. En general, no se puede usar el mismo dispositivo de flotador si se desea cambiar de refrigerante en el sistema, debido a sus características de operación, porque los refrigerantes tienen diferentes gravedades específicas, y cambian otras características. Se necesita tener un flotador con la flotabilidad correcta.

Una válvula de retención, como la que se ve en la figura R6-38, se usa a veces

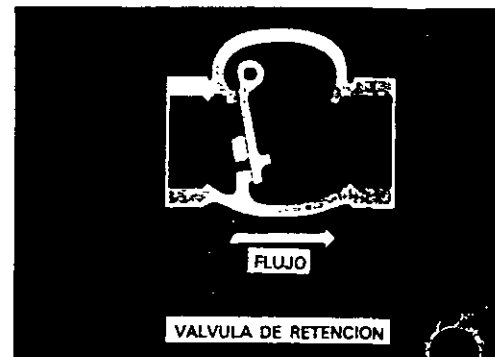


FIGURA R6-38 Válvula de retención (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company)

para evitar que la alta presión de un sistema o evaporador se regrese a un evaporador a menor presión, cuando en un sistema se tienen varios serpentines trabajando a varias presiones. También se puede usar para evitar una igualación de presiones cuando el sistema no esté en funcionamiento. Este tipo de válvula abre con facilidad si el flujo es en la dirección correcta, pero cierra en la dirección opuesta con ayuda de la tensión de un resorte o el peso de la misma válvula interna.

Una válvula solenoide, o de accionamiento magnético, se usa con frecuencia en las tuberías de refrigeración. El principio de funcionamiento se explicará en un capítulo posterior. La figura R6-39 muestra un corte donde se ve la construcción interna de esa válvula. Cuando se desea cerrar el flujo de líquido de manera positiva, para un ciclo de limpieza que permita poner en marcha al compresor sin carga, se instala una válvula solenoide en la tubería de líquido antes del dispositivo medidor. Su funcionamiento está controlado por un termostato y un circuito eléctrico o por varios otros métodos de accionamiento de válvulas. La mayor parte de esas válvulas cierran por gravedad y por el peso del émbolo y válvula, cuando se interrumpe el circuito eléctrico u otro medio de mantener abierta la válvula.

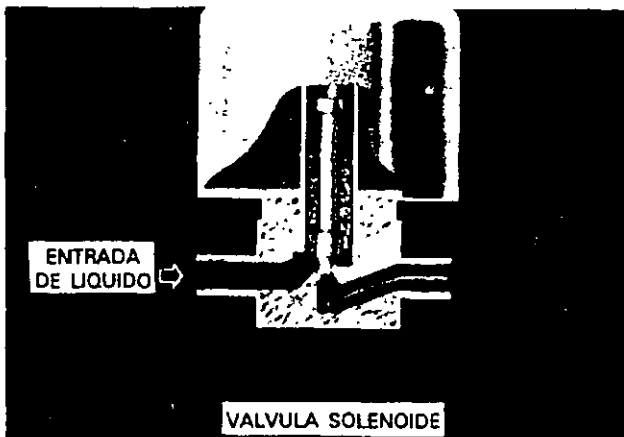


FIGURA R6-39 Válvula solenoide (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

R6-7 TUBOS DE REFRIGERANTE

Las partes anteriores de este capítulo se han dedicado a la selección, balanceo y funcionamiento correctos de los componentes principales de un sistema de refrigeración. Pero, independientemente de lo bien que se hayan seleccionado y balanceado los anteriores, el funcionamiento del sistema depende de los medios de transportar al refrigerante, tanto en forma líquida como de vapor, de un componente a otro en el circuito de refrigeración.

Al igual que se debe construir, dar servicio y mantener abierta una carretera entre dos poblaciones para dar acceso adecuado a los vehículos que la tienen que usar, así la tubería de un sistema de refrigeración debe tener las dimensiones e instalación correctas para que no haya restricciones al flujo del refrigerante.

El aceite de refrigeración, necesario para la lubricación adecuada de las partes móviles del compresor y del dispositivo medidor, debe ser fácilmente miscible con el refrigerante líquido. El aceite pasará con el líquido, si el tubo de éste tiene las dimensiones adecuadas para que también pase el refrigerante a todo lo largo a una velocidad correcta.

Si el sistema es sellado o autocontenido, es responsabilidad del fabricante el dimensionamiento y la instalación correcta de los tubos de refrigerante. Pero un sistema construido en el campo, donde se usen productos de diversos fabricantes, es problema y responsabilidad de la persona que diseñe el sistema completo y de las que instalen y conecten los componentes. Un tubo de líquido demasiado estrecho o que tenga muchas restricciones (conexiones y codos) podría causar con facilidad una caída de presión demasiado grande en el tubo, lo cual podría ocasionar pérdida de capacidad del dispositivo de reducción de presión, en comparación con la capacidad necesaria en el serpentín de enfriamiento.

El dimensionamiento correcto de todos los tubos de refrigerante y las tablas que se deben usar en la selección de tubos para líquido, succión y gas caliente, se describen en el capítulo R 13.

Los tubos a través de los cuales fluye el vapor de refrigerante son los más críticos, y son los tubos de succión y los de gas caliente o de descarga. La velocidad del vapor debe ser cuando menos 230 metros por minuto (750 pies/min) en los tramos horizontales, y mayor que 450 m/min (1500 pies/min) en los verticales, para que se arrastre el aceite de refrigeración con el vapor y regrese al compresor. Si los tubos son demasiado grandes, no se puede mantener la velocidad deseada y puede ser que el aceite no regrese y al compresor se le agote su carga de lubricante.

Si el evaporador está arriba del compresor, en general el aceite regresará al mismo por gravedad, siempre y cuando la tubería no tenga subidas o trampas (lugares bajos).

Si el evaporador está abajo del compresor, o cuando el condensador está a determinada distancia sobre el compresor, el vapor debe tener la velocidad adecuada para arrastrar las gotitas de aceite con él. Se deben incluir trampas de aceite en la tubería, o bien podría necesitarse emplear tubos dobles si el control de capacidad del compresor varía de acuerdo a las condiciones variables de carga. Estas medidas aseguran que aún en caso de carga mínima, de 10% a 25% de la capacidad nominal, el vapor de refrigerante tenga velocidad adecuada para arrastrar al aceite con él.

PROBLEMAS

R6-1. Dar los nombres de los cuatro componentes principales del ciclo de refrigeración por compresión.

R6-2. ¿Cuáles son los métodos que se usan con mayor frecuencia para compensar las pérdidas por conducción debidas a una capa de aire que rodea los tubos del serpentín de evaporación?

R6-3 ¿Bajo que condiciones deben instalarse serpentines de evaporación sin escarchamiento?

R6-4 ¿Cuáles son algunos de los tipos de serpentines de enfriamiento que se usan para enfriar líquidos?

R6-5 ¿Cuáles son las tres clasificaciones principales de compresoras, por el método de compresión?

R6-6 ¿Cuáles son los dos tipos de lenguetas de válvulas para compresor alternativo?

R6-7 ¿Cuál es la diferencia entre un compresor hermético y uno abierto?

R6-8 ¿Cuáles son los dos tipos principales de compresores rotatorios que se usan en el campo de la refrigeración?

R6-9 ¿Cuántas válvulas se usan en la operación de compresión de un compresor centrífugo?

R6-10 ¿Cuál es el objetivo principal del condensador?

R6-11 ¿Cuáles son los tipos principales de condensadores?

R6-12 ¿Cuáles son los tipos principales de dispositivos de reducción de presión que se usan para controlar el flujo de refrigerante al evaporador?

R6-13 ¿Cuál es el tipo de dispositivo de reducción de presión más sencillo? ¿Por qué?

R6-14 ¿Cuál es el objeto de una válvula de retención?

R6-15 ¿Cuál es el objeto de una válvula solenoide?



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

REFRIGERANTES

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

REFRIGERANTES

7-1 DEFINICIÓN

Los refrigerantes son fluidos vitales para los sistemas de refrigeración tanto del tipo de compresión como del de absorción. Absorben calor del lugar donde no se le desea y lo expulsan en cualquier otro lugar. La evaporación o ebullición del refrigerante líquido absorbe el calor que se desprende en la condensación del vapor.

Cualquier sustancia que sufra cambio de fase pasando de líquido a vapor y viceversa, puede trabajar como refrigerante en los sistemas tipo compresión de vapor. Sin embargo, sólo las sustancias que sufren esos cambios a las temperaturas y presiones útiles tienen valor práctico.

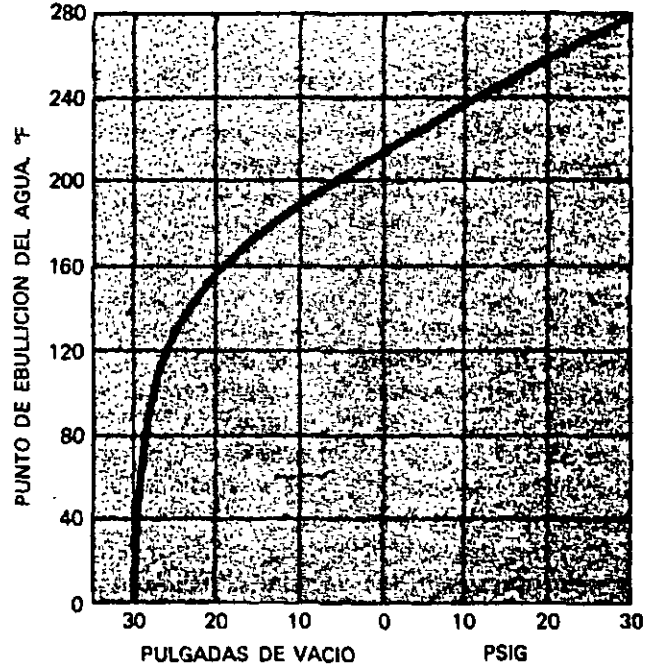
R7-2 RELACION PRESIÓN-TEMPERATURA

Este tema se describió en la sección R3-11, pero debido a su importancia al tratar diversos refrigerantes, también lo describiremos aquí. Todos los líquidos tienen relaciones presión-temperatura, pero son distintas para diversos líquidos. Para ser más específicos, a las condiciones atmosféricas normales, el agua hierve a 100 °C (212 °F), el refrigerante 12 a -29.4 °C (-21 °F), el refrigerante 22 a -40 °C (-40 °F), etc. Para fines de descripción de los principios de relaciones presión-temperatura, comenzaremos con el líquido más común, el agua.

R7-3 AGUA COMO REFRIGERANTE

El agua es el refrigerante más eficiente desde el punto de vista de absorción de calor: 980 Btu por libra de agua vaporada (544 Cal/kg). También se le puede hacer hervir y producir temperaturas de refrigeración hasta de 40 °F (4 °C) y durante algún tiempo se usó mucho en sistemas grandes de refrigeración en los que el producto era agua a 4 °C para acondicionamiento de aire y procesos. Para comprender cómo se lleva a cabo esto, el lector sólo necesita recordar que un sistema de refrigeración trabaja "controlando el punto de ebullición" del refrigerante. Para hacer que el agua absorba calor y hierva, sólo es necesario bajar el punto de ebullición lo suficiente abajo de la temperatura de la que se va a sacar el calor (la de la fuente de calor), para obtener una velocidad deseada de transferencia de calor. En los capítulos siguientes se describirá cómo se lleva a cabo esto.

Si, por ejemplo, deseamos sacar calor de un aceite a 50°F (10 °C) y el diseño del equipo requiere de una diferencia temperatura AT entre la temperatura del aceite y la del refrigerante (agua), necesitamos que el punto de ebullición agua sea 40 °F (5 °C). ¿Qué presión debemos mantener el agua para obtener este punto de ebullición?



R7-3.1 Curva de presión-temperatura

La figura R7-1 muestra una curva presión-temperatura para el agua. Esta curva es una gráfica de los puntos de ebullición del agua a diversas presiones aplicadas. Con esta curva, podemos determinar que para obtener un punto de ebullición de 40 °F, necesitamos encontrar 40 °F en la escala vertical de la izquierda, "punto de ebullición del agua", movemos hacia la derecha por la línea de 40 °F hasta anzar la curva presión-temperatura. En este punto, recorremos la gráfica hacia abajo a lo largo de las líneas verticales de las presiones, y llegamos a lo que parece ser 29" Hg en la zona de vacíos.

Lo malo de usar una curva de este tipo para el agua es inexactitud en que se incurre en las zonas de menores temperaturas, debido al gran cambio de puntos de ebullición que se tienen con un cambio muy pequeño de la presión aplicada.

R7-3.2 Tabla de presión-temperatura

Un modo más exacto de presentar la relación temperatura-presión es mediante una tabla. La figura R7-2 muestra tabla para el agua. Al recorrer la columna de la temperatura y llegar al punto deseado de 40 °F y a continuación leer que aparece en la columna de la presión, vemos que la presión aplicada que se desea es 29.67" Hg devacío.

R7-3.3 Desventajas del agua como refrigerante

Para recuperar el vapor de agua y volverlo a usar en el sistema de refrigeración, es necesario ahora elevar la temperatura de condensación del vapor a un nivel suficientemente alto sobre la temperatura del material que absorbe el calor (el sumidero de calor) para hacer que la tasa de intercambio de calor sea lo suficientemente alta para llevar cabo esta tarea. Si suponemos que vamos a pasar calor al agua a 75 °F (18 °C) y que vamos a tener una diferencia de temperatura (ΔT) de 25 °F (14 °C) entre la temperatura del lumidero de calor y la de condensación del agua, ¿qué presión de condensación necesitamos mantener? Un sumidero de calor a 75 °F más 25 °F de ΔT es una temperatura de condensación de 100 °F (38 °C). En la tabla de presión-temperatura vemos que lo que se necesita es un vacío de 28 " Hg.

De lo anterior llegamos a la conclusión que el sistema completo de refrigeración trabaja al vacío, o a presión inferior a la atmosférica. Con estos límites de presión de operación se hace muy difícil mantener el sistema hermético a los escapes y se necesita mucho mantenimiento. Como resultado de ello, el uso de agua como refrigerante tuvo corta vida.

R7-4 REFRIGERANTES DE APLICACIÓN GENERAL

Se puede decir que no hay refrigerante "universal". Como la refrigeración mecánica se emplea para diversas temperaturas, algunos refrigerantes son adecuados para refrigeración a alta temperatura, como por ejemplo, climatización, otros trabajan a menores temperaturas, como los que se usan para almacenamiento de productos, procesos de congelación y aplicaciones donde se necesitan temperaturas aún menores.

La selección de un refrigerante para determinada aplicación depende de propiedades que no se relacionan con su capacidad de eliminar calor; por ejemplo de su toxicidad, inflamabilidad, densidad, viscosidad y disponibilidad. Así, la selección de un refrigerante para determinado objeto es un equilibrio entre propiedades contradictorias.

Desde los primeros días de la refrigeración se han usado muchos refrigerantes. La experimentación, investigación y pruebas siguen todavía con varias sustancias químicas; o compuestos y mezclas de sustancias químicas. Se han usado, a través del tiempo, aire, butano, cloroformo, éter, propano, agua y otros compuestos orgánicos e inorgánicos.

El amoníaco es uno de los refrigerantes antiguos, que se tienen en plan de reserva. Se usó en algunos de los primeros equipos, y se continúa empleando en algunas de las unidades comerciales e industriales más grandes. El amoníaco necesita del empleo de equipo mucho más robusto que el necesario para algunos de los demás refrigerantes que se usan hoy día. El dióxido de azufre y el cloruro de metilo se usaron mucho durante algún tiempo en refrigeradores domésticos y en unidades comerciales pequeñas de condensación. Debido a su toxicidad e inflamabilidad, la mayor parte de los sistemas que usaban esos refrigerantes se han cambiado o se están cambiando a medida que se deterioran.

1 N. del T.: Underwriters' Laboratories es una institución en Estados Unidos dedicada a determinar propiedades, elaborar normas y emitir dictámenes entre otras cosas, para compañías aseguradoras en ese país.

FIGURA R7-2
Tabla de propiedades de agua-vapor.

Temperatura, °F	Vacío (pulg Hg) referido a una baria de 30 pulg (Hg a 58.4°F)	Temperatura, °F	Vacío (pulg Hg) referido a una baria de 30 pulg (Hg a 58.4°F)	Temperatura, °F	Vacío (pulg Hg) referido a una baria de 30 pulg (Hg a 58.4°F)
32	29.8191	81	28.934	114	27.088
40	29.7516	82	28.899		
		83	28.863	115	27.005
50	29.6365	84	28.826	116	26.919
51	29.6228			117	26.830
52	29.6087	85	28.788	118	26.739
53	29.5940	86	28.749	119	26.647
54	29.5788	87	28.708		
		88	28.666	120	26.553
55	29.5631	89	28.624	121	26.455
56	29.5470			122	26.355
57	29.5303	90	28.580	123	26.253
58	29.5131	91	28.535	124	26.149
59	29.4953	92	28.489		
		93	28.441	125	26.040
60	29.477	94	28.392	126	25.931
61	29.458			127	25.820
62	29.439	95	28.341	128	25.706
63	29.419	96	28.290	129	25.589
64	29.398	97	28.237		
		98	28.183	130	25.48
65	29.376	99	28.127	131	25.35
66	29.354			132	25.23
67	29.331	100	28.070	133	25.10
68	29.308	101	28.011	134	24.97
69	29.284	102	27.951	135	24.83
		103	27.889	140	24.11
70	29.259				
71	29.234	104	27.825	150	22.42
72	29.208	105	27.759	160	20.32
73	29.181	106	27.692	170	17.77
74	29.153	107	27.623	180	14.67
				190	10.93
75	29.125	108	27.550		
76	29.095	109	27.478	200	6.47
77	29.065			210	1.16
78	29.034	110	27.404	212	0.00
79	29.002	111	27.328		
		112	27.250		
80	28.968	113	27.170		

El dióxido de azufre fue, y todavía es, un refrigerante bastante estable, no explosivo y no inflamable. Tiene un olor extremadamente irritante y desagradable que, si se presentara una fuga en el sistema, se notaría y se localizaría con facilidad. Sin embargo, debido a su toxicidad, hasta una fuga pequeña puede ser nociva para quien se encuentre cerca del equipo, y se sabe que este gas es perjudicial para los arbustos y otros tipos de plantas.

El cloruro de metilo emite un vapor con olor dulce cuando se pone en contacto con la atmósfera; es muy distinto al del dióxido de azufre, pero también es tóxico. La inhalación de bastante vapor ocasiona síntomas semejantes a los originados por los anestésicos. Aunque no se considera nocivo para las flores o las plantas, es un refrigerante moderadamente inflamable. Según el informe MH-2375 de Underwriter's Laboratory,¹ sus límites explosivos en el aire son de 8.1 a 17.2% en volumen.

Con el descubrimiento de otras sustancias y compuestos químicos, se evaluaron las ventajas y desventajas de cada uno de los refrigerantes que se usaban. Hoy se tienen en cuenta las características de los diversos refrigerantes, desde el punto de vista tanto físico como químico. La disponibilidad y costo de cada refrigerante es también de mucha importancia. Las características y propiedades de varios refrigerantes se pueden encontrar en el Apéndice, en las Tablas y gráficas de refrigerantes. Estos datos se presentan con autorización de Freon Products Division, E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc. En este capítulo se mostrarán algunos datos de los refrigerantes más usados, en gráficas y tablas.

El sistema actual que se usa para numerar los refrigerantes fue desarrollado por la Du Pont Company, primera empresa en vender muchos de los nuevos refrigerantes. Al principio se usaba la letra F (que quiere decir Freon, marca registrada de Du Pont), precedida por varios números. Después, a medida que entraron en escena otros productores de refrigerantes halocarbonados, Du Pont puso su sistema de numeración al alcance de toda la industria. Como resultado de ello, hoy los refrigerantes se identifican con una R. o número de refrigerante, como R-12, R-22, etc.

El sistema de numeración se describe en la norma 34-67 de la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), que ha adoptado el American National Standards Institute como norma ANSI 1379-67.

Para los fines de este capítulo, sólo la parte del sistema que describe los refrigerantes más comunes es la que se usará. Quienes deseen mayores informes acerca de los diversos refrigerantes pueden consultar la norma que acabamos de citar.

Para seleccionar y emplear un refrigerante en un proyecto específico y especializado, se deben tener en cuenta las siguientes características:

1. Propiedades químicas
 - a. Inflamabilidad
 - b. Explosividad
 - c. Toxicidad
 - d. Estabilidad

2. Propiedades físicas
 - a. Punto de ebullición
 - b. Punto de congelación
 - c. Volumen específico
 - d. Densidad
 - e. Presión crítica
 - f. Temperatura crítica
 - g. Calor latente de evaporación
 - h. Miscibilidad
 - i. Detección de fugas

R7-5 INFLAMABILIDAD Y EXPLOSIVIDAD

Cuando un sistema trabaja en forma satisfactoria, no hay necesidad de preocuparse por el refrigerante que tiene dentro. Sin embargo, si se presentara un incendio en la cercanía de cualquier componente del sistema, hay peligro de que pueda extenderse y existe la posibilidad de una explosión si un refrigerante con propiedades desfavorables escapa por tubos rotos.

Si se presenta una fuga o si se deben hacer reparaciones a algún componente, se deben tener en cuenta la inflamabilidad y la explosividad posibles, así como la toxicidad del refrigerante. Aun cuando el sistema se pueda vaciar y todo el refrigerante del recibidor condensador, las soldaduras que sea necesario hacer en la reparación o cambio de un componente, pueden ser peligrosas si hay el vapor suficiente dentro de los tubos de conexión, por el peligro del calor de la flama del equipo de reparación.

Los hidrocarburos refrigerantes (llamados también re-rigerantes hidrocarbonados incorrectamente), entre los cuales se encuentran el butano (11-600), el etano (R- 170) y el propano (R-290) son todos muy inflamables y explosivos. Se debe tener el cuidado adecuado con las flamas abiertas cerca de un sistema en el que se use cualquiera de esos refrigerantes. Los refrigerantes de hidrocarburo halogenado (llamados también refrigerantes halocarbonados),

FIGURA R7-3
 Clasificación de los Underwriters' Laboratories para
 peligro de muerte por gases y vapores

Grupo	Limitaciones	Refrigerante
1	Concentración de gases o vapores de 0.5 a 1% durante unos 5 min pueden producir lesiones graves o la muerte.	Dióxido de azufre
2	Concentraciones de gases o vapores de 0.5 a 1% durante unos 30 min pueden producir lesiones graves o la muerte.	Amoniaco
3	Concentraciones de gases o vapores de 2 a 2.5% durante 1 hora pueden producir lesiones graves o la muerte.	Cloroformo
4	Concentraciones de gases o vapores de 2 a 2.5% durante unas 2 horas pueden producir lesiones graves o la muerte.	Cloruro de metilo
5	Gases o vapores que son menos tóxicos que los del grupo 4, pero más tóxicos que los del grupo 6.	Refrigerantes 11, 22, 502; butano, propano
6	Concentraciones de gases o vapores de un 20% durante periodos de unas 2 horas aparentemente no producen lesiones	Refrigerantes 12, 114

consideran no inflamables, pero algunos se vuelven tóxicos por la acción del fuego. Entre ellos están el triclorofluorometano (R- 11), el diclorodifluorometano (R- 12), y el monoclorodifluorometano (R-22). El R-502, que es un refrigerante azeótropo, es una mezcla de 48.8% de R-22 y 51.2% de R-115 (cloropentafluorometano), y es no inflamable.

Hay algunos nombres químicos de "trabalenguas" para algunos de los refrigerantes, y se consiguió cierto alivio cuando se desarrolló un sistema de numeración, que actualmente se usa con más frecuencia, en lugar de los nombres químicos. La marca de quien fabricó el refrigerante en general va al principio, y sigue el número del refrigerante, pero en la práctica general, el número está precedido por la palabra Refrigerante, o tan sólo por una R.

R7-6 TOXICIDAD

La institución Underwriters' Laboratories ha llevado a cabo extensas pruebas para determinar la toxicidad de todos los refrigerantes. No intervinieron seres humanos en estas pruebas; en general los cuyos de laboratorio acusan rápidamente los efectos de inhalar gases y vapores tóxicos.

El aire es la excepción a la regla de que todas las sustancias gaseosas son, hasta cierto grado, tóxicas. Desde luego, hay varios grados de toxicidad. El dióxido de carbono lo exhalamos al respirar, y por lo tanto es inocuo para los seres humanos hasta determinada concentración en la atmósfera que les rodee. Sin embargo, una persona que se exponga a una atmósfera con 8 a 10% de dióxido de carbono,

o más, perdería rápidamente el conocimiento.

Las pruebas efectuadas por los Underwriters' Laboratories fueron para el tipo de compuesto o sustancia química, el porcentaje del vapor que se probó en la atmósfera dada, y la duración de exposición del animal a la mezcla. Los Underwriters' Laboratories han desarrollado una clasificación numérica que va del 1 al 6. El número más bajo es para el refrigerante más tóxico y peligroso, y el mayor es el del refrigerante menos tóxico. La figura R7-3 es una lista de la clasificación de los refrigerantes y de la concentración y duración de la exposición que produce lesiones graves.

R7-7 PRESIÓN Y TEMPERATURAS CRÍTICAS

Todo refrigerante, sea un solo elemento, un compuesto o una combinación de elementos, tiene entre sus características una presión y una temperatura arriba de las cuales no podrá estar en forma de líquido, sin importar qué tanto se aumente la presión. Este punto corresponde a la presión crítica y a la temperatura crítica del refrigerante. En la figura R7-4 se muestran algunas propiedades críticas

Las presiones y temperaturas que se ven en esa figura quedan muy por encima de las que se pueden encontrar en el condensador. Estos refrigerantes son estables químicamente entre los límites especificados. No tienen tendencia, en condiciones normales, a reaccionar con cualquiera de los materiales que se usan en la fabricación de los componentes del sistema de refrigeración, ni tampoco se descomponen químicamente. Si el refrigerante de un sistema fuera inestable, rápidamente se volvería inútil, porque una reacción química cambiará las características o propiedades críticas.

Las presiones y temperaturas que se ven en esa figura quedan muy encima de las que se pueden encontrar en el condensador. Estos refrigerantes son estables químicamente entre los límites especificados. No tienen tendencia, en condiciones normales, a reaccionar con cualquiera de los materiales que se usan en la fabricación de los componentes del sistema de refrigeración, ni tampoco se descomponen químicamente. Si el refrigerante de un sistema fuera inestable, rápidamente se volvería inútil, por que una reacción química cambiaría las características o propiedades del refrigerante. La descomposición de un refrigerante origina la presencia de gases incondensables, que provocan la presencia de altas presiones y temperaturas dentro del sistema, o de lodo que puede originar problemas mecánicos.

R7-8 PROPIEDADES FÍSICAS

FIGURA R7-4
Presiones y temperaturas críticas de algunos refrigerantes

Refrigerante	Presión crítica (psia)	Temperatura crítica (°F)
R-12	596.9	233.6
R-22	721.9	204.8
R-502	591	179.9

propiedad importante, en especial con las temperaturas extremadamente bajas, porque esta temperatura debe ser lo suficientemente más baja que cualquier temperatura prevista en el evaporador.

El calor latente del refrigerante que se escoja es, en general, alto, lo cual es una característica deseable para los sistemas de gran capacidad. Cuando el calor latente es alto, se hace circular menos refrigerante por cada ton de efecto refrigerante obtenido, y se puede emplear un compresor de menor caballaje. En sistemas de baja capacidad, el empleo de un refrigerante con bajo contenido de calor necesita de más circulación de refrigerante en comparación de uno cuyo refrigerante tenga mayor calor latente. El primer refrigerante hará también que sea más fácil el control del sistema, porque se necesitan dispositivos de control menos sensibles en un sistema por donde circule una gran cantidad de refrigerante.

La densidad y el volumen específico de un refrigerante son dos propiedades cuya relación es recíproca. Al comprar los refrigerantes para diversas aplicaciones, se debetener en cuenta sus ventajas y desventajas. Para utilizar tubos de menor diámetro para los refrigerantes se debería emplear un refrigerante con alta densidad o bajo volumen específico. La construcción de ese sistema cuesta menos, así como su instalación. En algunas instalaciones comerciales, donde hay mucha altura entre los componentes del sistema, puede ser conveniente usar un refrigerante con baja densidad y alto volumen específico. En esos sistemas se necesita menos presión para hacer circular al refrigerante a través de los componentes y tubería.

Dijimos antes que un refrigerante absorbe mucho más calor cuando pasa del estado líquido al vapor, que cuando absorbe calor siendo líquido o siendo vapor. Por lo tanto, es de gran importancia el punto de ebullición de un refrigerante, porque se debe evaporar con facilidad abajo de la temperatura a la que se tiene que enfriar el espacio o producto. Los refrigerantes que no tienen un punto de ebullición relativamente bajo necesitan que el compresor se trabaje a un alto vacío. Esto podría causar una disminución de la capacidad y eficiencia del sistema.

El punto de congelación del refrigerante es otra

FIGURA R7-5
Comparación entre vapores de refrigerantes a 5 °F.

Refrigerante	VOLUMEN ESPECIFICO	
	(pie ³ /lb)	DENSIDAD (lb/pie ³)
R-12	1.46	0.685
R-22	1.24	0.80
R-502	0.825	1.21

FIGURA R7-6
Comparación entre refrigerantes líquidos a 86 °F.

Refrigerante	VOLUMEN ESPECIFICO	
	(pie ³ /lb)	DENSIDAD (lb/pie ³)
R-12	0.0124	80.671
R-22	0.0136	73.278
R-502	0.0131	76.13

Las sustancias que se comparan deben tener una relación mutua en determinado punto. Los tres refrigerantes de la figura R7-5 se comparan en estado vapor a 5 °F (-15 °C).

La figura R7-6 da una comparación del volumen específico y la densidad de los tres refrigerantes mismos, en estado líquido a 86 °F (30 °C). Las temperaturas de 5 °F y 86 °F que se usaron para el vapor y el líquido en las figuras R7-5 y R7-6 se

clasifican como temperaturas base, estándar o de norma, en el ASHRAE Handbook of Fundamentals.

Una característica que también es importante en un refrigerante, es su baja solubilidad o miscibilidad con aceite, pero si es demasiado baja también puede originar problemas. La solubilidad o miscibilidad es la capacidad que tiene el refrigerante en estado líquido para mezclarse con el aceite necesario para lubricar las partes móviles del compresor. El aceite va a circular del condensador al receptor con un refrigerante altamente soluble, pasando por la tubería de líquido y el dispositivo medidor para llegar al evaporador.

Pero como el refrigerante se evapora en el evaporador se presenta otra situación, porque el aceite y el vapor de refrigerante no se mezclan con facilidad. El aceite que circula por el sistema puede seguir adelante hacia el compresor sólo si el vapor se mueve con la suficiente rapidez como para arrastrar al aceite con él, por el tubo de succión hasta el cárter del compresor. Si los tubos de vapor, sean el succión o el de gas caliente, corren en dirección horizontal, acostumbra a dimensionarlos de modo que el vapor viaje a una velocidad no menor que 750 pies por minuto (230 m/min). Cuando el vapor va por un tubo vertical hacia arriba, su velocidad no debe ser menor que 1,500 pies/min (460 m/min) para asegurar que el aceite también sea arrastrado hacia arriba. Este es el caso, por ejemplo, cuando el evaporador está colocado en algún lugar abajo del compresor o la unidad de condensación.

Cuando se usaban amoníaco o dióxido de azufre, la detección de fugas era bastante fácil, ya que sus olores peculiares los percibe cualquiera. Sin embargo, el confiar sólo en el olor para localizar fugas de esos refrigerantes puede ser decepcionante y a la vez peligroso.

Las fugas de amoníaco en un condensador enfriado por agua se pueden confirmar empleando papel tornasol, o de medición de pH, sumergido en el agua de salida del condensador. Las fugas en el resto del sistema se pueden localizar con el empleo de una bujía de azufre que, cuando se enciende, produce una nube blanca de humo cuando hay presencia de humos o vapores de amoníaco.

A la inversa, los escapes en un sistema que use dióxido de azufre como refrigerante se localizan empleando un trapo mojado con una solución de amoníaco y agua a un 25% aproximado de concentración. Se formará una nube de humo blanco cuando el trapo se acerque al escape de dióxido de azufre en el sistema. Con frecuencia, para localizar una fuga donde hay mucho vapor en el aire, se frota jabonadura en la zona sospechosa. Cuando el sistema todavía está a

presión, se formarán burbujas en el lugar de la fuga. Este método de detección no se debe usar si una parte del sistema está al vacío, porque el jabón y el agua pueden succionarse y entrar al sistema. La figura R7-7 muestra un detector de fugas de halógeno, que se ha empleado con éxito en sistemas de refrigerantes halogenados durante varios años. Este detector de gases consta de dos partes principales: el cilindro que contiene un gas, y la unidad detectora. El principio que se usa es que se succiona aire por la manguera de búsqueda, y pasa por una placa reactiva de cobre que se ha calentado al rojo con la flama de gas. Cuando se manipula la manguera de búsqueda de tal manera que se ponga en contacto con vapor de refrigerante que se escapa, dicho gas se succiona en la manguera. Al pasar a estar en contacto con la flama y la placa de reacción, el color de la misma cambia a un verde azulado o violeta. Para la mayor parte de las fugas, este detector trabaja

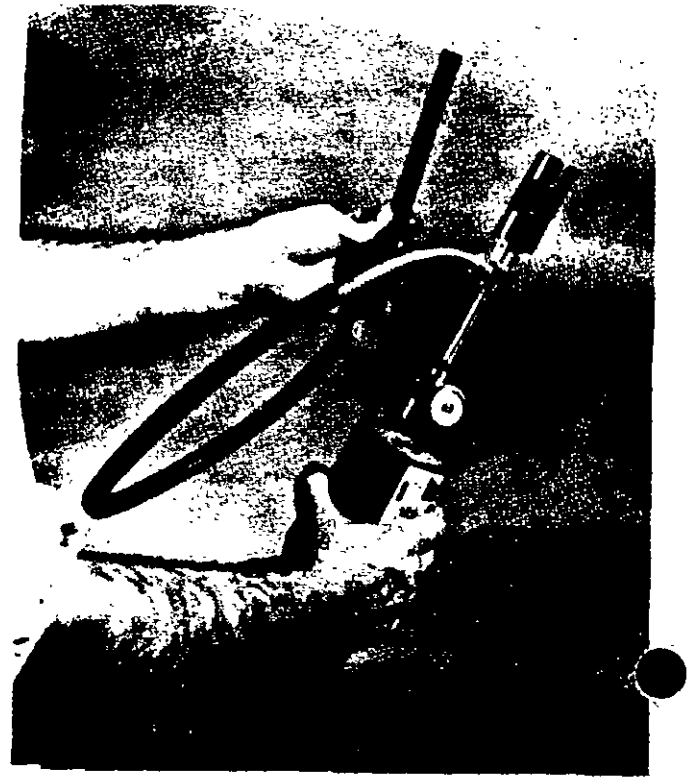


FIGURA R7-7 Detector de fugas de halogenuro.

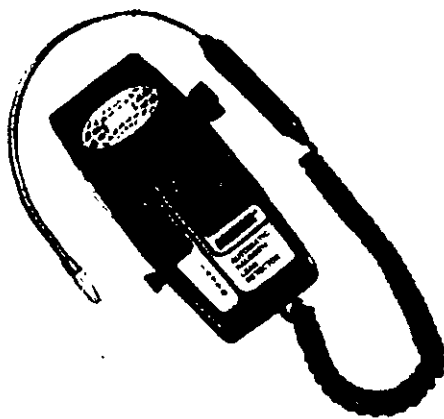


FIGURA R7-8 Detector electrónico de fugas. (Cortesía de Robinair Manufacturing Corporation.)

en forma satisfactoria. Sin embargo, no es tan sensible como los detectores electrónicos de fugas que se ven en las figuras R7-8 o R7-9. Este tipo de detector es capaz de descubrir fugas tan bajas como 15 gramos por año. Su uso ha ido en aumento en el campo debido a su sensibilidad. También se consigue como unidad operada por baterías. Algunas unidades tienen un ajuste doble de control: un selector Alto-Bajo y además una aguja de balanceo para control.

El detector contiene una bomba interna que succiona aire pasándolo por el sensor y por la manguera o tubo. Si hay algo de gas halogenado en el aire que pasa por los electrodos del elemento sensible, destellará una señal interconstruida. La frecuencia del destello aumentará dependiendo de la concentración del refrigerante en el aire. Si hay mucha concentración, el origen de la fuga se puede localizar con exactitud empleando adecuadamente el selector Alto-Bajo y también el control de balanceo. Este tipo de detector de fugas se puede modificar para producir una señal audible cuando haya fugas.

En la actualidad, la mayor parte de las unidades son montadas en una caja, tipo de bombeo para corriente alterna o directa, o bien son unidades manuales. Hay muchas unidades que tienen calibración automática o manual. La unidad que se ve en la figura R7-8 tiene una punta nueva que minimiza el principal dolor de cabeza que originan los detectores de fugas. La punta ya no necesita tener filtros. Si una gota de agua se pone en la corona de la punta, tan sólo agítela para desprenderla y la unidad volverá a trabajar. ¿Se ensució la punta? Lávela con solvente que se pueda evaporar y séquela.

R7-9 CLASIFICACIÓN DE LOS REFRIGERANTES

La figura R7-3 presentó una lista de algunos refrigerantes agrupados según sus limitaciones tóxicas, por los Underwriters' Laboratories. Los refrigerantes también los clasifica el National Refrigeration Safety Code en la norma ANSI B-9, en la que se separan en tres grupos de acuerdo a sus características de toxicidad y de riesgo de incendio. En base a bajo riesgo de incendio o baja toxicidad, en el grupo 1, que es el de los refrigerantes más seguros, están el R-12, R-22 y R-502. Los refrigerantes del grupo 11, que son tóxicos y algo inflamables, son, entre otros, el amoníaco (R-717) y el cloruro de metilo (R-40). El grupo 111, que es el de los refrigerantes inflamables, tiene, entre otros, al butano (R-600) y al propano (R-290).

Para seguridad personal y evitar daños posibles al equipo, se deben tener ciertas precauciones. El R-12, que se considera refrigerante seguro, puede causar la formación de vapores ácidos repugnantes si llega a una flama abierta. Una adecuada ventilación evitará la posibilidad de inhalar cantidades diminutas del gas fosgeno que es el que se produce. Por lo tanto, cuando se use un detector de fugas de halógeno, el usuario debe tener cuidado de no inhalar los humos que provengan del soplete.

Si la unidad de refrigeración está en un espacio cerrado, la zona debe ventilarse bien antes de pasar en ella un tiempo. Hasta un refrigerante de baja toxicidad puede ocasionar asfixia si el oxígeno del aire se sustituye por el vapor del refrigerante que se ha estado fugando de una unidad. El refrigerante líquido que cae en la piel puede originar congelamientos serios, porque el líquido se evapora rápidamente a la presión atmosférica extrayendo calor de la misma. Cuando se maneje refrigerante se deben usar anteojos protectores (goggles) para evitar la posibilidad de daños permanentes en caso que algo del refrigerante líquido caiga en los ojos.

Los refrigerantes no deben mezclarse en el campo, ya sea en el sistema o fuera de él. Para evitar la mezcla accidental, los cilindros de refrigerante tienen colores clave para la fácil identificación de su contenido, como por ejemplo:

R-12-Blanco R-22-Verde R-502--Orquídea



FIGURA R7-10 Válvula para vapor o líquido (Cortesía de E. I. Pont de Nemours and Company)

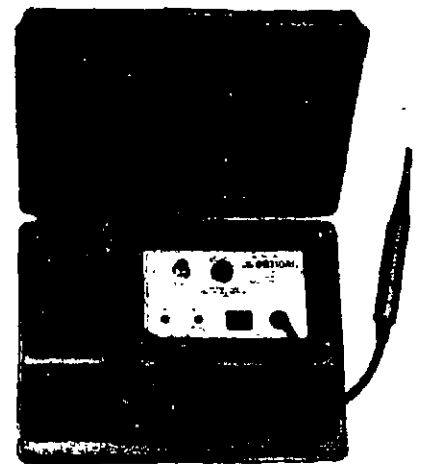
Sin embargo, lo escrito en la etiqueta debe ser el medio definitivo de identificar los contenidos.

El departamento estadounidense de transporte tiene reglas acerca de la fabricación, prueba, llenado y embarque de todos los recipientes de gases comprimidos que se transportan entre estados. Los recipientes o contenedores deben tener marcas de identificación estampadas en el metal; también se deben probar hidrostáticamente al principio y, si son retornables, se deben revisar a intervalos regulares. La mayor parte de los cilindros tienen válvulas de alivio incluidas para que se pueda reducir la presión en caso que el recipiente se exponga a temperaturas muy altas y haya peligro de explosión.

Muchos cilindros de refrigerante que se usan para almacenar o en el campo tienen válvulas que permiten sacar ya sea líquido o vapor. Estas válvulas hacen posible cargar un sistema o un tambor de servicio sin invertir el



(a)



(b)

FIGURA R7-9 Detectores electrónicos de fugas. (Cortesía de Rutchue Engineering Co., Inc.)

cilindro de almacenamiento, que era un procedimiento necesario antes de que se comenzaran a usar las válvulas combinadas. En la figura R7- 10 se muestra una de esas válvulas, y se ven los dos volantes. El volante para vapor está arriba de la válvula, en la posición acostumbrada; el volante para líquido está al lado y está fijo a un tubo que se sumerge y se prolonga hasta el fondo del cilindro. Los volantes están claramente identificados para mostrar si contro el flujo de refrigerante en forma líquida o en estado de vapor, y también tienen colores clave: azul para el vapor y rojo para el líquido.

Además de los cilindros mayores y recargables, también hay cilindros pequeños "desechables" como los que se ven en la figura R7-1 1. Son portátiles para uso en campo. Nunca trate de rellenar esos recipientes.

Los recipientes de refrigerante no se deben calentar a más de 52 °C (125 °F) y nunca se debe dirigir una flama hacia el cilindro. No se deben almacenar cerca de tubos calientes u otros dispositivos de calentamiento, ni tampoco dejarse en un vehículo de servicio cerrado bajo el sol, ya que en tales condiciones la temperatura puede alcanzar con facilidad los 70 °C (160 °F) o más. Si el recipiente, lleno de líquido, se deja calentar mucho, sus paredes quedarán deformadas por el líquido que se expande. No importa cuán resistentes sean esas paredes, pueden deformarse hasta cierto punto antes de explotar cuando la presión es demasiada. Ningún cilindro debe tener nunca más del 80% de su volumen lleno.

R7-10 CARACTERISTICAS PRESIÓN-TEMPERATURA

Se puede tener una comparación de las zonas de operación de los diversos refrigerantes que se usan, si se grafican en la misma figura sus curvas de presión-temperatura (figura R7-12). En esa figura vemos que en la zona de puntos de ebullición de 4 °C (40 °F), se podrían usar R- 12, R-22, R-502 o hasta R-40, R-717 o R-764. Sin embargo, la inflamabilidad o la toxicidad del R-764 (dióxido de azufre) y el ataque del R-717 (amoníaco) sobre el cobre y el aluminio descartan a esos refrigerantes. En la zona de puntos de ebullición de -29°C (-20 °F) a -7 °F (20 °F) se pueden usar los refrigerantes citados y la selección se hace en la misma base de eficiencia, toxicidad, inflamabilidad, etc. En este libro nos limitaremos a describir tres de los refrigerantes más difundidos: el R-12, R-22 y R-502.

En lugar de emplear la presentación en gráficas de las relaciones presión-temperatura, se usará la tabla acostumbrada de presión-temperatura que publican muchos fabricantes en la industria. La figura R7-13 muestra una tabla de éstas.

Empleando las mismas condiciones de fuente de calor y sumidero de calor que usamos para el agua, una fuente de calor a 10 °C (50 °F) con punto de ebullición de refrigerante de 24 °C (75 °F) y una temperatura de condensación del refrigerante de 100 °F (38 °C), obtenemos los siguientes resultados: Para el R-12, 37 psig para el punto de ebullición de 40 T y 117.2 psig para la temperatura de condensaci, Para el R-22, 68.5 psig para el punto de ebullición de 40 y 195.9 psig para la temperatura de condensación 100 °F. Para el R-502, 80.2 psig para el punto de ebullici a 40 T y 214.4 psig para la temperatura de condensaci de 100 °F

De lo anterior, vemos que los diversos refrigerantes tienen distintas presiones. Por lo tanto, no se pueden intercambiar, ni están diseñados para mezclarse, excepto en equipos específicos en los que se deben cumplir las especificaciones exactas de los fabricantes.



FIGURA R7-11 Cilindros desechables de freón (Cortesía de du Pont de Nemours and Company)

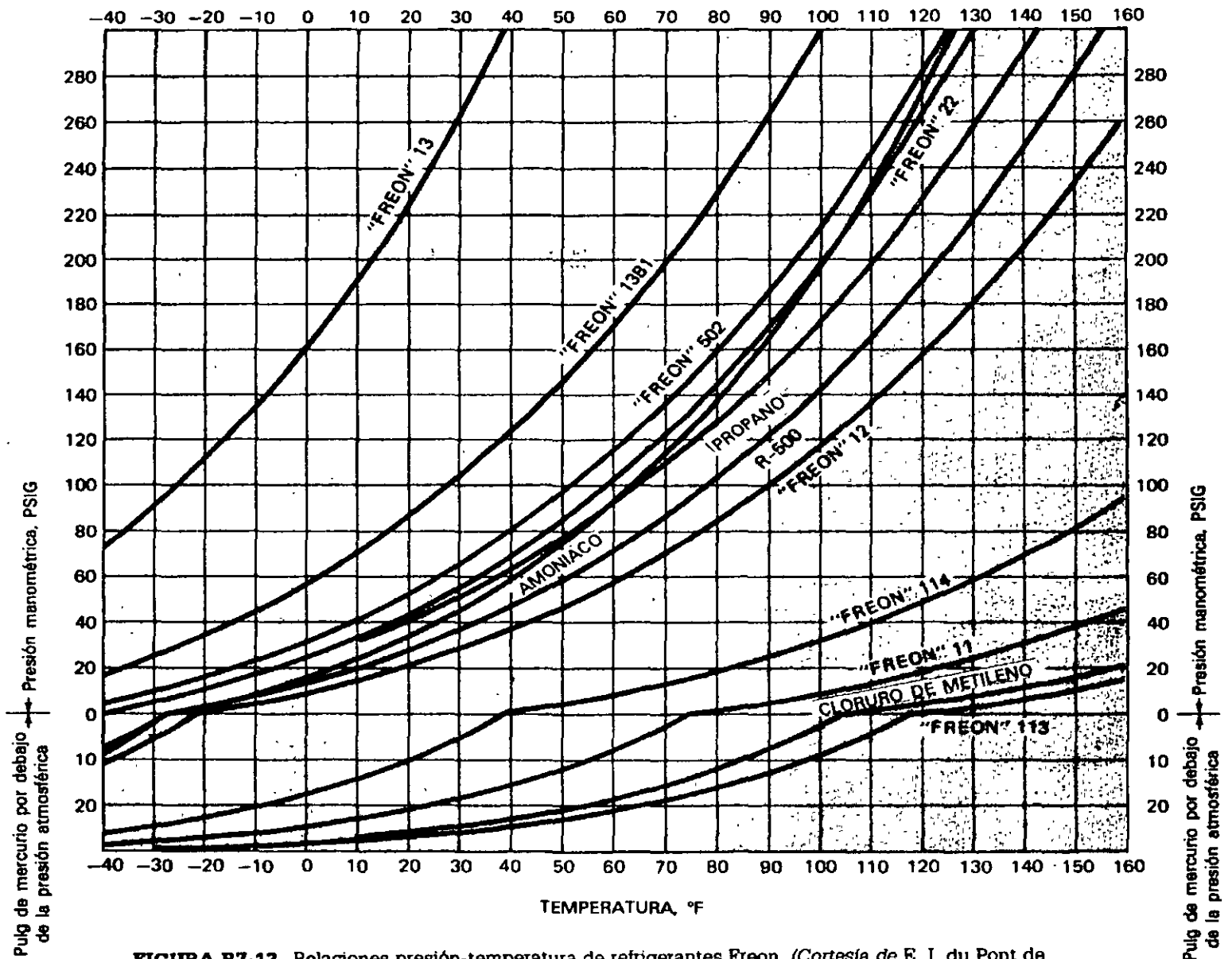


FIGURA R7-12 Relaciones presión-temperatura de refrigerantes Freon (Cortesía de E. I. du Pont de Nemours and Company.)

FIGURA R7-13
Tabla de presiones y temperaturas.

Temp F	PRESION MANOMETRICA, PSIG							
	11	12	13	22	113	114	500	502
-50	28.9*	15.4*	57.0	6.2*	—	27.1*	12.8*	0.0
-48	28.8*	14.6*	60.0	4.8*	—	26.9*	11.9*	0.7
-46	28.7*	13.8*	63.1	3.4*	—	26.7*	10.9*	1.5
-44	28.6*	12.9*	66.2	2.0*	—	26.5*	9.8*	2.3
-42	28.5*	11.9*	69.4	0.5*	—	26.3*	8.8*	3.2
-40	28.4*	11.0*	72.7	0.5	—	26.0*	7.6*	4.1
-38	29.3*	10.0*	76.1	1.3	—	25.8*	6.4*	5.1
-36	28.2*	8.9*	79.7	2.2	—	25.5*	5.2*	6.0
-34	28.1*	7.8*	83.3	3.0	—	25.2*	3.9*	7.0
-32	27.9*	6.7*	87.0	3.9	—	25.0*	2.6*	8.1
-30	27.8*	5.5*	90.9	4.9	29.3*	24.6*	1.2*	9.2
-28	27.7*	4.3*	94.9	5.9	29.3*	24.3*	0.1	10.3
-26	27.5*	3.0*	98.9	6.9	29.2*	24.0*	0.9	11.5
-24	27.4*	1.6*	103.0	7.9	29.2*	23.6*	1.6	12.7
-22	27.2*	0.3*	107.3	9.0	29.1*	23.2*	2.4	14.0
-20	27.0*	0.6	111.7	10.1	29.1*	22.9*	3.2	15.3
-18	26.8*	1.3	116.2	11.3	29.0*	22.4*	4.1	16.7
-16	26.6*	2.1	120.8	12.5	28.9*	22.0*	5.0	18.1
-14	26.4*	2.8	125.5	13.8	28.9*	21.6*	5.9	19.5
-12	26.2*	3.7	130.4	15.1	28.8*	21.1*	6.8	21.0
-10	26.0*	4.5	135.4	16.5	28.7*	20.6*	7.8	22.6
- 8	25.8*	5.4	140.5	17.9	28.6*	20.1*	8.8	24.2
- 6	25.5*	6.3	145.8	19.3	28.5*	19.6*	9.9	25.8
- 4	25.3*	7.2	151.1	20.8	28.4*	19.0*	11.0	27.5
- 2	25.0*	8.2	156.5	22.4	28.3*	18.4*	12.1	29.3
0	24.7*	9.2	162.1	24.0	28.2*	17.8*	13.3	31.1
2	24.4*	10.2	167.8	25.6	28.1*	17.2*	14.5	32.9
4	24.1*	11.2	173.7	27.3	28.0*	16.5*	15.7	34.8
6	23.8*	12.3	179.7	29.1	27.9*	15.8*	17.0	36.9
8	23.4*	13.5	185.8	30.9	27.7*	15.1*	18.4	38.9
10	23.1*	14.6	192.1	32.8	27.6*	14.4*	19.7	41.0
12	22.7*	15.8	198.5	34.7	27.5*	13.6*	21.2	43.2
14	22.3*	17.1	205.7	36.7	27.3*	12.8*	22.6	45.4
16	21.9*	18.4	211.9	38.7	27.1*	12.0*	24.1	47.7
18	21.5*	19.7	218.7	40.9	27.0*	11.1*	25.7	50.0
20	21.1*	21.0	225.7	43.0	26.8*	10.2*	27.3	52.5
22	20.6*	22.4	232.9	45.3	26.6*	9.3*	28.9	54.9
24	20.1*	23.9	240.2	47.6	26.4*	8.3*	30.6	57.5
26	19.7*	25.4	247.7	49.9	26.2*	7.3*	32.4	60.1
28	19.1*	26.9	255.4	52.4	26.0*	6.3*	34.3	62.8
30	18.6*	28.5	263.2	54.9	25.8*	5.2*	36.0	65.6
32	18.1*	30.1	271.2	57.5	25.6*	4.1*	37.9	68.4
34	17.5*	31.7	279.4	60.1	25.3*	2.9*	39.9	71.3
36	16.9*	33.4	287.7	62.8	25.1*	1.7*	41.9	74.3
38	16.3*	35.2	296.2	65.6	24.8*	0.6*	43.9	77.4
40	15.6*	37.0	304.9	68.5	24.5*	0.4	46.1	80.5
42	15.0*	38.8	313.9	71.5	24.2*	1.0	48.2	83.8
44	14.3*	40.7	322.9	74.5	23.9*	1.7	50.5	87.0
46	13.6*	42.7	332.2	77.6	23.6*	2.4	52.8	90.4
48	12.8*	44.7	341.5	80.8	23.3*	3.1	55.1	93.9

FIGURA R7-13 (Continuación)

Temp F	PRESION MANOMETRICA, PSIG							
	11	12	13	22	113	114	500	502
50	12.0*	46.7	351.2	84.0	22.9*	3.8	57.6	97.4
52	11.2*	48.8	360.9	87.4	22.6*	4.6	60.0	101.1
54	10.4*	51.0	371.0	90.8	22.2*	5.4	62.6	104.8
56	9.6*	53.2	381.2	94.3	21.8*	6.2	65.2	108.6
58	8.7*	55.4	391.6	97.9	21.4*	7.0	67.9	112.4
60	7.8*	57.7	402.3	101.6	21.0*	7.9	70.6	116.4
62	6.8*	60.1	413.3	105.4	20.6*	8.8	73.5	120.5
64	5.9*	62.5	424.3	109.3	20.1*	9.7	76.3	124.6
66	4.9*	65.0	435.4	113.2	19.7*	10.6	79.3	128.9
68	3.8*	67.6	446.9	117.3	19.2*	11.6	82.3	133.2
70	2.8*	70.2	458.7	121.4	18.7*	12.6	85.4	137.6
72	1.6*	72.9	470.6	125.7	18.2*	13.6	88.6	142.2
74	0.5*	75.6	482.9	130.0	17.6*	14.6	91.8	146.8
76	0.3	78.4	495.3	134.5	17.1*	15.7	95.1	151.5
78	0.9	81.3	508.0	139.0	16.5*	16.8	98.5	156.3
80	1.5	84.2	520.8	143.6	15.9*	18.0	102.0	161.2
82	2.2	87.2	534.0	148.4	15.3*	19.1	105.6	166.2
84	2.8	90.2	—	153.2	14.6*	20.3	109.2	171.4
86	3.5	93.3	—	158.2	13.9*	21.6	112.9	176.6
88	4.2	96.5	—	163.2	13.2*	22.8	116.7	181.9
90	4.9	99.8	—	168.4	12.5*	24.1	120.6	187.4
92	5.6	103.1	—	173.7	11.8*	25.5	124.5	192.9
94	6.4	106.5	—	179.1	11.0*	26.8	128.6	198.6
96	7.1	110.0	—	184.6	10.2*	28.2	132.7	204.3
98	7.9	113.5	—	190.2	9.4*	29.7	136.9	210.2
100	8.8	117.2	—	195.9	8.6*	31.2	141.2	216.2
102	9.6	120.9	—	201.8	7.7*	32.7	145.6	222.3
104	10.5	124.6	—	207.7	6.8*	34.2	150.1	228.5
106	11.3	128.5	—	213.8	5.9*	35.8	154.7	234.9
108	12.3	132.4	—	220.0	4.9*	37.4	159.4	241.3
110	13.1	136.4	—	226.4	4.0*	39.1	164.1	247.9
112	14.2	140.5	—	232.8	3.0*	40.8	169.0	254.6
114	15.1	144.7	—	239.4	1.9*	42.5	173.9	261.5
116	16.1	148.9	—	246.1	0.8*	44.3	179.0	268.4
118	17.2	153.2	—	252.9	0.1	46.1	184.2	275.5
120	18.2	157.7	—	259.9	0.7	48.0	189.4	282.7
122	19.3	162.2	—	267.0	1.3	49.9	194.8	290.1
124	20.5	166.7	—	274.3	1.9	51.9	200.2	297.6
126	21.6	171.4	—	281.6	2.5	53.8	205.8	305.2
128	22.8	176.2	—	289.1	3.1	55.9	211.5	312.9
130	24.0	181.0	—	296.8	3.7	58.0	217.2	320.8
132	25.2	185.9	—	304.6	4.4	60.1	223.1	328.9
134	26.5	191.0	—	312.5	5.1	62.3	229.1	337.1
136	27.8	196.1	—	320.6	5.8	64.5	235.2	345.4
138	29.1	201.3	—	328.9	6.5	66.7	241.4	353.9

* Pulgadas de mercurio menos que una atmósfera

Fuente: The DuPont Company

PROBLEMAS

- R7-1. Describir el papel principal de un refrigerante.
- R7-2. El calor que absorbe un refrigerante que se evapora se llama
- R7-3. ¿En cuáles dos categorías se pueden clasificar las propiedades de un refrigerante?
- R7-4. ¿De qué color arderá la flama de un soplete de halógeno cuando haya refrigerantes hlogenados?
- R7-5. ¿Qué detectores de fugas se pueden usar en vez de un soplete de halógeno?
- R7-6. Los cilindros de refngerante nunca deben llenarse a más del _____% de su volumen.
- R7-7. Los cilindros de refngerante no deben calentarse a una temperatura mayor que _____°F
- R7-8. ¿Cuáles son los colores que identifican al R-12, R-22 yR-502?
- R7-9. Con la tabla de bolsillo de presión-temperatura, encuentre la presión necesaria para mantener un punto de ebullición de 45 °F en un evaporador, empleando R-22.
- R7-10. ¿Cuál es la temperatura de condensación en un sistema de refrigeración que usa R-1 2 y trabaja a una presión de descarga de 146.8 psig?



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

DIAGRAMAS PRESIÓN - ENTALPÍA

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

DIAGRAMAS PRESIÓN-ENTALPÍA

----- R-8

R8-1 EFECTO DE REFRIGERACIÓN

Si se va a llevar a cabo un trabajo específico en un sistema o ciclo de refrigeración, cada libra de refrigerante que circule en el sistema debe hacer su parte del trabajo. Debe absorber una cantidad de calor en el evaporador o serpentín de enfriamiento, y disipar ese calor, y algo más que le agrega el compresor, para sacarlo por el condensador, sea enfriado por aire, por agua, o por evaporativo. El trabajo efectuado por cada libra del refrigerante al pasar por el evaporador se refleja por la cantidad de calor que saca de la carga de refrigeración, principalmente cuando el refrigerante pasa por un cambio de estado líquido a estado vapor.

Como se dijo en el capítulo R2, para que un líquido pueda cambiar a vapor se le debe agregar calor, o debe absorberlo. Esto es lo que sucede, o debería suceder, en el serpentín de enfriamiento. El refrigerante entra al dispositivo medidor en estado líquido y pasa por él hacia el evaporador, donde absorbe calor al evaporarse y pasar a gas. Como vapor, sigue su camino por el tubo de succión al compresor. En éste, se comprime pasando de un estado a baja temperatura y baja presión, a uno de vapor de alta temperatura y alta presión; a continuación pasa por el tubo de alta presión o de descarga al condensador, donde sufre otro cambio de estado: de vapor a líquido, y como líquido sale por el tubo de líquido y de nuevo pasa al dispositivo medidor para iniciar otro viaje por el evaporador. En la figura R8-1 se muestra un esquema de un ciclo sencillo de refrigeración, que describe este proceso.

Cuando el refrigerante en estado líquido deja el condensador puede pasar a un recibidor donde permanece hasta que se le necesite en el evaporador, o bien puede pasar en forma directa por el tubo de líquido al dispositivo de medición y después al serpentín del evaporador. El líquido que entra al dispositivo medidor inmediatamente antes del serpentín evaporador tendrá determinado contenido de calor o entalpía, que depende de su temperatura de entrada, como se ve en las tablas de refrigerante del Apéndice. El vapor que sale del evaporador también tendrá determinado contenido calorífico o entalpía según su temperatura, como se indica en las tablas de refrigerantes.

La diferencia entre esas dos cantidades de contenido de calor es la cantidad de trabajo que hace cada libra de refrigerante al pasar por el evaporador y recoger calor allí. La cantidad de calor absorbida por cada libra de refrigerante se llama efecto refrigerante del sistema, o efecto del refrigerante dentro del sistema.

Este efecto de refrigeración se evalúa en Btu por libra de refrigerante (Btu/lb); si se conoce la carga térmica total, expresada en Btu/hora, podemos calcular el número total de libras de refrigerante que se deben circular cada hora de funcionamiento del sistema. Esta cifra se puede descomponer más en la cantidad que debe circular cada minuto, dividiendo la cantidad que circula por hora entre 60.

EJEMPLO

Si el calor total que se debe sacar de la carga es 60,000 Btu/hr y el efecto de refrigeración en el evaporador es igual a 50 Btu/lb, entonces

$$(60,000 \text{ Btu/hr}) / 50 \text{ Btu/lb} = 1200 \text{ lb/hr, o sea } 20 \text{ lb/min}$$

Como 12,000 Btu/hr es igual a 1 ton de refrigeración, las 60,000 Btu/hr del ejemplo anterior son iguales a 5 ton de refrigeración, y las 20 lb de refrigerante que se deben circular cada minuto son el equivalente a 4 lb/min/ton de refrigeración. (Una ton de refrigeración durante 24 horas es igual a 288,000 Btu.)

En este ejemplo, en el que se necesitan 20 lb de refrigerante con un efecto de refrigeración de 50 Btu/lb para manejar la carga especificada de 60,000 Btu/hr, se pueden obtener también esos resultados de otra manera. Como se mencionó antes, se necesitan 12,000 Btu/hora para igualar 1 ton de refrigeración, que es igual a su vez a 200 Btu/min/ton.

Por lo tanto, al dividir 200 Btu/min entre el efecto refrigerante de 50 Btu/lb, se llega a 4 lb de refrigerante/min. Este cálculo se representa mediante la ecuación

$$W = 200 / NRE$$

en la cual

W = peso del refrigerante circulado por minuto, lb/min

200 = 200 Btu/min, el equivalente a 1 ton de refrigeración

NRE = efecto neto de refrigeración, Btu/lb de refrigerante

Debido al orificio pequeño del dispositivo de medición, de lo cual hablaremos con más detalle en un capítulo posterior, cuando el refrigerante comprimido pasa de la abertura pequeña del dispositivo al tubo mayor del evaporador,

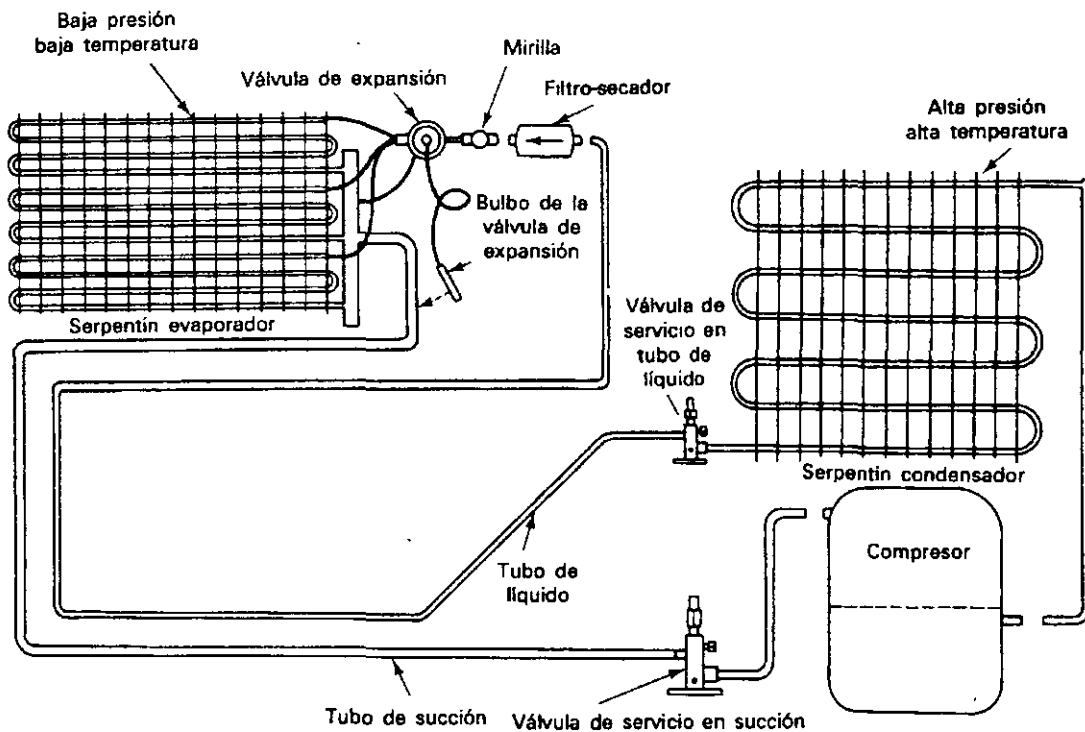


FIGURA R8-1 Esquema de un ciclo simple de refrigeración

se lleva a cabo un cambio de presión junto con un cambio de temperatura. El cambio de temperatura se efectúa debido a la evaporación de una pequeña parte, un 13%, del refrigerante, y en este proceso de evaporación el calor que interviene se toma del resto del refrigerante.

En la tabla del R-12 saturado en el Apéndice se puede ver que el contenido calorífico de líquido a 100 °F es 31.10 Btu/lb, y el de líquido a 40 °F es 17.27 Btu/lb. Esto indica que hay que extraer 13.83 Btu/lb de cada libra de refrigerante que entra

al evaporador. El calor latente de evaporación del R-12 a 40 °F, según las tablas del apéndice, es 64.17 Btu/lb, y la diferencia entre esta cantidad y la que cede cada libra de refrigerante cuando disminuye la temperatura de líquido de 100 °F a 40 °F (13.83 Btu/lb) es 50.34 Btu/lb. Es otro método de calcular el efecto de refrigeración, o el trabajo que efectúa cada libra de refrigerante bajo las condiciones dadas.

La capacidad del compresor debe ser tal que extraiga del evaporador la cantidad de refrigerante que se evapora en el evaporador y en el dispositivo de medición para dar el trabajo necesario efectuado. Los ejemplos anteriores han mostrado que se deben extraer 3.07 pies'/min del evaporador para efectuar 1 ton de refrigeración bajo las condiciones especificadas; por lo tanto, cuando la carga total es igual a 5 tons, entonces se deben extraer del evaporador 5 veces 3.07 pies'/min, o sea 15.35 pies'/min. El compresor debe ser capaz de extraer y mandar al condensador el mismo peso de vapor de refrigerante, para que se pueda condensar de nuevo al estado líquido y así pueda continuar en el circuito o ciclo de refrigeración para llevar a cabo más trabajo.

Si el compresor, debido a su diseño o velocidad, no puede sacar este peso, algo del vapor quedará en el evaporador. Este, a su vez, originará un aumento de temperatura y una disminución del trabajo efectuado por el refrigerante, y no se mantendrán las condiciones de diseño en el espacio refrigerado.

Cambio de escala

Diagrama de presión-entalpía

-30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160

REFRIGERANTE R-12

Temperaturas en °F. Entropías en Btu/lb °R

Volúmenes en pie³/lb

E. I. du Pont de Nemours & Company

"FREON" PRODUCTS DIVISION

WILMINGTON, DELAWARE 19898

Temperatura constante
Entropía constante

Presión, PSIA

Líquido saturado

Vapor saturado

Calidad constante

-30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160

Cambio de escala

Entalpía (Btu/lb sobre el líquido saturado a -40°F)

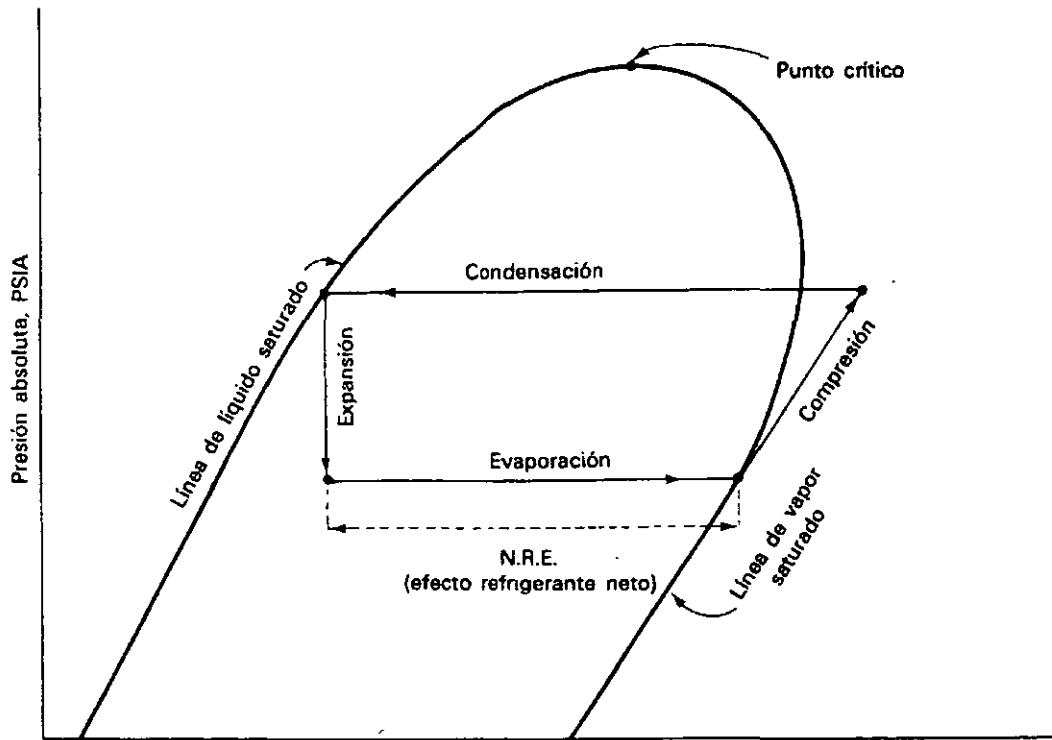


FIGURA R8-3 Entalpía, Btu/lb.

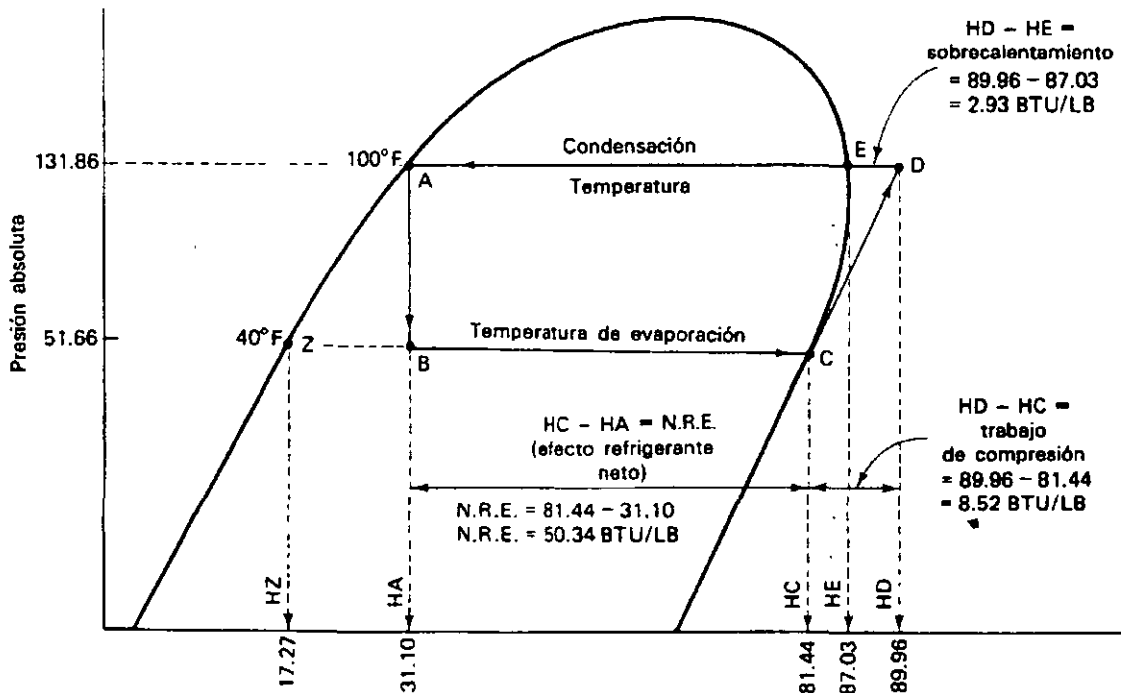


FIGURA R8-4 Entalpía, Btu/lb.

Un compresor demasiado grande sacará el refrigerante del evaporador de modo muy rápido, originando una disminución de la temperatura en el interior del evaporador y, entonces no se mantendrán tampoco en este caso las condiciones de diseño.

Para que se mantengan las condiciones de diseño en un circuito de refrigeración debe haber un equilibrio entre las necesidades del serpentín evaporador y la capacidad del compresor. Esta capacidad depende de su desplazamiento y eficiencia volumétrica. El desplazamiento medido de un compresor depende del número de cilindros, su diámetro y carrera, y de la velocidad a la que gira el compresor. La eficiencia volumétrica depende de las presiones absolutas de

succión y descarga bajo las que opera el compresor. En un capítulo posterior se presentará una descripción detallada y elaborada de estas condiciones acerca del desplazamiento y de las variables que influyen sobre la eficiencia volumétrica, junto con ecuaciones y otros datos.

R8-2 DIAGRAMAS DE CICLO

La figura R8-1 muestra un esquema de diagrama de flujo de un ciclo básico de refrigeración, donde se muestran los cambios de fases y los procesos. Primero el refrigerante pasa del estado líquido al estado vapor al absorber calor en el serpentín evaporador. La etapa de compresión, donde aumenta la temperatura y presión del vapor del refrigerante sigue a continuación; después el refrigerante cede su calor en el condensador, al medio de enfriamiento, y el vapor de refrigerante se condensa de nuevo a su estado líquido y queda listo para usarse de nuevo en el ciclo.

La figura R8-2 es una reproducción de un diagrama Mollier, que con frecuencia se le llama gráfica P-h, para el R-12; se ven las características de presión, contenido de calor y temperatura de ese refrigerante. Los diagramas presión-entalpía se pueden usar para graficar el ciclo que se ve en la figura R8-1, pero se podría usar una gráfica básica o de cartabón como la de la figura R8-3 como presentación preliminar de las diversas fases del circuito del refrigerante. Hay tres zonas básicas en la gráfica, que representan cambios de estado entre la línea de líquido saturado y la del vapor saturado al centro de la gráfica. La zona a la izquierda de la línea de líquido saturado es la zona de sobreenfriamiento, en la que el refrigerante líquido se ha enfriado por abajo de la temperatura que corresponde a su presión; mientras que la zona a la derecha de la línea de vapor saturado es la de sobrecalentamiento, en la que el vapor del refrigerante se ha calentado más allá de la temperatura de evaporación que corresponde a su presión.

La construcción del diagrama, o más bien, el conocimiento y comprensión de éste, traerá una interpretación más clara de lo que sucede al refrigerante a las diversas etapas en el ciclo de refrigeración. Si se conocen el estado y dos propiedades cualesquiera del refrigerante y se pueden ubicar en la gráfica, las demás propiedades se pueden determinar con facilidad.

Si el punto se ubica en cualquier lugar entre las líneas de líquido y vapor saturados, el refrigerante estará en forma de una mezcla de líquido y vapor. Si la ubicación se acerca más a la línea de líquido saturado, en la mezcla habrá más líquido que vapor, y un punto ubicado en el centro de la zona a determinada presión indica que se trata de una mezcla líquido-vapor 50%-50%.

En cuanto a la figura R8-3, el cambio de estado de vapor a líquido, que es el proceso de condensación, se presenta como la trayectoria que el ciclo desarrolla de derecha a izquierda; mientras que el cambio de estado, líquido a vapor, que es el proceso de evaporación, va de izquierda a derecha. La presión absoluta aparece en el eje vertical de la izquierda, y el eje horizontal indica el contenido de calor, o entalpía, en Btu/lb.

La distancia entre las dos líneas de saturación a presión dada, trasladada a la línea de contenido de calor equivale al calor latente de evaporación del refrigerante a la presión absoluta dada. La distancia entre las dos líneas de saturación no es la misma a todas las presiones, ya que no son curvas paralelas. Por lo tanto, hay variaciones en el calor latente de evaporación del refrigerante, que dependen de la presión absoluta. También hay variación en las tablas de presión-entalpía de los diversos refrigerantes y esas variaciones dependen de las diversas propiedades de refrigerantes.

R8-3 PROCESOS DE REFRIGERACION

En base a los procesos que se presentaron antes en este capítulo, se supondrá que no hay cambios de temperatura del refrigerante líquido condensado después de salir del condensador y pasar por el tubo de líquido en su camino al dispositivo de expansión o de medición, ni en la temperatura del vapor del refrigerante después que sale del evaporador y pasa por el tubo de succión para entrar al compresor.

La figura R8-4 muestra las fases del ciclo saturado simple con la identificación adecuada de presiones, temperaturas y contenido calorífico o entalpía. Se debe escoger un punto de partida en el ciclo del refrigerante; sea el punto A en la línea de líquido saturado en la que todo el vapor del refrigerante a 100 °F se ha condensado en líquido a 100 °F que está a la entrada del dispositivo medidor. Lo que sucede entre los puntos A y B es el proceso de expansión, cuando el refrigerante pasa por el dispositivo de medición; la temperatura del refrigerante se baja desde la temperatura de condensación de 100 °F a la temperatura de evaporación de 40 °F.

Cuando la línea vertical A-B, el proceso de expansión se prolonga hacia abajo hasta llegar al eje horizontal, se obtiene una lectura de 31.10 Btu/lb, lo cual es el contenido de calor del líquido a 100 °F. A la izquierda del punto B en la línea de líquido saturado está el punto Z, que también es, la línea de 40 °F de temperatura. Partiendo del punto Z hacia abajo en sentido vertical hasta llegar al eje de contenido de calor, se obtiene una lectura de 17.27 Btu/lb, que es el contenido de calor del líquido a 40 °F; la zona entre los puntos Z y B se describirá después en este capítulo.

La línea horizontal entre los puntos B y C indica el proceso de evaporación en el evaporador, en el que el líquido a 40 °F absorbe el calor suficiente para evaporarse. El punto C está en la línea de vapor saturado, lo que indica que el refrigerante se ha evaporado por completo y está listo para el proceso de compresión. Una línea trazada en sentido vertical hacia abajo hasta llegar al eje de la entalpía indica el contenido de calor, que se representa en h_c , y es

81.44 Btu/lb. La diferencia entre h_a y h_c es 50.34 Btu/lb, que es el efecto de refrigeración, como se vio en un ejemplo anterior.

La diferencia entre los puntos h_a y h_c , medida sobre el eje de entalpías, es igual a 64.17 Btu/lb, y es el calor latente de evaporación de 1 lb de R-12 a 40 °F. Esta cantidad de calor también presenta el efecto refrigerante, pero se debe evaporar algo del refrigerante a 100 °F para que lo que resta de cada libra de R-12 baje su temperatura de 100 °F a 40 °F.

Las diversas propiedades de los refrigerantes, que se mencionaron antes, probablemente se deban profundizar antes de proseguir con la descripción del proceso de compresión. Todos los refrigerantes presentan ciertas propiedades cuando están en estado gaseoso; algunas de esas propiedades son: volumen, temperatura, presión, entalpía contenido calorífico, y entropía. Esta última propiedad, la entropía, en realidad es la más difícil de describir o definir. Es el cociente del contenido calorífico del gas entre su temperatura absoluta en grados Rankine, y se relaciona con la energía interna del gas.

El diagrama Mollier grafica la línea de entropía constante, que queda igual, siempre que el gas se comprima sin agregar o retirar calor de o al exterior. Cuando la entropía es constante, el proceso de compresión se llama adiabático. Esto quiere decir que el gas cambia sus propiedades sin absorber o ceder calor, ya sea de o hacia una fuente o sustancia externa. Se acostumbra, al estudiar los ciclos de refrigeración, graficar la línea de compresión ya sea a lo largo o paralela a una línea de entropía constante.

En la figura R8-4, la línea C-D representa al proceso compresión, en el que aumentan la presión y temperatura del vapor desde las que hay en el evaporador hasta las del condensador, suponiendo que no haya entrada de calor en tubo de succión entre el evaporador y el compresor. Para la temperatura de condensación de 100 °F, es probable que un manómetro indique unas 117 psig; pero la gráfica P-h está en función de presiones absolutas. Se debe sumar una presión atmosférica de 14.7 psi a las psig, y con ello se obtienen 131.86 psia.

El punto D llevado al eje de las presiones absolutas equivale a la temperatura de condensación de 100 °F; no está en la línea de vapor saturado, sino a la derecha, en la zona de sobrecalentamiento, en la intersección de la línea de 131.86 psia, la línea de entropía constante a 40 °F y la línea de temperatura de unos 116 °F. Una recta vertical hacia abajo desde el punto D cruza al eje de contenido de calor a 89.96 Btu/lb, que es h_d ; la diferencia entre h_c y h_d es 8.52 Btu/lb, el calor de compresión que se ha agregado al vapor. Esta cantidad de calor es la energía térmica equivalente al trabajo efectuado durante la etapa de compresión ciclo. Es la temperatura teórica de descarga, suponiendo entrar vapor saturado al ciclo; en la operación real, la temperatura de descarga puede ser de 20 a 35 °F mayor que la teórica. Esto se puede comprobar en un sistema en funcionamiento fijando un termómetro o termopar a la salida a válvula de servicio en el compresor.

Durante el proceso de compresión, el calor que absorbe el vapor es resultado de la fricción del pistón en los cilindros y por el vapor mismo que pasa por las pequeñas aberturas de las válvulas internas de succión y descarga. Naturalmente, el vapor también se calienta por la acción de sus moléculas que se comprimen entre sí, y a lo cual se llama calor de compresión. Algo de este calor adicional se pierde a través de las paredes del compresor. Por lo tanto, mucho depende del diseño del compresor, de las condiciones bajo las cuales deba trabajar y del equilibrio entre la ganancia y la pérdida de calor, para mantener al refrigerante a una entropía constante.

La línea D-E representa la cantidad de sobrecalentamiento que se debe eliminar del vapor antes de poder comenzar el proceso de condensación. Una recta vertical hacia abajo desde el punto E hasta el punto h, en el eje de contenido calorífico indica la distancia $h_d - h_e$, o sea 2.93 Btu/lb de calor, ya que el contenido de calor del vapor a 100 °F es 87.03 Btu/lb. Este sobrecalentamiento se elimina normalmente en el tubo de descarga de gas caliente o en la parte superior del condensador. Durante este proceso, la temperatura del vapor disminuye hasta la temperatura de condensación.

La línea E-A representa el proceso de condensación que se efectúa en el condensador. En el punto E el refrigerante es un vapor saturado a la temperatura de condensación de 100 °F y a una presión absoluta de 131.86 psia; la misma presión y temperatura prevalecen en el punto A, pero el refrigerante está ahora en estado líquido. A cualquier otro punto de la línea E-A el refrigerante se encuentra en una mezcla de fases líquida y vapor; mientras más cerca esté del punto A, mayor será la cantidad de refrigerante que se ha condensado al estado líquido. En el punto A, cada libra de refrigerante está lista para pasar de nuevo al ciclo de refrigeración, cuando se le necesite para eliminar calor de la carga en el evaporador.

R8-4 COEFICIENTE DE OPERACIÓN

Hay dos factores que se mencionaron antes en este capítulo que son de la mayor importancia para decidir qué refrigerante se debe usar para determinado proyecto de remoción de calor. Normalmente, a esta decisión se llega

durante las fases de diseño del sistema de refrigeración y acondicionamiento del aire, pero ahora lo explicaremos en forma breve, y después ahondaremos en él.

Los dos factores que determinan el coeficiente de operación (COP) de un refrigerante son el efecto refrigerante y el calor de compresión. La ecuación se puede escribir en, la siguiente forma:

$$\text{COP} = \text{efecto de refrigeración} / \text{calor de compresión}$$

Sustituyendo los valores del diagrama P-h del ciclo sencillo saturado que se presentó antes, la ecuación sería:

$$\text{COP} = h_c - h_a / h_d - h_c = 50.34 / 8.52 = 5.91$$

El coeficiente de operación es por lo tanto una medida de la eficiencia de un ciclo de refrigeración en el uso de energía gastada durante el proceso de compresión en relación a la energía absorbida en el proceso de evaporación. Como se puede ver en la ecuación (R8-2), mientras menos energía se gaste en el proceso de compresión, mayor será el COP del sistema de refrigeración. Por lo tanto, el refrigerante que tenga el mayor COP es el que probablemente se seleccionará, siempre y cuando las demás cantidades y factores permanezcan iguales.

R8-5 EFECTOS SOBRE LA CAPACIDAD

Los diagramas de presión-entalpía de las figuras R8-4 y R8-5 muestran una comparación de dos ciclos saturados sencillos que tienen distintas temperaturas de evaporación, con objeto de examinar varias diferencias en otros aspectos del ciclo. Para que se pueda hacer una comparación aproximada mediante un cálculo matemático, los ciclos de las figuras R8-4 y R8-5 tienen la misma temperatura de condensación, pero la temperatura de evaporación disminuirá 20 °F. Los datos pueden obtenerse o comprobarse en la tabla para el R-12 del Apéndice; pero tomaremos los valores de A, B, C, D y E de la figura R8-4 como el ciclo modelo para compararlo con el de la figura R8-5, la que tiene evaporador a 20 °F. Se compararán el efecto refrigerante, calor de compresión y calor disipado en el condensador en cada uno de esos ciclos. Esta comparación se basará en los datos del eje de entalpía o contenido de calor, en Btu/lb.

Para el ciclo de temperatura de evaporación 20 °F que se ve en la figura R8-5:

$$\begin{aligned} \text{efecto refrigerante neto } (h_c' - h_a) &= 48.28 \text{ Btu/lb} \\ \text{calor de compresión } (h_d' - h_c') &= 10.58 \text{ Btu/lb} \end{aligned}$$

Al comparar los datos anteriores con los del ciclo con 40 °F de temperatura de evaporación (figura R8-4), vemos que hay una disminución de 4% en el efecto neto de refrigeración, y un aumento de 28% en el calor de compresión. Habrá algo de aumento en el sobrecalentamiento, que se debe eliminar ya sea en el tubo de descarga o en la parte superior del condensador. Es el resultado de una disminución de la temperatura de vapor en la succión, permaneciendo igual la temperatura de condensación.

Empleando la ecuación (R8-1) se verá que el peso del refrigerante que hay que circular por tonelada de refrigeración en un ciclo con temperatura de evaporación de 20 °F y de condensación de 100 °F es 4.14 lb/min/ton:

$$\begin{aligned} W &= 200 \text{ (Btu/min)} / \text{NRE (Btu/lb)} \\ &= 200 \text{ Btu/min} / 48.29 \text{ Btu/lb} \\ &= 4.14 \text{ lb/min} \end{aligned}$$

Esto, naturalmente, necesitaría de un compresor más grande, o que el compresor del mismo tamaño trabajara a mayores rpm.

La figura 8-6 muestra el ciclo original con una temperatura de evaporación de 40 °F, pero en el que se ha incrementado la temperatura de condensación a 120 °F

De nuevo, tomando los datos específicos en la línea de contenido de calor o entalpía, vemos ahora que para el caso de la temperatura de condensación de 120 °F, que $h_a = 36.01$, $h_c = 81.43$, $h_d = 91.33$ y $h_e = 88.61$, todos Btu/lb.

$$\begin{aligned} \text{efecto refrigerante neto } (h_c - h_a') &= 45.4 \text{ Btu/lb} \\ \text{calor de compresión } (h_d' - h_e') &= 9.90 \text{ Btu/lb} \end{aligned}$$

brecalentamiento en el condensador $(hd' - he') = 2.72 \text{ Btu/lb}$

n comparación con el ciclo que tiene la temperatura de condensación de 100°F , se puede calcular que dejando que temperatura del proceso de condensación aumente 20°F hay una disminución en el efecto refrigerante neto de 9.8% , aumento de 16.2% en el calor de compresión, y una disminución de 7.1% en el sobrecalentamiento que se debe eliminar ya sea en el tubo de descarga o en la parte superior del condensador.

Usando la ecuación (R8-1) se ve que con una temperatura de evaporación de 40°F y de condensación de 120°F , el peso del refrigerante que se debe circular es 4.4 lb/mm/ton . Esto indica que aproximadamente 11% más de refrigerante se debe circular para hacer la misma cantidad de trabajo que cuando la temperatura de condensación era 100°F .

Los dos ejemplos anteriores demuestran que para tener la mejor eficiencia de un sistema, la temperatura de succión debe ser tan alta como sea posible, y la de condensación tan baja como sea posible. Naturalmente, hay límites bajo los que pueden trabajar los sistemas de modo satisfactorio, y se deben tener en cuenta otros medios de aumentar la eficiencia. Lo que determina finalmente los límites de factibilidad son los aspectos económicos: costo + eficiencia de operación.

Pasando a la figura R8-7, después de haber terminado el proceso de condensación y que todo el refrigerante a 120°T está en estado líquido, si ese líquido se puede subenfriar al punto A' en la línea de 100°T , una diferencia de 20°T , el efecto neto de refrigeración $(h_1 - h_4)$ aumentará 4.91 Btu/lb . Este aumento en la cantidad de calor absorbido en el evaporador sin un aumento en el calor de compresión aumentará la COP del ciclo, ya que no hay aumento en el consumo de energía del compresor.

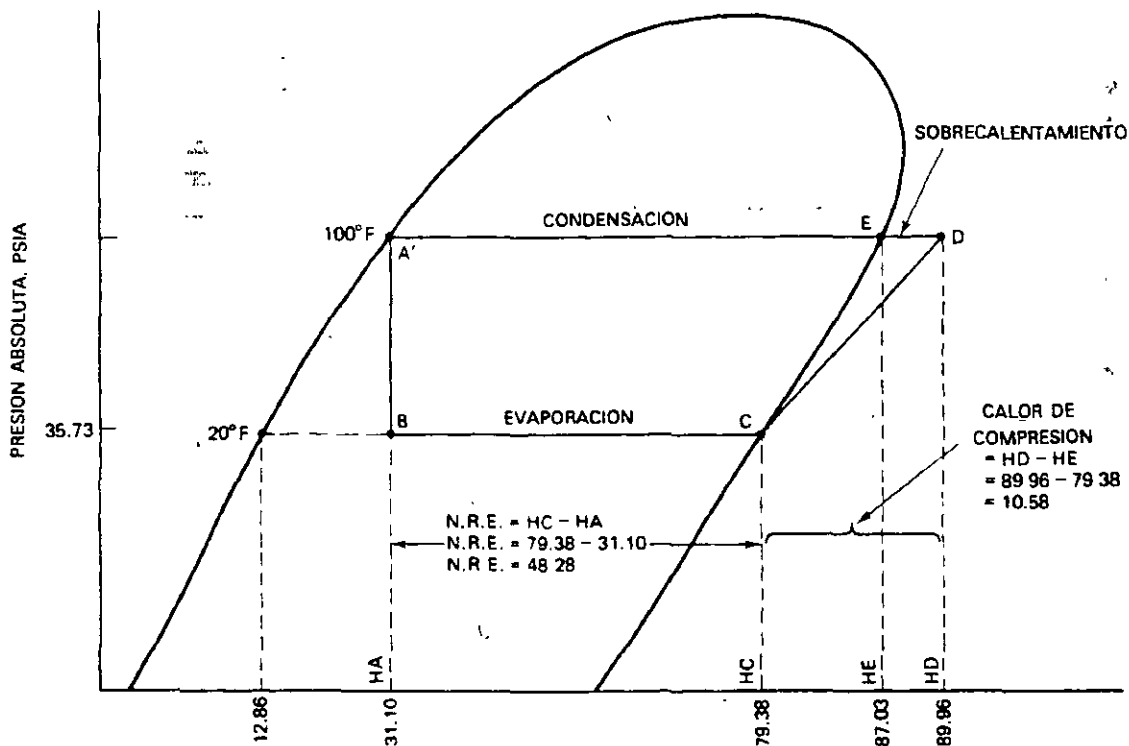


FIGURA R8-5 Entalpía, Btu/lb

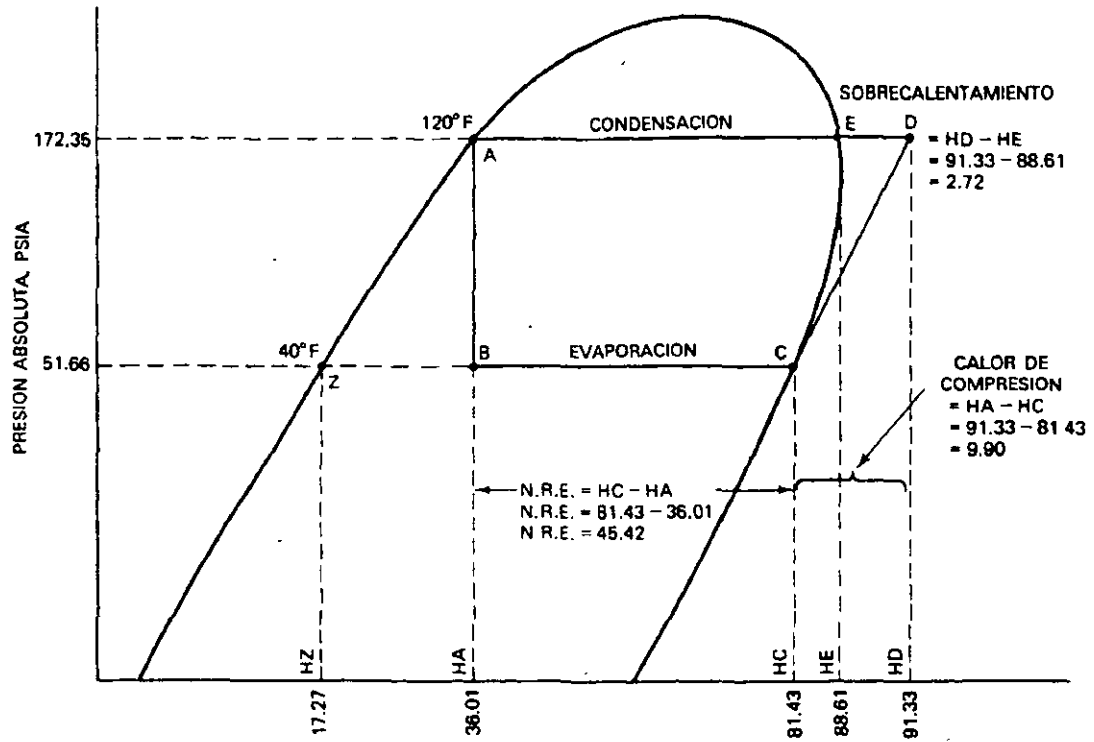


FIGURA R8-6 Entalpia, Btu/lb

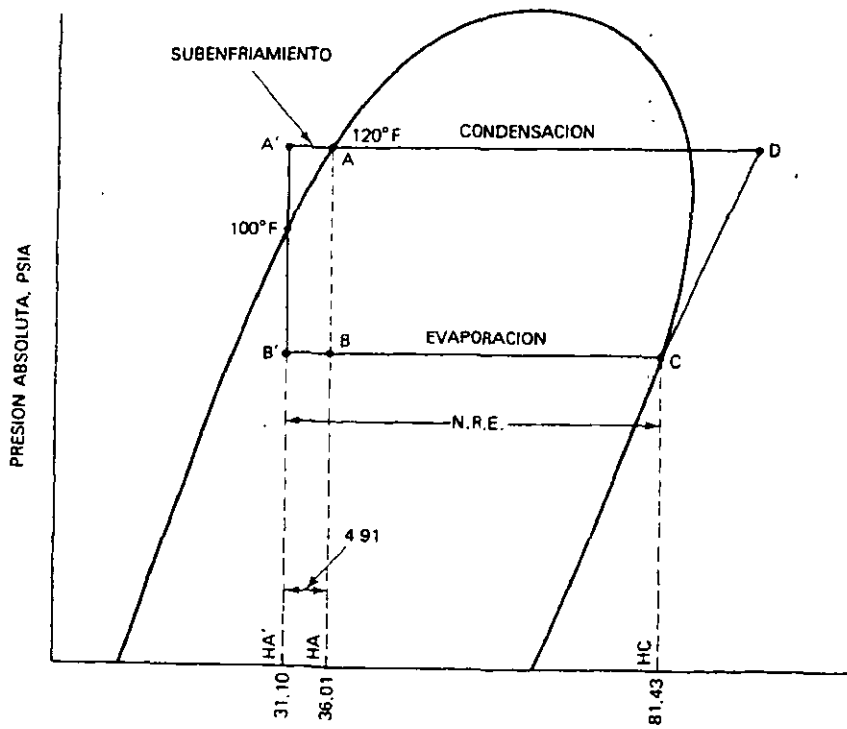


FIGURA R8-7 Entalpia, Btu/lb

Este subenfriamiento se llevará a cabo mientras el líquido está provisionalmente en almacenamiento en el condensador o recipiente, o bien, algo del calor del líquido se puede disipar a la temperatura ambiente al pasar por el tubo de líquido en su camino al dispositivo de medición. También el subenfriamiento se efectuará, en un sistema comercial enfriado por agua, si se usa un subenfriador líquido que, en una aplicación de baja temperatura, bien podría pagarse debido al aumento resultante de capacidad y eficiencia del sistema general de refrigeración.

Otro método de subenfriar el líquido es mediante un cambiador de calor entre los tubos de líquido y a la succión, en el que el calor del líquido se puede transferir al vapor a la succión, más frío, que va del evaporador al compresor. Este ciclo se muestra en la figura R8-8, un diagrama de flujo de ciclo de refrigeración en el que se usa un cambiador de calor entre líquido y vapor a la succión. Es verdad que el calor no puede eliminarse del líquido para agregarse después al vapor que va a la succión sin ciertos efectos negativos sobre el ciclo general de refrigeración. Por ejemplo, el vapor se sobrecalentaría, con lo que a su vez se originaría un aumento en el volumen específico de cada libra de vapor de refrigerante y en consecuencia una disminución de su densidad. Así, desaparecería cualquier ventaja del subenfriamiento en un ciclo saturado; pero, en un ciclo real, no existen las condiciones de un ciclo saturado sencillo.

En un ciclo normal, el vapor a la succión no llega al compresor en estado saturado. Se agrega sobrecalentamiento al vapor después de haber terminado el proceso de evaporación, ya sea en el evaporador o en el tubo de succión en ambos; y desde luego, en el compresor. Si este sobrecalentamiento sólo se agrega en el evaporador, contribuye a un enfriamiento útil, ya que también está eliminando calor la carga o producto, además del calor que fue eliminado durante el proceso de evaporación. Pero si el vapor sobrecalienta en el tubo de succión, que está fuera del espacio acondicionado, no se logra enfriamiento útil; embargo, esto es lo que sucede en la mayor parte, si no que en todos, los sistemas de refrigeración.

Ahora bien, si algo de este sobrecalentamiento en tubo de succión fuera estorbado mediante el uso de un cambiador de calor entre el líquido y la succión, este calor agregado al vapor sería benéfico, porque provendría del proceso de subenfriamiento del líquido. Por ejemplo, supongamos que la temperatura de succión en el evaporador fuera 40 °F; el vapor sobrecalentado que sale del evaporador puede estar a unos 50 °F y la temperatura del vapor que llega al compresor podría ser 75 °F o más, dependiendo de la temperatura ambiente alrededor del tubo de succión. Esto quiere decir que la temperatura del vapor ha aumentado 25 °F haciendo trabajo o enfriamiento útil, porque este calor se absorbe del aire ambiente fuera del espacio que se enfriará.

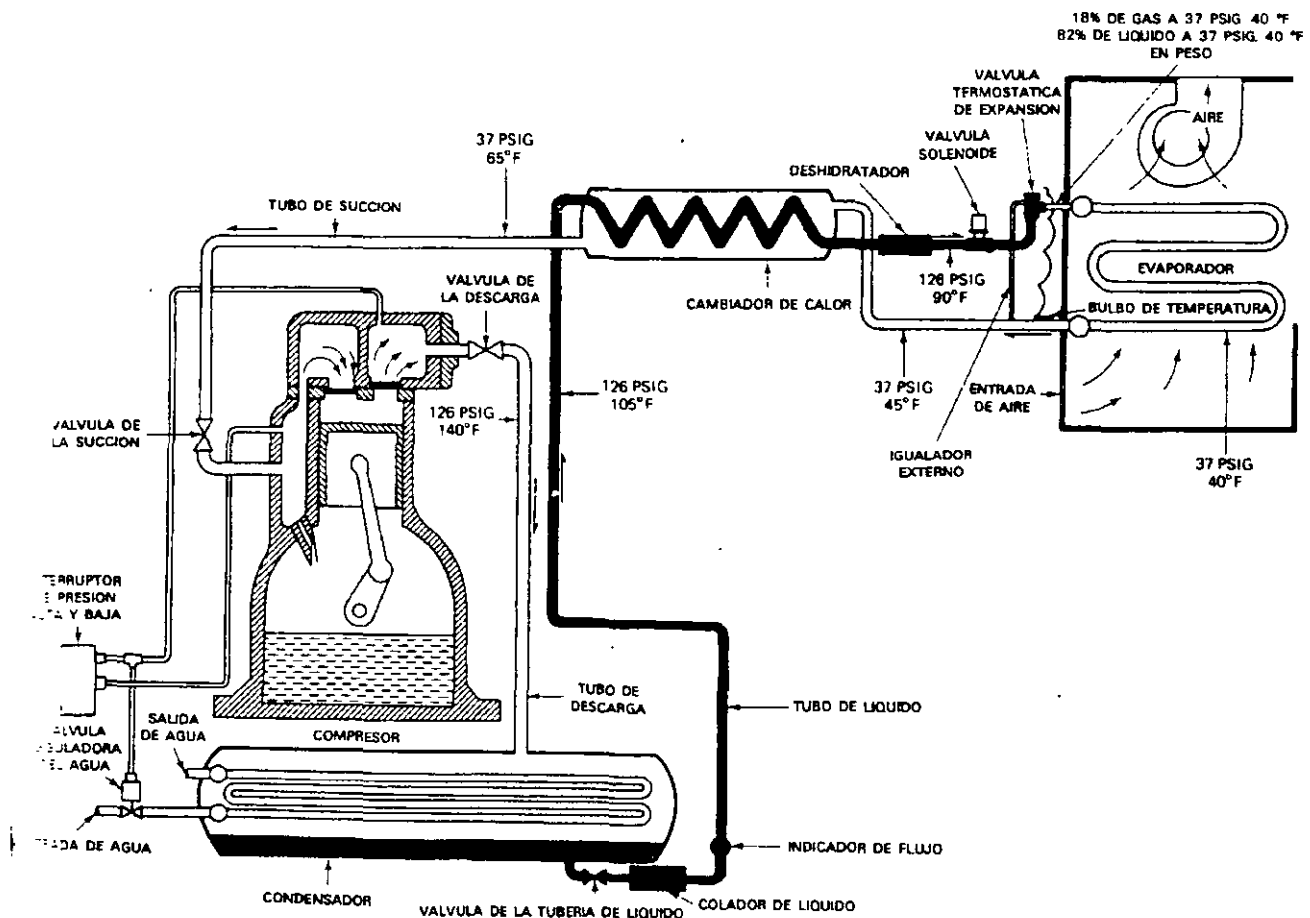


FIGURA R8-8 Diagrama de flujo del sistema de refrigeración R-12.

Si algo, o la mayor parte de este aumento de 25 °F en temperatura del vapor fuera resultado de absorción de calor del refrigerante líquido, estaría efectuando enfriamiento útil, ya que el subenfriamiento del líquido ocasiona efecto refrigerante mayor que si el refrigerante alcanzara el dispositivo de medición sin subenfriamiento alguno. ¿Es posible alcanzar un equilibrio aproximado entre la cantidad de calor eliminado en Btu/lb cuando se subenfria el líquido y la cantidad de calor añadida al vapor de refrigerante en el tubo de succión, sin el cambiador de calor?

PROBLEMAS

- R8-1 ¿Qué quiere decir efecto neto de refrigeración?
- R8-2 ¿Cuáles son los dos factores que intervienen para calcular el NRE?
- R8-3 ¿Qué ecuación se usa para calcular el peso del refrigerante que debe circular para determinada carga?
- R8-4. Definir "sobrecalentamiento".
- R8-5. ¿Cuál es la diferencia entre vapor saturado y vapor sobrecalentado?
- R8-6. ¿De qué factores depende la capacidad de un compresor?
- R8-7. ¿Qué es la gráfica P-h de un sistema?
- R8-8. ¿Cuáles son las escalas que aparecen en el diagrama P-h?
- R8-9. Haga una lista de las propiedades del refrigerante que se puedan determinar empleando el diagrama P-h.



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

EVAPORADORES

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

EVAPORADORES

R9-1 GENERALIADES

En el capítulo R6 definimos al evaporador como aquella parte del sistema de refrigeración en la que el refrigerante pasa de líquido a vapor mediante el proceso de evaporación. Este se lleva a cabo cuando el calor del producto o la carga es absorbido por el refrigerante en el evaporador. Como se describió antes, los evaporadores pueden ser de tres tipos:

1. Tubos desnudos
2. Tubos aletados
3. Placas

La mayor parte de las vitrinas comerciales, cuartos enfriadores, cajas de enfriamiento y refrigeradores de florería emplean el diseño de serpentín de tubo aletado. Un evaporador de este tipo tiene ventajas definidas en comparación con el evaporador de tubo desnudo, que se ve en la figura R9-1. La carga de calor que maneja el evaporador llega al serpentín de enfriamiento mediante uno o más de los tres mecanismos de transmisión de calor: conducción, convección o radiación. Pero este calor pasa al refrigerante sólo mediante uno de estos mecanismos, la conducción. El área adicional de las aletas, además de la del tubo desnudo, permite una mayor velocidad de transferencia desde el aire que rodea al serpentín, como se ve en la figura R9-2. Por lo tanto, mientras mayor sea el área de la superficie de conducción del calor desde el producto hasta el refrigerante en el evaporador, mayor será la transferencia posible de calor. Si el calor del producto llega al evaporador, pero no lo absorbe el refrigerante dentro del serpentín, la caja o la zona estarán a una temperatura mayor que la deseada. Al aumentar el área superficial del evaporador se aumenta su capacidad.

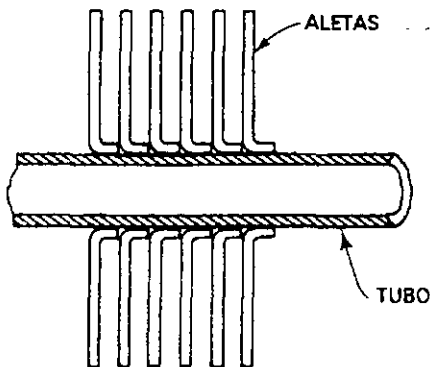


FIGURA R9-2 Aletas planas que se le agregan al tubo.

Muchos evaporadores comerciales se diseñan para convección natural como medio de paso del aire por el serpentín. Desde luego, la capacidad de este tipo de serpentines se basa principalmente en flujo no estorbado. Si se coloca el serpentín de manera inadecuada, o si su diseño u instalación es tal que se restringe la circulación del aire a su alrededor y a través de él, el serpentín no puede trabajar a la eficiencia máxima.

Cuando el aire pasa por el serpentín de enfriamiento cede su calor y por lo tanto se enfría. Al enfriarse, se contrae, su volumen es menor y pesa más que un volumen igual de aire más caliente. Así se establecen las corrientes de convección de aire, que se llevan consigo el calor del producto que se va a enfriar.

La circulación de este aire de convección se puede ayudar, lo cual se hace con frecuencia, con varios métodos, uno de los cuales es el empleo de mamparas de metal u otros materiales. Esas mamparas o desviadores se colocan de tal modo que las corrientes de aire tienen que moverse siguiendo determinadas trayectorias para obtener la transferencia óptima de calor.

Si hay dudas acerca de si las corrientes de convección pueden producir el flujo necesario de aire a través del serpentín de evaporación para con ello sacar cantidades satisfactorias de calor del aire y del producto, lo indicado es, emplear circulación forzada del aire que pasa por el serpentín. Los evaporadores que usan circulación forzada tienen tubos aletados, y uno o más ventiladores axiales del tipo de hélice para lograr la circulación. En estos casos no son absolutamente necesarias las mamparas para dar un patrón normal de circulación, aunque se usan con frecuencia. La figura R9-3 muestra un evaporador comercial con ventilador para circulación de aire.

La figura R9-3 muestra un evaporador comercial con ventilador para circulación de aire.

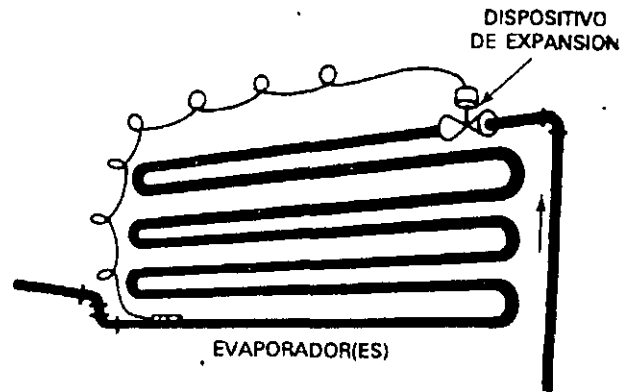


FIGURA R9-1 Evaporador de tubo desnudo

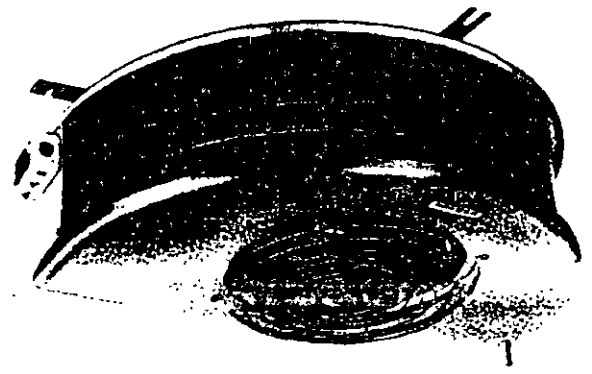


FIGURA R9-3 Evaporador comercial con ventilador para circulación de aire (Cortesía de Kramer Trenton Company.)

Con la circulación forzada de aire, es necesario que el ventilador sea capaz de:

1. Hacer circular la cantidad suficiente de aire para eliminar el calor del producto.
2. Distribuir el aire a una velocidad adecuada por el recinto o el espacio acondicionado.
3. Asegurar que no haya "zonas muertas".

Si la velocidad del aire que pasa en determinados casos es mayor que la que se recomienda, hay la tendencia a una deshidratación muy rápida, como se dijo en un capítulo anterior.

R9-2 EFECTO DE REFRIGERACION

Se ha descrito ya el paso del calor del producto al aire a continuación al refrigerante dentro del serpentín de enfriamiento. La cantidad de calor que recoge del producto y del aire cada libra de refrigerante en su paso por el evaporador se llama *efecto de refrigeración*, o *efecto refrigerante*. El refrigerante líquido que entra al dispositivo de medición y al serpentín de enfriamiento tiene determinado contenido de calor a su temperatura dada, al igual que el vapor de refrigerante que sale del serpentín de enfriamiento a su temperatura menor. La diferencia entre los contenidos de calor de esas dos fases (líquido y vapor) es la cantidad de calor que absorbe una libra de refrigerante al circular por el serpentín de enfriamiento. Por lo tanto, el efecto refrigerante se valoriza en términos de Btu por libra de refrigerante circulado.

El calor absorbido por el refrigerante depende de dos condiciones principales del refrigerante y de las temperaturas a esas condiciones:

1. La temperatura del refrigerante líquido que entra al control de refrigerante.
2. La temperatura de evaporación, o la temperatura del vapor que sale del evaporador.

Bajo las siguientes condiciones, ¿cuál sería el efecto de refrigeración?

El refrigerante entra al dispositivo de medición en estado líquido a la temperatura de condensación de 100 °F, y sale del evaporador en estado gaseoso a 40 °F.

Consultando la tabla de refrigerantes en el Apéndice, que presenta las propiedades del R-12 saturado, se ve que la entalpía (contenido de calor) del refrigerante líquido a 100 °F es 31.16 Btu/lb, mientras que la entalpía del vapor a 40 °C que sale del serpentín de enfriamiento es 82.71 Btu/lb. Por lo tanto, la diferencia entre esos dos números es 51.55 Btu/lb, que es la cantidad de calor que absorbe cada libra de refrigerante del producto o del aire bajo las condiciones especificadas.

Con el ejemplo anterior, se puede ver que si la cantidad de calor que se ha de eliminar en un proyecto es 30,930 Btu, se deben hacer circular 10 lb del refrigerante por minuto. Esto se debe a que bajo las condiciones que se dieron en el ejemplo, la capacidad de eliminación del calor del refrigerante es igual a 51.55 Btu/lb circulada por el evaporador. Cuando la cantidad total de Btu que se debe eliminar se divide entre esa capacidad de 1 lb del refrigerante, llegamos a la ecuación

$$(30.930 \text{ Btu/ hr}) / 51.55 \text{ Btu/lb} = 600 \text{ lb/hr}$$

Entonces:

$$(600 \text{ lb/ hr}) / (60 \text{ min/hr}) = 10 \text{ lb de refrigerante que deben circular /min}$$

Como se hizo notar ya, las dos variables que modifican al efecto refrigerante por libra circulada son la *temperatura del líquido que entra y la temperatura del vapor que sale*.

Por lo tanto, si se disminuye la temperatura del líquido que entra se aumentará el efecto de refrigeración. Esto quiere decir que tendrán que circular menos libras de refrigerante para efectuar el trabajo necesario. También, si se eleva la temperatura de evaporación y al mismo tiempo la temperatura de condensación permanece igual, la cantidad de refrigerante que se necesita circular será menor. Esto se puede demostrar como sigue:

Si la temperatura de condensación, que es la del refrigerante líquido que entra al evaporador, se puede bajar de 100 °F a 86 °F, la entalpía bajará a 27.72 Btu/lb. Si la entalpía del vapor que sale permanece igual, habrá un aumento de 3.44 Btu/lb en el efecto de refrigeración, y el nuevo efecto tendrá un valor de 54.99 Btu/lb.

La misma carga necesaria de 30,930 Btu que en el ejemplo anterior, dividida entre el nuevo efecto de refrigeración de 54.99 Btu/lb da como resultado un requerimiento de 562 lb/hr. Cuando dividimos esto entre 60 minutos, vemos que se deben circular unas 9.37 lb de refrigerante cada minuto.

Por el contrario, si la temperatura del evaporador se puede aumentar de modo que el vapor que salga del serpentín de enfriamiento esté a 50 °F en lugar de a 40 °F, habrá un aumento de 1.07 Btu/lb en la entalpía del vapor. Esto tiene como consecuencia que, con las variables que se mencionaron antes, mientras menor sea la temperatura del líquido que entra al dispositivo medidor y al serpentín, mayor será el efecto refrigerante. En consecuencia, mientras mayor sea la temperatura de evaporación, mayor será el efecto de refrigeración.

Comenzamos estudiando al evaporador en el ciclo de refrigeración principalmente porque es donde el calor se elimina del producto. El calor lo absorbe el refrigerante, el cual se evapora en el serpentín y pasa después al compresor. Allí se comprime antes de continuar en el cielo y pasar al condensador.

R9-3 CAPACIDAD DEL SERPENTÍN DE EXPANSIÓN DIRECTA

La capacidad de cualquier serpentín de expansión directa depende de:

1. La temperatura del refrigerante que circula
2. Las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo del aire que circula en el exterior del serpentín
3. El volumen de aire que circula

Como se dijo antes, si se hace variar la temperatura del líquido que entra al serpentín de enfriamiento, también varía el efecto refrigerante. Esto afecta la capacidad del serpentín de enfriamiento y, si la temperatura del aire en el exterior del serpentín permanece igual, cualquier variación en la temperatura de succión también hará variar la diferencia de temperatura entre el refrigerante y el aire. Si disminuye esta diferencia de temperatura, la velocidad a la que se evapora el refrigerante también disminuye.

La misma disminución de evaporación de refrigerante se tendrá si disminuye la cantidad de aire que pasa por el serpentín, porque mientras menor cantidad haya de aire se enfriará a menor temperatura, y se reducirá la diferencia de temperaturas entre el refrigerante y el aire.

La figura R9-4 es una tabla de capacidades de serpentín de enfriamiento de expansión directa. Muestra que cuando aumenta la temperatura de succión, disminuye la capacidad del serpentín. Esto se debe a la disminución de la diferencia de temperaturas entre el refrigerante y el aire.

Como se hará notar después, la condición idéntica afecta de modo distinto al serpentín de enfriamiento y al compresor: a medida que aumenta la capacidad del serpentín, la del compresor disminuye. Por lo tanto, los componentes que se seleccionan e instalan en el campo, no una unidad de condensación paquete, necesitan de un cuidadoso balanceo de las características del evaporador y compresor, para seleccionar el punto o puntos a los que ambos tengan la misma capacidad.

La energía térmica se retira de una sustancia, sea aire, agua o cualquier otro material, mediante un sistema de refrigeración. El calor se transfiere a un refrigerante a un punto de ebullición *lo suficientemente menor que la temperatura de la sustancia que se va a enfriar, para obtener la velocidad deseada de transmisión de calor*. Esto quiere, decir que la velocidad de transferencia de calor, que se mide en Btu/hr, depende del tamaño del serpentín de expansión directa. Es la cantidad de superficie expuesta a la sustancia, que se va a enfriar y también la diferencia de temperatura, (ΔT , °F) entre la sustancia y el punto de ebullición del refrigerante.

Aquí nos encontramos con un tercer punto a considerar, porque la configuración de la superficie del evaporador afecta directamente la cantidad de superficie disponible para absorber el calor.

Por lo tanto, la capacidad de transmisión de Btu/hr de un evaporador depende de tres cosas:

1. Su superficie
2. Su coeficiente U
3. La diferencia promedio de temperatura (DMT)

R9-3.1 Superficie

Como se describió en el capítulo R6, los evaporadores se clasifican en tres tipos:

1. De tubo desnudo
2. De tubo aletado
3. De placas

Cada uno de estos tipos de serpentines tienen la misma capacidad de absorción de calor *por pulgada cuadrada de superficie del material*. La cantidad de tubo que interviene varía entre los diversos tipos debido a la capacidad diferente que tiene cada tramo de tubo, de absorber calor. El tubo aletado tendrá mucha mayor superficie por pulgada de longitud que el tubo desnudo, el cual a su vez tendrá más superficie que el tubo encerrado en una placa. El cálculo normal de todos los tipos de serpentines se basa en cada pulgada cuadrada de superficie del tubo básico, sea desnudo, aletado o de placas, y la diferencia en el efecto de absorción de calor se expresa por el valor del coeficiente U para cada uno de los tipos.

FIGURA R9-4

Tabla de capacidades de serpentines de enfriamiento de expansión directa

75° EDB			VELOCIDAD DEL AIRE (PIES/MIN)												64° EWB		
Temp en la succión, °F	N° de filas	N° de aletas	400			500			600			700					
			MBH	LDB	LWB	MBH	LDB	LWB	MBH	LDB	LWB	MBH	LDB	LWB			
35°	4	8	18.0	49.0	48.0	20.4	51.0	49.8	22.3	52.7	51.3	23.9	54.0	52.4			
			20.4	46.0	45.4	23.4	48.0	47.3	25.9	49.7	48.8	28.0	51.1	50.1			
			22.3	43.8	43.4	25.8	45.6	45.2	28.9	47.2	46.7	31.6	48.6	48.0			
			25.0	40.5	40.3	29.5	42.1	41.9	33.4	43.6	43.4	36.9	45.0	44.8			
	5	10	19.6	47.0	46.4	22.2	49.0	48.3	24.3	50.8	49.9	26.1	52.2	51.2			
			21.9	44.1	43.8	25.2	46.1	45.7	28.1	47.8	47.3	30.3	49.3	48.7			
			23.7	41.9	41.8	27.6	43.8	43.6	30.9	45.5	45.3	33.8	47.0	46.7			
			26.1	39.1	38.9	31.0	40.8	40.6	35.3	42.1	42.0	39.1	43.6	43.4			
	6	12	20.7	45.5	45.1	23.6	47.6	47.1	26.0	49.3	48.8	27.9	50.7	50.1			
			23.0	42.9	42.6	26.6	44.8	44.6	29.6	46.5	46.2	32.2	48.0	37.6			
			24.7	40.9	40.7	28.9	42.7	42.5	32.5	44.4	44.2	35.6	45.9	45.7			
			26.8	38.2	38.0	32.0	39.7	39.5	36.6	41.2	41.0	40.7	42.5	42.3			
40°	4	8	15.2	52.0	50.9	17.2	53.7	52.3	18.8	55.0	53.5	20.1	56.2	54.5			
			17.3	49.6	48.8	19.7	51.1	50.3	21.8	52.5	51.5	23.5	53.7	52.6			
			18.9	47.5	47.1	21.9	49.2	48.6	24.4	50.4	49.8	26.5	51.7	51.0			
			21.3	44.8	44.6	25.0	46.1	45.9	28.3	47.5	47.1	31.2	48.5	48.2			
	5	10	16.5	50.2	49.5	18.7	52.0	51.1	20.5	53.4	52.4	22.0	54.6	53.4			
			18.6	47.8	47.4	21.3	49.5	49.0	23.6	50.9	50.4	25.5	52.1	51.5			
			20.1	46.0	45.8	23.4	47.7	47.3	26.1	48.9	48.6	28.5	50.2	49.8			
			22.2	43.6	43.4	26.3	45.0	44.8	30.0	46.3	46.1	33.1	47.3	47.1			
	6	12	17.5	49.1	48.6	19.9	50.7	50.2	21.8	52.2	51.5	23.4	53.4	52.7			
			19.5	46.7	46.4	22.5	48.5	48.1	24.9	49.8	49.5	27.0	51.0	50.6			
			21.0	45.1	44.9	24.5	46.5	46.4	27.4	48.0	47.7	30.0	49.1	48.9			
			22.9	42.9	42.7	27.3	44.1	43.9	31.1	45.3	45.1	34.5	46.5	46.3			
45°	4	8	12.3	55.0	53.7	13.8	56.3	54.8	15.1	57.4	55.7	16.1	58.4	56.5			
			14.0	52.8	52.0	15.9	54.2	53.2	17.6	55.3	54.2	18.9	56.2	55.0			
			15.4	51.2	50.7	17.7	52.5	51.9	19.6	53.7	52.9	21.3	54.5	53.8			
			17.3	49.0	48.8	20.3	50.0	49.8	22.9	51.0	50.8	25.2	52.0	51.6			
	5	10	13.3	53.5	52.7	15.0	54.8	53.9	16.4	56.0	54.9	17.6	56.9	55.7			
			15.0	51.4	51.0	17.2	52.9	52.3	19.0	54.1	53.3	20.5	54.9	54.2			
			16.4	49.9	49.7	18.9	51.2	50.9	21.1	52.4	52.0	22.9	53.5	52.9			
			18.2	48.0	47.8	21.5	49.1	48.9	24.3	50.2	50.0	26.8	51.1	50.9			
	6	12	14.1	52.4	51.9	16.0	53.9	53.2	17.5	55.0	54.2	18.8	55.9	55.1			
			15.8	50.6	50.2	18.1	51.9	51.5	20.0	53.1	52.6	21.7	53.9	53.5			
			17.0	49.3	49.1	19.8	50.4	50.2	22.1	51.5	51.3	24.2	52.5	52.2			
			18.7	47.4	47.2	22.2	48.4	48.2	25.3	49.4	49.2	28.0	50.3	50.1			

R9-3.2 Coeficiente U

El coeficiente U se llama coeficiente general de transmisión de calor, y se define como la cantidad de energía térmica, en Btu/hora que absorberá 1 pie cuadrado de superficie y por cada grado de diferencia promedio de temperaturas entre la fuente de calor y el refrigerante en ebullición. El coeficiente U sólo se aplica a la superficie básica del tubo, y se ajusta para tener en cuenta la superficie adicional en forma de aletas que puedan estar fijadas al tubo básico, o a la forma de encerramiento entre placas.

Los serpentines de tubos desnudos tienen coeficientes U entre 0.5 y 1.0 Btu/hr pie² °F. Los serpentines de tubos aletados los tienen entre 2.0 a 3.5 Btu/hr pie² °F, dependiendo del número de aletas por pulgada de tubo. Mientras mayor sea el número de aletas, mayor será el coeficiente U. Es claro que mientras mayor sea el número de aletas será más difícil hacer que el aire pase entre ellas para sacar el calor. Además, si se supone que el serpentín va a trabajar a una temperatura menor que 0 °C (32 °F), toda humedad condensada del aire se depositará entre las aletas y reducirá con rapidez la capacidad del serpentín.

Los serpentines para aplicaciones de congelador, o a temperaturas menores a 30 °F (-1 °C) son de tubo desnudo, cuando es mucha y continua la formación de escarcha y los períodos entre desescarchado son grandes. Si se emplea tubo aletado, tendrá entre tres a seis aletas por pulgada, y se usan cuando hay período de desescarchado en cada período OFF (apagado) del sistema. Los serpentines de aire acondicionado tienen en general de 10 a 13 aletas por pulgada, para obtener altas capacidades de transmisión de calor, sin embargo, siguen teniendo buenas características de drenado de condensado.

R9-3.3 Diferencia promedio de temperatura

La diferencia promedio de temperatura (DMT) es el promedio de las diferencias de temperatura entre la sustancia que se va a enfriar y el punto de ebullición del refrigerante. Como la diferencia de temperatura hace que pase el calor del aire al refrigerante, y como el aire y el refrigerante cambian de temperatura al pasar por el evaporador, es necesario determinar el promedio de la diferencia de temperatura, para así calcular la diferencia verdadera de temperaturas.

Para comprobar en forma correcta el sistema de refrigeración o de aire acondicionado y determinar si tiene la carga correcta y está trabajando en el rango correcto de punto de ebullición del refrigerante (límites de la presión en la succión), es necesario definir la diferencia promedio de temperaturas en el serpentín. Con ello se determina la entrada de calor al evaporador.

En casos de refrigeración, como por ejemplo en los productos lácteos, productos vegetales, florería, etc., el fabricante en general establece y etiqueta al equipo con la diferencia promedio de temperatura del aire a través del serpentín. En los dispositivos de enfriamiento para líquido en general se da la caída de temperatura del líquido. En las unidades de aire acondicionado, sin embargo, se calcula la caída de temperatura que se desea para obtener mejores resultados de acuerdo con las condiciones del aire que rodea al espacio acondicionado. A esas condiciones se les llama *condiciones exteriores de diseño*. En zonas de alta humedad, en las que permanecen cercanas las temperaturas de día y la noche, la diferencia promedio de temperatura se calcula midiendo la temperatura del aire que entra al serpentín de expansión directa, la temperatura del aire que sale de él, y el punto de ebullición del refrigerante dentro de serpentín, y con ellas se aplica la siguiente ecuación.

$$DMT = (EAT - BP) + (LAT - BP) / 2$$

Los elementos que se usan en esta ecuación se definen como sigue:

EAT. - *Temperatura del aire que entra* Se mide en el lado de entrada del serpentín de expansión directa. La medición se debe hacer tan cerca de la cara del serpentín como sea posible, pero no a menos de 5 cm, para evitar pérdidas de radiación del termómetro hacia la superficie fría del serpentín.

LAT. *Temperatura del aire que sale* Esta temperatura se debe medir en el lado de salida de cada circuito del serpentín para asegurarse que la carga es uniforme en todas las vueltas. En un serpentín tipo A, la temperatura del aire que sale se debe tomar en cada lado de la A y calcular el promedio. Las temperaturas del aire que sale de diversas partes del serpentín no deben variar más de 2 °F

BP: *Punto de ebullición del refrigerante* Se determina mediante la presión de succión, que se convierte a temperatura mediante la tabla o gráfica de presión temperatura para el refrigerante que se esté usando. Esta presión se debe medir en la salida del serpentín. Si ello no es posible, y se hace la medición en la entrada del compresor, se debe sumar a la

indicación del manómetro la caída de presión en la tubería de succión para obtener un punto de ebullición tan exacto como sea posible.

Este método de cálculo de la diferencia promedio de temperatura no es 100% exacto, debido al efecto de enfriamiento variable en el aire que pasa por el serpentín. Sin embargo, es lo suficientemente aproximado como para ser de aplicación general a los sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

Las mejores diferencias promedio de temperatura, en zonas de poca variación diaria, en un serpentín de aire acondicionado, son de más de 25 °F. En las zonas promedio con variaciones medias de temperatura en el día, la DMT está entre los límites de 20 a 25 °F. En los climas calientes y secos, donde la variación diaria de temperatura es grande, la DMT está entre los límites de 15 a 20 °F.

Para tener una eficiencia máxima de operación en las unidades de aire acondicionado se necesita una DMT calculada con más exactitud. Ello se describe en los capítulos A3 y A17.

R9-4 DESESCARCHADO

Siempre que se elimina humedad del aire u otro producto que se enfría o se congela, se acumulará escarcha en el elemento de enfriamiento, que se debe quitar en forma periódica. La escarcha es un aislador que reduce la transferencia de calor entre el aire y el refrigerante del serpentín de enfriamiento.

En los primeros días de la refrigeración, cuando se usaban evaporadores de tubos desnudos o de placas en cuartos fríos, el desescarchado de esas unidades se debía hacer en forma manual. No era raro, en especial cuando los serpentines estaban ubicados a una altura de 3 metros o más, que un empleado se pusiera un impermeable y usara un palo largo para golpear y tirar la escarcha acumulada en los serpentines de tubos o de placas. Cuando terminaba, usaba una pala o una escoba para terminar su trabajo de desescarchado, recogiendo el hielo que caía. Era necesaria esta manera de quitar la escarcha porque se deseaba que continuara el funcionamiento del equipo de refrigeración, durante el período de desescarchado.

Este desescarchado manual se sigue usando en algunos congeladores pequeños domésticos o de granja, o hasta en algunas unidades pequeñas comerciales que tienen evaporadores de tipo placa. En esos casos el método es bueno porque no hay aletas ni otros obstáculos en el serpentín de enfriamiento. Estas unidades no se pueden apagar para permitir el desescarchado de los serpentines a menos que se saquen el contenido o los productos del enfriador para evitar que se fundan.

En las instalaciones comerciales, en las que la temperatura del recinto es mayor que 2 °C, los serpentines de enfriamiento del tipo de tubos aletados no presentan demasiado problema. Si es necesario detener el funcionamiento de la unidad de refrigeración en forma temporal y con la circulación continua del aire del recinto a 35 °F (2 °C) o más, la escarcha se elimina de las aletas y serpentín de enfriamiento a una velocidad bastante grande. Esta parada temporal de

la unidad de refrigeración se puede hacer en forma manual o con determinado dispositivo de control. A esto se le llama *desescarchado en paro*, porque el ciclo de refrigeración se ha parado en forma temporal.

Cuando la temperatura del aire del recinto es menor que 32 °F (0 °C), la escarcha acumulada no se fundirá y saldrá del evaporador durante un paro de éste, y entonces se hace necesario algún método para desescarchado.

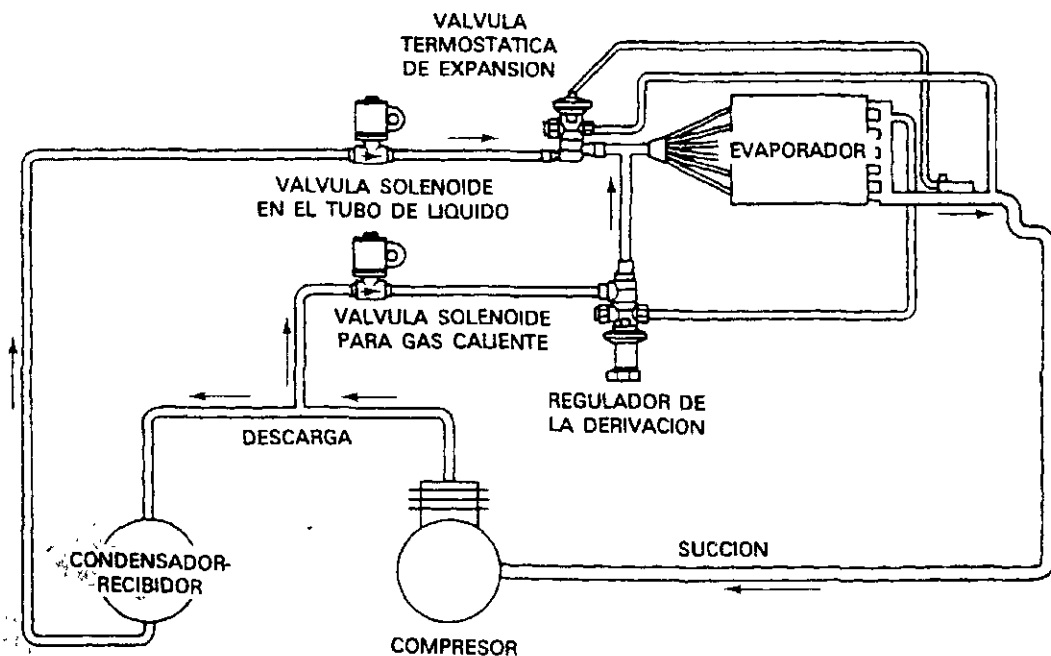


FIGURA R9-5 Diagrama esquemático de derivación de gas caliente desde la descarga del compresor, hasta la entrada al evaporador. (Cortesía de ASHRAE)

artificial o forzado. Esto se puede lograr por la aplicación de aire tibio, conducido por ductos, o mediante agua o salmuera tibias, o calor aplicado por cualquier otro medio, como por ejemplo un calefactor eléctrico o un sistema con gas caliente. A menos que haya ductería que se use ya para la distribución y circulación de aire en el recinto que se esté enfriando, no es posible usar el método del aire tibio, porque necesita de la instalación de ductos complicados y sus accesorios.

Naturalmente, cada uno de los métodos de desescarchado necesita que el sistema esté fuera de operación durante el tiempo suficiente como para permitir el desescarchado. En general se lleva la temperatura del serpentín a entre 2 y 5 °C (36 a 40 °F). Por lo tanto, no es práctico apagar la unidad durante cualquier lapso en una aplicación en la que la temperatura del recinto deba ser de 0 °C (32 °F) o menor.

Si se conectan dos o más evaporadores a la misma unidad de condensador, pero están en distintos lugares, la unidad misma de condensación no necesita salir de operación para descongelar los serpentines. Estos se pueden retirar de servicio en forma individual y desescarcharse uno a la vez mientras que el otro u otros y la unidad de condensación continúan trabajando a la temperatura deseada. Esto se logra cerrando en forma manual una válvula en el tubo de líquido del serpentín que se va a desescarchar. Cuando se termina el desescarchado de una unidad, se abre la válvula y se permite el funcionamiento normal de ese serpentín. El otro u otros serpentines se desescarchan del mismo modo, hasta que todos los serpentines del sistema se hayan desobstruido.

Este proceso se puede hacer en forma automática empleando un reloj programador para que desconecte una parte o todo el sistema durante un determinado período a intervalos regulares. La longitud del período de desescarchado y la frecuencia dependen de cada instalación. Se recomienda que la duración del ciclo de desescarchado se ajuste con cuidado para que el sistema de refrigeración regrese a operación tan pronto como sea posible, para que con ello se acorte el período de desescarchado.

Se pueden usar agua o salmuera para desescarchar un serpentín de enfriamiento. En general se usa agua cuando la temperatura del evaporador es mayor que -30 °F (-34 °C). El método consiste en rociar el agua sobre los serpentines de la unidad evaporadora. Si la temperatura del evaporador es menor que -30 °F, se deben rociar salmuera o solución anticongelante, y no agua. Cuando se use salmuera se deben tomar precauciones para evitar la corrosión de los serpentines. Un sistema de desescarchado por aspersion de agua también necesita cuidados para que el agua no salpique de la bandeja de drenaje al piso, y se congele. Se debe tener cuidado de vaciar en forma correcta las tuberías para que no quede algún residuo de agua que se hiele cuando se ponga a trabajar de nuevo la unidad.

Varios fabricantes producen ahora serpentines de enfriamiento con calentadores eléctricos, ya sea introducidos en el tubo de cobre o colocados en contacto con cada vuelta de tubo aletado en un sistema de convección forzada. Donde no hay disponible con facilidad un suministro adecuado de agua, o la temperatura del agua disponible es demasiado baja para tener un buen desescarchado, se usa con frecuencia un sistema de descongelación eléctrica.

El método de desescarchado con gas caliente consiste en emplear el gas caliente de descarga de refrigerante del compresor como medio de descongelar. En la figura R9-5 se muestra un esquema de un sistema básico de desescarchado por gas caliente. Se instala un tubo auxiliar o de derivación entre el tubo de gas caliente y el de refrigerante que entra al serpentín de enfriamiento después de salir del dispositivo medidor. La válvula que se instala en este tubo se puede hacer trabajar ya sea en forma manual o mediante un solenoide. Si es de accionamiento manual, el desescarchado sólo se hace cuando hay presente un operador. Si el accionamiento es por medio de un solenoide, se instala un programador en el circuito eléctrico y el sistema se desescarcha en forma automática, en forma periódica en las ocasiones seleccionadas.

Este sistema tiene sus debilidades, que hacen que su uso no sea práctico si sólo se cuenta con un serpentín de enfriamiento. Teóricamente, su método de funcionamiento es que el compresor sigue trabajando cuando se lleva a cabo el desescarchado. Cuando se abre la válvula en el tubo de derivación, el gas caliente debe pasar del tubo de descarga que sale del compresor al evaporador. Este gas caliente que va al serpentín hará que la escarcha se funda y se desprenda de la superficie exterior. Pero cuando el refrigerante gaseoso cede su calor, se condensa y hay la posibilidad que llegue una gran cantidad de refrigerante líquido a la succión y dañe al compresor.

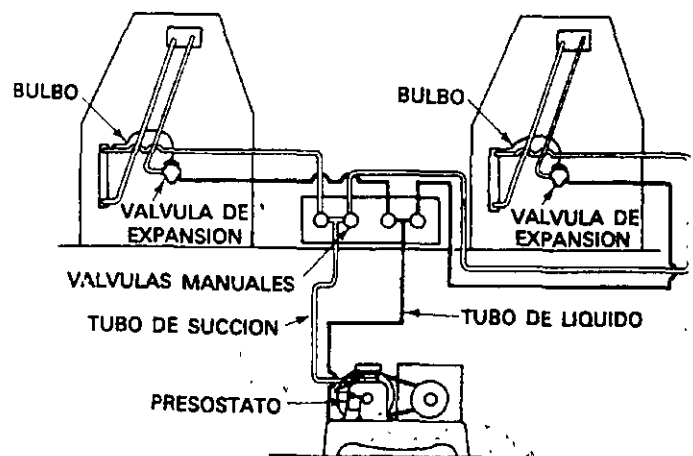


FIGURA R9-6 Sistema de refrigeración con evaporadores múltiples. (Cortesía de ASHRAE.)

También, como no entra líquido al dispositivo de medición, y se evapora en el evaporador mientras que el sistema está en desescarchado, se comprime menos vapor de refrigerante y por lo tanto hay menos vapor caliente disponible para el desescarchado.

La figura R9-6 muestra un sistema de refrigeración que usa evaporadores múltiples, de los cuales se muestran dos. En este caso el método de desescarchado por gas caliente sí es posible ya que, mientras un serpentín se está desescarchando, el otro sigue trabajando a su temperatura normal. Como se mencionó antes, cuando el gas caliente pasa por el evaporador en el período de descongelamiento, cede su calor y funde la escarcha. Al hacerlo, se condensa al estado líquido y, como sólo se usa un serpentín de evaporación, es bastante posible que lleguen al compresor golpes de líquido que lo dañen.

R9-5 CIRCULACIÓN DEL ACEITE

El aceite pasa por el ciclo de refrigeración junto con el refrigerante, para lubricar las partes móviles. Como se debe lubricar el compresor, describiremos al flujo de aceite comenzando con ese punto inicial. El vapor de refrigerante se pone en contacto directo con el aceite adherido a las paredes del cilindro, ya que los pistones están lubricados. Algo de ese aceite lo arrastra el vapor del refrigerante al pasar por el tubo de descarga de gas caliente que comunica al compresor y al condensador.

Si sólo es pequeña la cantidad de aceite que viaja con el refrigerante, pasará por el condensador y recibidor, y seguirá por el tubo de líquido al evaporador; regresará al cárter del compresor antes que a éste le comience a faltar aceite.

Pero algunos compresores bombean normalmente grandes volúmenes de aceite y, a menos que se facilite su rápido regreso al cárter, puede dañarse gravemente el compresor. Una medida precautoria es la instalación correcta de tubos de refrigerante con la pendiente adecuada, dimensionados en forma correcta, con língüetas de aceite en el sistema cuando sea necesario. En el capítulo R 13 se describen estos factores. En el capítulo R14 se describen las trampas y separadores de aceite.

Si hay pequeñas cantidades de aceite de refrigeración no tendrán efectos nocivos sobre el serpentín de enfriamiento; pero las grandes concentraciones que se depositan en los circuitos o pasajes del evaporador provocarán un aumento en la temperatura de éste. Dicho incremento significa que se hará menos trabajo en el evaporador. Habrá menos enfriamiento total si la presión en la succión permanece constante, y entonces todo el sistema será menos eficiente.

Si se permite que el aceite permanezca en el evaporador, ocupará espacio en los serpentines que se podrían usar para evaporar el refrigerante, pero ello disminuiría la eficiencia de refrigeración.

PROBLEMAS

R9-1. ¿Cuáles son los tipos principales de evaporadores?

R9-2. ¿Cuál es la ventaja de un evaporador de tubo aletado en comparación con uno de tubo desnudo?

R9-3. ¿Cuál de los tres mecanismos de transmisión de calor: radiación, convección o conducción, es el que hace pasar el calor al refrigerante en un evaporador?

R9-4. ¿Cuándo es deseable utilizar un ventilador o soplador para proporcionar circulación de aire forzado sobre o a través del serpentín del evaporador?

R9-5. ¿Cuáles son los tres factores que determinan la capacidad de un serpentín de expansión directa?

R9-6. ¿En qué aplicaciones se usan serpentines de tubos desnudos?

R9-7. ¿Por qué se debe quitar la escarcha cuando se acumula en los serpentines de enfriamiento?

R9-8. ¿Cuál es la desventaja de usar un sistema de desescarchado con gas caliente en una aplicación donde sólo haya un serpentín de enfriamiento?

R9-9. ¿Por qué es esencial que el aceite de refrigeración que se desplaza con el refrigerante en el sistema sea regresado al cárter del compresor?

R9-10. ¿Cuál será el resultado de que permanezca demasiado aceite en el evaporador?



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

DISPOSITIVOS DE CONTROL DE REFRIGERANTE

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

DISPOSITIVOS DE CONTROL DE REFRIGERANTE

----- R-10

R10-1 GENERALIDADES

En el capítulo R9 hicimos la siguiente aseveración, que bien vale la pena repetir: "El calor se transfiere a un refrigerante a un punto de ebullición lo suficientemente menor que la temperatura de la sustancia que se va a enfriar, para obtener la velocidad deseada de transmisión de calor." Lo que quiere decir esto es que se debe bajar la presión del refrigerante líquido antes de entrar al serpentín de expansión, a una presión en que el punto de ebullición correspondiente quede lo suficientemente abajo de la temperatura de la sustancia por enfriar (ΔT , °F) para obtener la velocidad deseada de transferencia térmica. Al mismo tiempo, el flujo de refrigerante debe coincidir con la velocidad de evaporación del refrigerante en el evaporador; ni más ni menos.

Si el flujo es demasiado alto, el refrigerante líquido saldrá del serpentín antes de evaporarse. Si entrara así al compresor, lo podría dañar. Aun si el exceso no es suficiente para llegar al compresor, cualquier efecto de refrigeración, o toma de calor, en el tubo de succión antes de alcanzar al compresor, es energía térmica que se maneja y que representa una pérdida de eficiencia y aumento en el costo de operación. Para evitar esta pérdida, el flujo adecuado de refrigerante originará normalmente un sobrecalentamiento del vapor de unos 2 °C (35 °F).

Si el flujo de refrigerante es muy escaso, el serpentín de enfriamiento directo perderá capacidad, bajará la presión de succión al compresor, éste trabajará más duro con menor eficiencia, y el costo de operación aumentará. Por lo tanto, es necesario tener el tamaño correcto de dispositivo de control del refrigerante y la carga correcta de éste en el sistema.

R10-2 TIPOS DE DISPOSITIVOS DE CONTROL

Los cinco tipos principales de dispositivos de reducción de presión, que se usan en los sistemas de refrigeración son

1. Válvula automática de expansión
2. Válvula termostática de expansión
3. Flotador del lado de baja
4. Flotador del lado de alta
5. Tubo capilar

Como se mencionó anteriormente, el empleo de válvulas manuales en los primeros sistemas de refrigeración fue un medio de dosificación, pero no es adecuado para aplicaciones en el equipo automático moderno y por lo tanto no se describe.

R10-3 VALVULAS AUTOMÁTICAS DE EXPANSIÓN

El primer desarrollo importante después de las válvulas de operación manual fue la *válvula automática de expansión*. No tiene un nombre descriptivo adecuado, porque otros tipos de válvulas de expansión también son automáticas. Sería más correcto llamarla *válvula de expansión de presión constante en el evaporador*, ya que mantiene una presión de salida constante, independiente de los cambios en la presión de entrada del líquido, de la carga o de otras condiciones.

La figura R 10- 1 es una muestra de una válvula automática de expansión. Este dispositivo de medición está diseñado para mantener una presión constante en el evaporador. Su fuerza de accionamiento principal es la presión en el evaporador, que se ejerce contra la parte inferior del diafragma. Un resorte de ajuste ejerce una presión en la parte superior del diafragma. Cuando aumenta la presión en el evaporador, contrarresta la presión del resorte y mueve al diafragma hacia arriba, cerrando la válvula. Cuando la presión en el evaporador disminuye, la fuerza del resorte es mayor que la ocasionada por la presión del evaporador, y empuja al diafragma y abre la válvula.

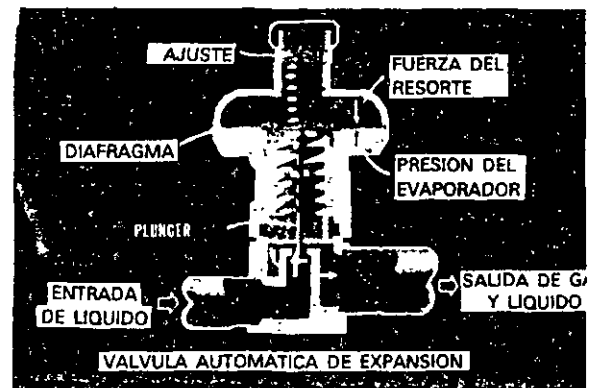


FIGURA R10-1 Válvula automática de expansión. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

Como esta válvula mantiene una presión constante en el evaporador, también trata de mantener una temperatura constante en él. Es importante comprender que esa válvula tiene una acción inversa según las condiciones variables de carga. Cuando aumenta la carga en el evaporador, generalmente aumenta la contrapresión debido a la mayor tasa de evaporación. Para seguir a la carga, este aumento en la contrapresión debe estar acompañado por un mayor flujo de refrigerante líquido al evaporador. Cuando hay una válvula automática de expansión, la mayor presión cierra la válvula. Al cerrar la válvula cuando hay mayor carga, el suministro de refrigerante se cierra, en lugar de aumentar. Esto quiere decir que esa válvula sólo se debe usar donde la carga sea relativamente constante. Se encuentran esas válvulas principalmente en cosas tales como refrigeradores domésticos, acondicionadores pequeños de aire, heladeras de agua y cosas por el estilo

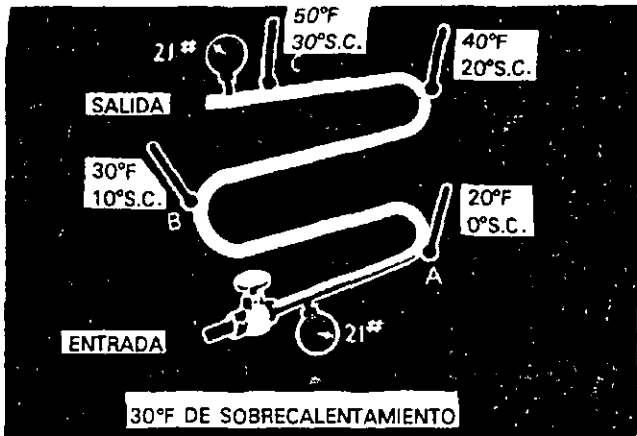


FIGURA R10-2 30 °F de sobrecalentamiento. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

R10-4 VÁLVULAS TERMOSTÁTICAS DE EXPANSIÓN

Antes de explicar este tipo de válvulas, daremos un breve repaso al concepto de *sobrecalentamiento*. La figura R10-2 muestra un evaporador de tubo desnudo que usa una válvula manual. En ese evaporador no se muestra caída de presión; en otras palabras, la presión es misma a través del evaporador. Cuando se abre ligeramente la válvula, entra al evaporador una pequeña cantidad de refrigerante. El calor pasa al refrigerante a través del tubo, haciendo que éste hierva. Si sólo pasa una cantidad pequeña de refrigerante, desaparecerá por ebullición en determinado punto, como por ejemplo el A. (Para este ejemplo supondremos que la presión del evaporador es 21 psig, y que la temperatura de saturación a 21 psig es 20 °F (-7 °C).) Desde el punto A en adelante, el refrigerante es un gas, y todo calor absorbido origina un sobrecalentamiento, el cual es la diferencia entre la temperatura real del gas y la de saturación, o sea, la temperatura de ebullición que corresponde a la presión del gas.

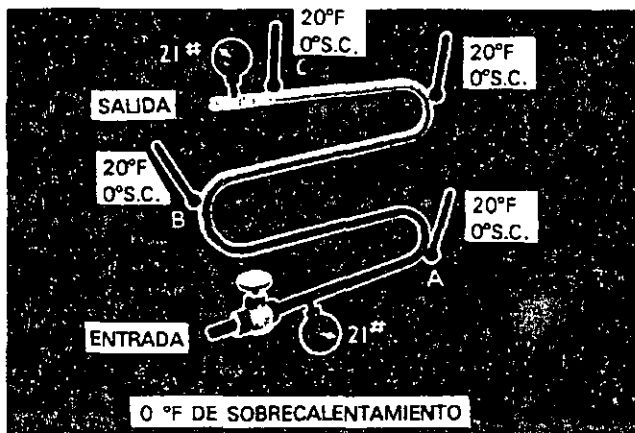


FIGURA R10-4 0 °F de sobrecalentamiento (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

última parte del líquido hierve en el punto C.

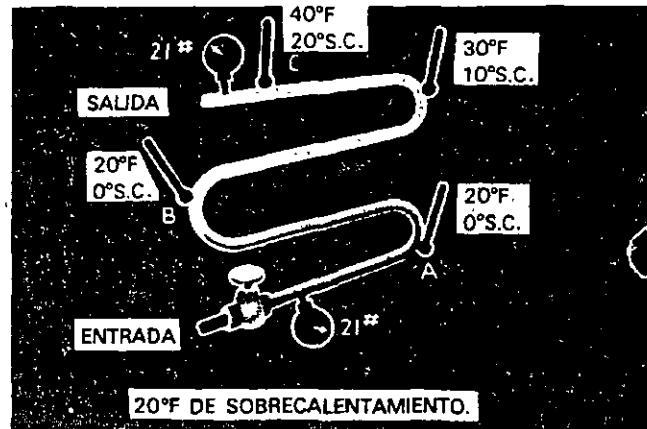


FIGURA R10-3 20 °F de sobrecalentamiento. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

En B, la temperatura de gas es 30 °F (-1 °C) y tenemos 10 °F (12.2 °C) de sobrecalentamiento. En el último codo de 180° la temperatura del gas es 40 °F (4 °C) y éste tiene 20 °F (11 °C) de sobrecalentamiento. En el punto C, la diferencia entre la temperatura real del gas de 50 °F (10 °C) y la de saturación de 20 °F es el sobrecalentamiento de 30 °F (17 °C).

Cuando se abre más la válvula (figura R 10-3), aumenta el flujo de refrigerante y el punto en el que hierve la última parte de líquido avanza hasta B. La menor superficie de evaporador disponible para sobrecalentar al refrigerante ocasiona un menor sobrecalentamiento. En este caso se ve que el gas sale a 40 °F, lo cual representa un sobrecalentamiento de 20 °F).

El caso ideal sería el que se ve en la figura R10-4, en el que la válvula se abre lo suficiente para dar sobrecalentamiento de 0 °F, o sea *sin* sobrecalentamiento en el refrigerante que sale del serpentín. Esta figura muestra que

Si se abriera lo suficiente la válvula manual, sería posible que el flujo de refrigerante fuera tan grande que el líquido alcanzara al compresor. Esto sería peligroso, ya que se puede dañar éste.

La aplicación práctica de la válvula termostática de expansión se aproxima al caso que se muestra en la figura R10-5. En este ejemplo, el punto de evaporación completa está en el último codo de 180° del evaporador, lo cual permite que el gas adquiera un sobrecalentamiento de 10 °F (12.2 °C) antes de salir del serpentín.

Debido a las variaciones en las cargas y a un retraso en el control de los dispositivos de medición, 10 °F es el sobrecalentamiento mínimo práctico para el acondicionamiento de aire. En refrigeración y otras aplicaciones especiales se usan con frecuencia ajustes menores.

El dispositivo que se usa con mucha más frecuencia para dosificar es la válvula termostática de expansión. Esa válvula controla el flujo del refrigerante manteniendo un sobrecalentamiento relativamente constante al final del serpentín del evaporador. Aunque se usa extensamente, esa válvula es la más difícil de comprender de todos los dispositivos de medición.

La figura R10-6 muestra un corte de la válvula termostática de expansión, en la que se identifican los componentes principales. Las fuerzas que actúan sobre el émbolo o válvula propiamente dicha, se muestran en el diagrama. Son la fuerza del resorte y la presión del evaporador en la parte inferior del diafragma, y la presión del bulbo sobre la parte superior de dicho diafragma. La presión del evaporador, llega a la parte inferior del diafragma a través de la conexión interna en la válvula. A esto se le llama *válvula de compensación interna*.

La figura R10-7 es un esquema de la válvula termostática de expansión. En este caso de nuevo se marcan las tres fuerzas en funcionamiento. La presión del bulbo está en la parte superior del diafragma y la fuerza del resorte y la presión del evaporador en la parte inferior. Cuando la presión del bulbo es mayor que la suma de la presión debida a la fuerza del resorte y la presión del evaporador, el émbolo será empujado hacia abajo y abrirá el orificio. Cuando la presión del bulbo ocasiona una fuerza menor que la suma de la fuerza del resorte y la fuerza debida a la presión de evaporador, el émbolo será levantado y cerrará el orificio.

La figura R10-8 es una representación de una válvula termostática de expansión, con las presiones y temperaturas agregadas. Se muestra la válvula ajustada para 10 °F de sobrecalentamiento y la fuerza sobre el diafragma igual a 11 veces la suma de las dos fuerzas abajo de él: esto es, la fuerza del resorte más la fuerza debida a la presión en el evaporador es igual a la fuerza debida a la presión en el bulbo. En esa figura se usa R-12. La presión del evaporador es 37 psig como se ve en el manómetro. Suponiendo que no hay caída de presión, esa presión se ejerce en la parte inferior del diafragma.

Si el diafragma tiene 1 pulg² de superficie, la fuerza debida a la presión será 37 lb. La fuerza del resorte, ajustada a mano, también se ejerce en la parte inferior del diafragma y es igual a 9.7 lb, como se ve en el círculo. La fuerza total en la parte inferior del diafragma es 9.7 + 37, o sean 46.7 lb.

El gas que sale del evaporador tiene un sobrecalentamiento de 10 °F. Esto indica que la temperatura del gas al final del evaporador será 10 °F mayor que la temperatura de saturación que corresponde a la presión del evaporador. La presión del evaporador es 37 psig, que corresponde a 40 °F. Como el gas que sale del evaporador tiene un sobrecalentamiento de 10 °F, la temperatura al final del evaporador será 40 °F más 10 °F, o sea 50 °F, como se ve en el termómetro. La temperatura del bulbo de la válvula termostática será entonces 50 °F. Si hay R-12 líquido en el bulbo a 50 °F, su presión será 46.7 psig. Esa presión se transmitirá a la parte superior del diafragma a través del tubo capilar. El diafragma tiene .1 pulg² de superficie, y

entonces la fuerza que ejerce el bulbo sobre él será 46.7 lb. Como las fuerzas en la parte superior e inferior del diafragma son iguales, la válvula está en equilibrio y el resultado es un flujo continuo y uniforme de refrigerante al evaporador. La válvula permanecería en esta posición siempre que no hubiera cambio de carga térmica en el evaporador.

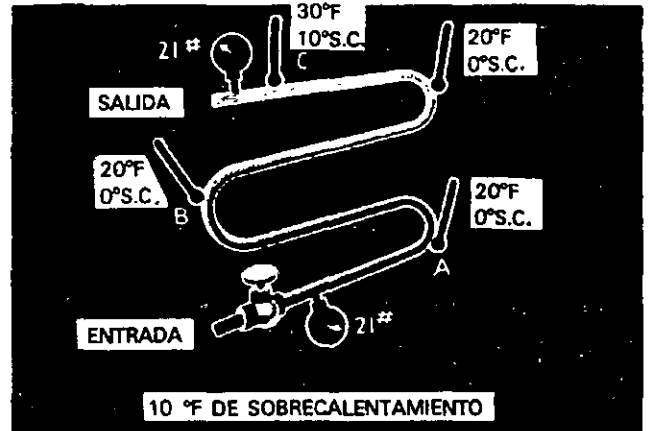


FIGURA R10-5 10 °F de sobrecalentamiento. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

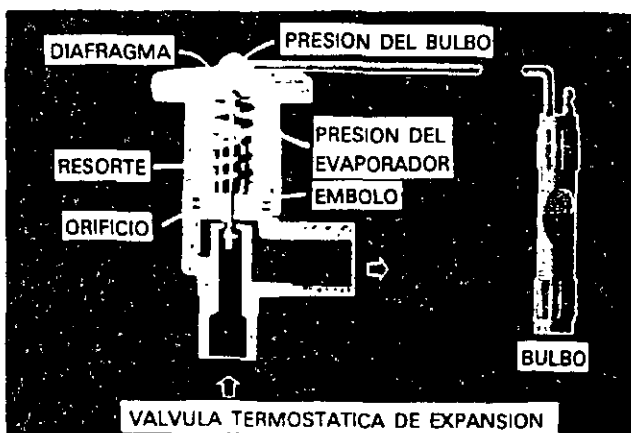


FIGURA R10-6 Válvula termostática de expansión. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

Para compensar la caída de presión en el evaporador, se usa una válvula con igualación o compensación externa (figura R10-9). En esa válvula la conexión interna de compensación se elimina y la presión en la parte inferior del diafragma se toma del extremo del serpentín cerca del bulbo térmico, como se ve. Todas las demás condiciones son iguales, pero la presión del evaporador abajo del diafragma ha disminuido a 37 psig, como el diafragma tiene 1 pulg² d. superficie, la fuerza total en su parte de abajo es 37 lb +9.7 lb, o sea 46.7 lb. Con 46.7 lb sobre el diafragma, como se ve en el círculo y que corresponde a una presión de 46.7 psig, la válvula estará en equilibrio a 10 °F de sobrecalentamiento.

En esta explicación del funcionamiento de la válvula no se ha tenido en cuenta la caída de presión en el serpentín. La válvula con compensación externa toma las presiones de operación del punto del serpentín en el que se mide el sobrecalentamiento, y no se afecta para nada por la presión en el principio del serpentín. Siempre que se tiene una caída de presión de varias libras por pulgada cuadrada, se debe usar una válvula termostática de expansión con compensación externa.

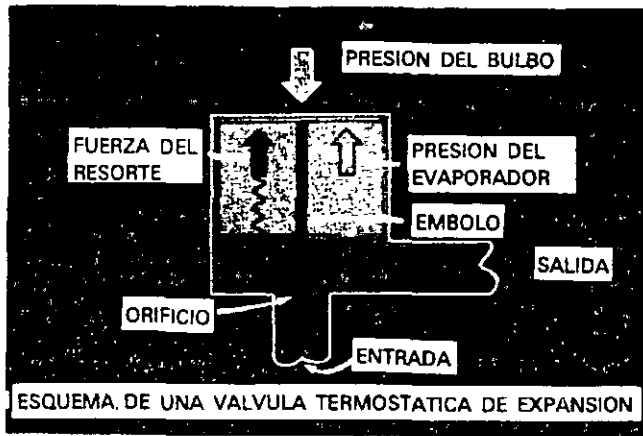


FIGURA R10-7 Esquema de una válvula termostática de expansión (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

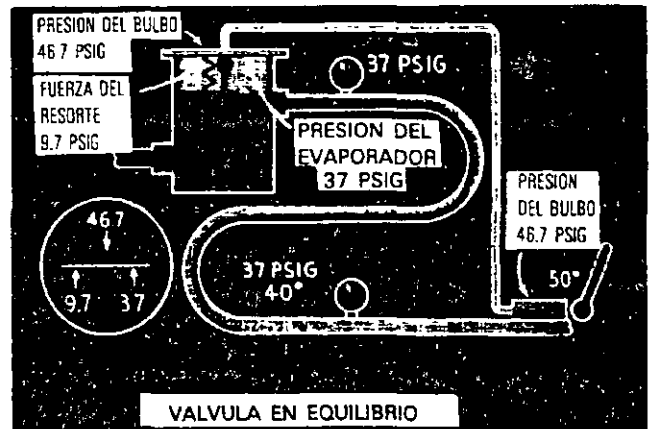


FIGURA R10-8 Esquema de una válvula en equilibrio (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

La válvula termostática de expansión es el dispositivo medidor más versátil de todos. Se puede usar ya sea como dispositivo primario de medición, o como piloto para control del evaporador en casi cualquier aplicación. Sin embargo, debido a su complejidad, los ingenieros de aplicación y de servicio deben comprender íntegramente su funcionamiento para poder obtener buenos resultados.

En la figura R10-10 se muestran tres puntos importantes que se deben recordar. El primero es que la superficie de contacto entre el bulbo de la válvula termostática de expansión y el tubo de succión debe estar tan limpia y su contacto tan estrecho como sea posible para asegurar una buena transferencia de calor. La temperatura del bulbo debe ser tan cercana como sea posible a la del gas que sale.

La parte central de la figura R 10-10 muestra la importancia de la posición del bulbo en el tubo de succión. Pueden pasar aceite o refrigerante líquido por el fondo del tubo, con lo que se obtendría una indicación falsa. El bulbo debe colocarse de tal modo que se obtenga la temperatura del gas y no la del aceite o del refrigerante líquido. La aplicación o el tamaño del tubo determinarán la posición de ese bulbo en tubo, pero nunca se debe colocar en la parte inferior.

La parte derecha de la figura R10-10 muestra la posición del conducto de compensación. Debe estar corriente abajo del bulbo, para que una fuga ligera por la empaquetadura no afecte la temperatura del bulbo. De muchos puntos importantes sólo tres se indican en relación con la aplicación de la válvula termostática de expansión. Esta válvula es un dispositivo excelente de medición, pero requiere de comprensión y manejo adecuados.



FIGURA R10-9 Válvula con compensación externa (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company)

Este dispositivo es un dispositivo excelente de medición, pero requiere de comprensión y manejo adecuados.

R10-5 AJUSTE DE VALVULAS TERMOSTATICAS DE EXPANSION

El mejor modo de ajustar esta válvula es abrirla primero para que haya muy poco sobrecalentamiento, de forma que la escarcha llegue un poco más allá del bulbo. A continuación cierre gradualmente la válvula (o sea, aumente el sobrecalentamiento) hasta que la escarcha esté apenas atrás del bulbo. Cambie el ajuste en etapas pequeñas y espere cuando menos 15 minutos de funcionamiento antes de hacer el siguiente ajuste.

El objeto principal de usar una válvula termostática de expansión es obtener toda la refrigeración posible de un evaporador, manteniéndolo activo en su totalidad. Si esto no sucede, no vacile en ajustar la válvula termostática para tener menor sobrecalentamiento: abra la válvula, si parece ser esa la causa de la actividad parcial. Para el tornillo de ajuste. La válvula se debe reajustar para tener mayor sobrecalentamiento (es decir, cerrarla un evaporador tiene demasiado líquido, si el tubo tiene escarcha, o si llega líquido a golpes al compresor, todo lo cual parece indicar poco o nada de sobrecalentamiento).

Como regla, la válvula termostática de nunca necesita ajuste, después de haberla instalado en forma correcta. Si en la instalación se ajusta al sobrecalentamiento correcto para que el serpentín este completamente activo, y después se ve que sólo está parcialmente activo, es muy poco probable que se necesite reajustar la válvula ya que posiblemente sea otra la causa por la que vario el sobrecalentamiento, y no la válvula termostática de expansión.

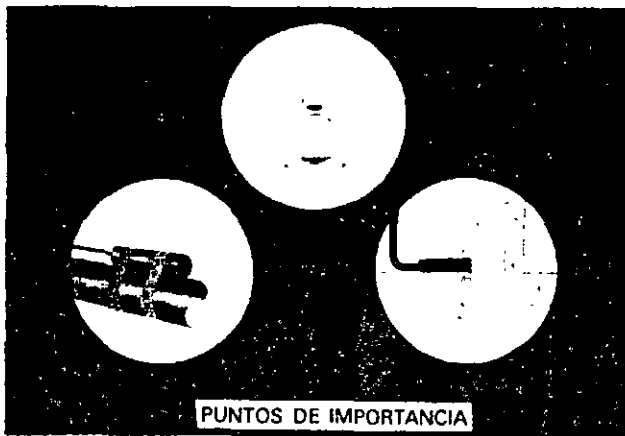


FIGURA R10-10 Puntos importantes. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

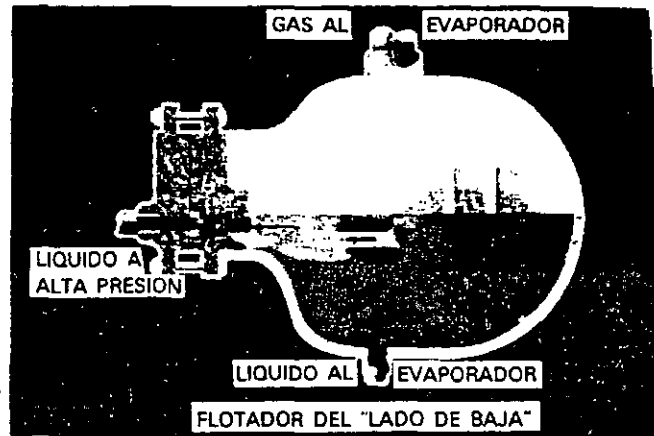


FIGURA R10-11 Flotador del lado de baja. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

R10-6 CONTROLES DE FLOTADOR

La figura R10-11 muestra un flotador de baja presión. El nombre se debe a que la pera del flotador está en el de lado de baja presión, o en el *lado de baja* del sistema. El medio principal de control es el nivel del líquido en la cámara del -flotador, como se muestra.

Este tipo de control siempre se usa con un evaporador, inundado. La bola del flotador puede estar el evaporador o en una cámara adyacente a él. Si se usa la cámara, se debe conectar su parte superior e inferior del evaporador, para que el nivel de líquido en ambas permanezca igual siempre.

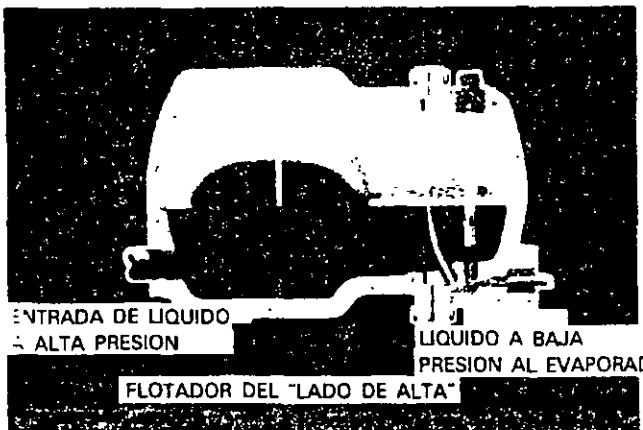


FIGURA R10-12 Flotador del lado de alta (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

A medida que aumenta la carga en el evaporador, hierve más líquido y el nivel de éste en el evapora la cámara del flotador baja. El flotador desciende con el nivel hasta el orificio abre y admite más líquido del lado de alta presión. Cuando baja la carga del evaporador hierve menos líquido y el flotador sube hasta que cierra al orificio. En la figura se muestra el tipo más sencillo de mecanismo flotador, pero esa válvula puede tener muchas formas.

El flotador de baja presión es considerado ser uno de mejores dispositivos de medición de que se dispone para el sistema inundado. Da un control excelente y su simplicidad lo hace casi libre de problemas. Se puede encontrar en cualquier aplicación inundada, grande o pequeña, y se puede usar con cualquier refrigerante. En los sistemas más grandes, se usa en general como dispositivo piloto.

La figura R10- 12 muestra un flotador de alta, o de lado alta. Se instala en el lado de alta del sistema y está sumergido en líquido a alta presión, que es el control primario. Este tipo de

válvula de medición sólo se puede usar en un sistema que tenga una carga "crítica" de refrigerante. A medida que el gas caliente se condensa pasa al dispositivo medición. Al aumentar el nivel de líquido en la cámara del flotador, éste

abre y permite que el refrigerante pase al evaporador. Este control permite que el líquido pase al evaporador a la misma rapidez con que se condensa; por lo o. no puede haber reserva en el sistema para almacenamiento automático de refrigerante líquido que no sea el evaporador. Por ello, una carga mayor de refrigerante ocasiona que el líquido inundara hasta el compresor, y una falta de carga de refrigerante ocasionaría que al evaporador le faltara refrigerante. Con frecuencia, se usan acumuladores de succión para hacer menos crítica la carga de refrigerante.

R10-7 TUBOS CAPILARES

Los tubos capilares se clasifican igual que las válvulas de expansión, válvulas de flujo, etc., y se llaman dispositivos de control de refrigerante. En el caso del tubo capilar esto constituye un grave error, porque un tubo capilar no controla el flujo del refrigerante que pasa al serpentín. Un tubo capilar sólo es un tramo de tubo de sección transversal muy pequeña, en general entre los límites 0.030 y 0.085 "de diámetro interior, y de longitud suficiente, dependiendo del diámetro interno, para producir la caída deseada de presión. El tubo capilar no cambia su tamaño o longitud y debe depender de la diferencia entre las presiones alta y baja en el sistema para producir los resultados deseados (figura R 10- 13).

Por lo tanto, el dimensionamiento de los tubos capilares se debe hacer a las condiciones establecidas de diseño del sistema particular de refrigeración. El funcionamiento a otras condiciones distintas afecta en forma adversa al funcionamiento del sistema. Los tubos capilares se aplican mejor cuando la carga es bastante constante, como por ejemplo en los refrigeradores, congeladoras, acondicionadores pequeños de aire, y hasta en sistemas comerciales pequeños o residenciales de aire acondicionado.

Si se cree que el sistema va a trabajar entre unos márgenes amplios de carga, se necesita un método más directo de reducción de presión y control de volumen de refrigerante. En este caso, el dispositivo recomendado es la válvula termostática de expansión.

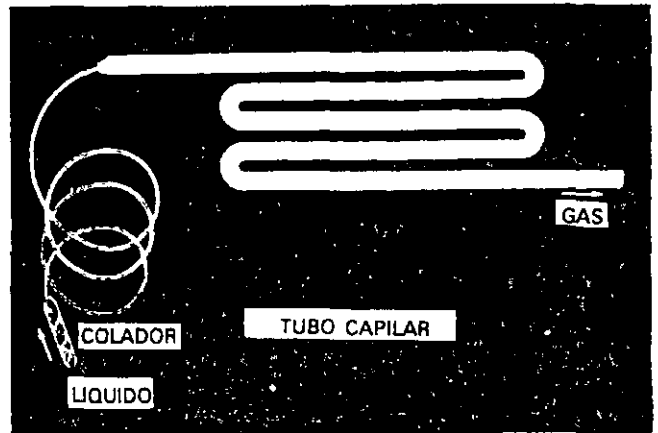


FIGURA R10-13 Tubo capilar

R10-7.1 Ventajas del empleo de tubos capilares

Sin embargo, hay algunas ventajas con el uso de un tubo capilar para reducir la presión.

1. La primera y principal es el costo. El motivo principal para el desarrollo de esta aplicación fue reducir el precio reduciendo los costos de materiales.
2. Un segundo motivo para usar el tubo capilar es que es menor la necesidad de par de arranque del motor. Es durante el ciclo **APAGADO** ("OFF") cuando se hace aparente esta ventaja. Una válvula de flotador o de expansión mantiene un sello entre los lados de alta y baja presión del sistema, cuando se para el compresor. Al aumentar la presión en el evaporador, cierra la válvula de expansión, y la reducción del punto de ebullición del refrigerante en el flotador del lado de baja evita que abra el flotador. Así, la presión de impulsión permanece alta y la presión de succión baja. Cuando el compresor trata de conectar el interruptor, existe una diferencia de presión contra la cual debe ponerse en marcha el compresor, y se necesita mayor par de arranque.

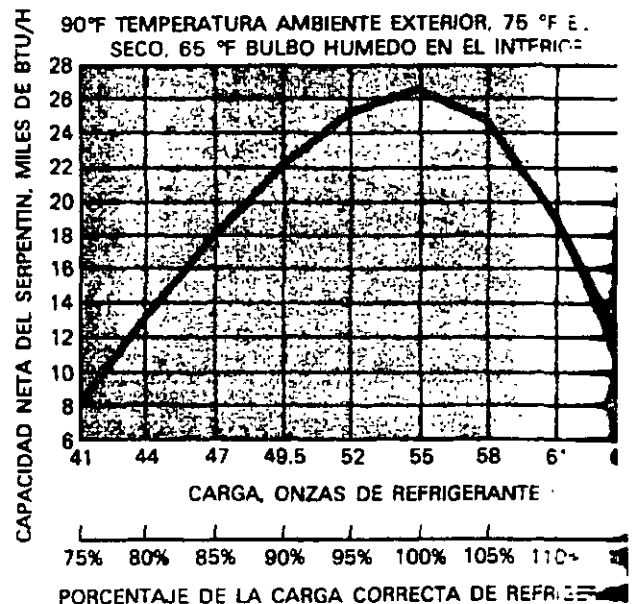


FIGURA R10-14 Capacidad neta del serpentín como de la cantidad de carga del refrigerante.

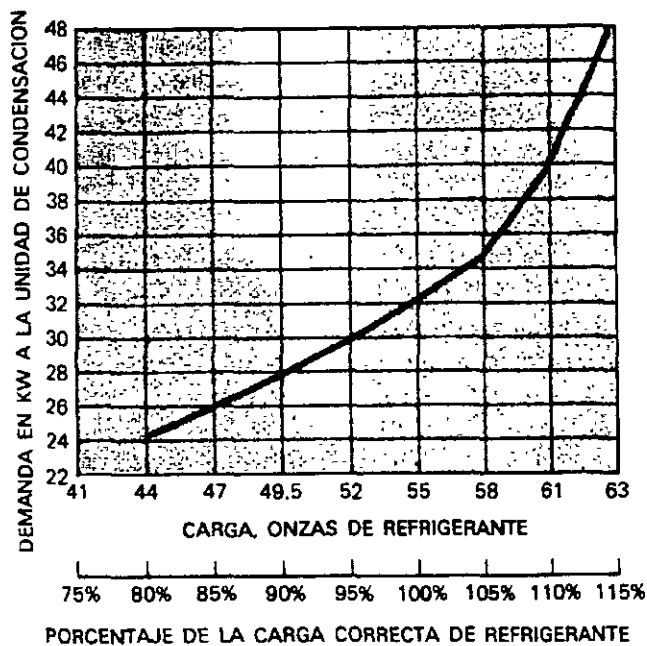


FIGURA R10-15 kW de demanda en función de la cantidad de carga del refrigerante.

Por otro lado, el tubo capilar no mantiene un sello, porque es un tubo abierto. Cuando para el compresor, el refrigerante continúa pasando por los tubos capilares hasta que se igualan las presiones de los lados de alta y de baja. Entonces el compresor queda sin carga y se necesita relativamente bajo par para ponerlo a trabajar de nuevo. Esto permite normalmente el empleo de un conjunto motor-compresor hermético de bajo par que haya sido diseñado para aplicación con tubo capilar. Cuando la unidad se enciende, la presión comienza a aumentar de inmediato y el líquido a pasar a través del tubo capilar. La capacidad de flujo del capilar depende más de la presión de impulsión que de la presión en la succión. En realidad, la caída de presión a través del tubo capilar es el factor que manda. Como la presión de impulsión no crece con mucha rapidez, el compresor va a bombear al vapor de refrigerante para sacarlo del serpentín a una rapidez mayor que la normal y la presión de succión bajará con rapidez y se tendrán presiones abajo de lo normal. Así se seguirá hasta que el condensador se sature térmicamente a su temperatura y presión normales de operación.

No trate de juzgar el funcionamiento de un tubo capilar hasta que haya transcurrido un tiempo suficiente de funcio-

namiento con objeto de estabilizar la presión de impulsión.

R10-7.2 Desventajas del empleo de tubos capilares

También hay algunas desventajas con el empleo de tubos capilares:

1. Como se explicó antes, el tubo capilar no tiene la capacidad de regular el flujo de refrigerante. Por lo tanto, cuando disminuye, o aumenta, la carga de la unidad, la eficiencia del sistema disminuye con mayor rapidez que en los sistemas que usan válvula termostática de expansión.
2. El tubo capilar no detiene el flujo del refrigerante cuando se para la unidad. Esto es una ventaja desde el punto de vista de las necesidades de par de arranque, pero posiblemente es una desventaja para la vida mecánica del compresor. La cantidad de refrigerante en el sistema puede reducir seriamente la vida del compresor. El sistema no debe contener más refrigerante líquido que el que pueda tener el serpentín de evaporación durante el paro del ciclo. El serpentín debe estar tan lleno de refrigerante cuando el ciclo está trabajando, para tener capacidad máxima, y por lo tanto se debe mantener un equilibrio entre esas dos cantidades.

Los volúmenes del sistema se diseñan para que el fabricante logre lo anterior, y cuando se especifica la carga del refrigerante, que es la cantidad que se pone en un sistema, *no se debe rebasar esa cantidad*. Las figuras R10-14 a R10-16 muestran el efecto de la cantidad cargada de refrigerante en la operación de una unidad de aire acondicionado de 2 hp. La curva de la figura R10-14 muestra la capacidad neta del serpentín, o sea, la capacidad de enfriamiento recinto, de una unidad que trabaja a 90 °F (32°C) de temperatura exterior ambiente y 75 °F (24 °C) y 63°F (17°C) interior de bulbo seco y bulbo húmedo, respectivamente (50% de humedad relativa).

Cuando la carga del refrigerante es el 100% de la cantidad necesaria la capacidad neta de la unidad fue 26,400Btu/h. Cuando la carga de refrigerante aumentó 5% (84 grams, 3 onzas), la capacidad bajó a 24,600 Btu/h. con

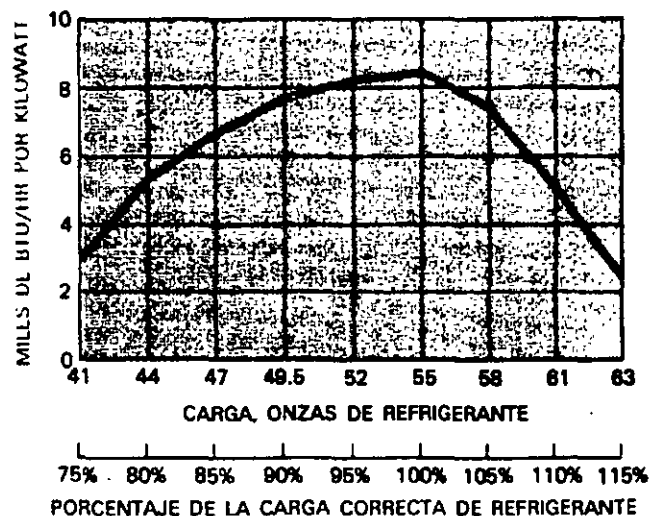


FIGURA R10-16 Relación de eficiencia de energía como función de la cantidad de carga del refrigerante.

otro aumento de 5% (84 g, 3 onzas), la capacidad disminuyó 19,000 Btu/h. Una sobrecarga total de 9 onzas (250 g) redujo la capacidad a 13,000 Btu/h.

Hacia el otro lado partiendo de la carga correcta, cuando la cantidad se redujo 5% (84 g, 3 onzas), la capacidad neta bajó a 25,000 Btu/h, y otro 5% (70 g, 2.5 onzas) redujo la capacidad a 22,000 Btu/h. Una reducción más de 5% (7 g, 2.5 onzas) redujo la capacidad a 18,000 Btu/h de lo anterior se puede llegar a la conclusión que la carga correcta produce la mejor capacidad neta.

La figura R 10- 15 muestra el consumo de potencia en kilowatts que tiene la unidad para manejar la carga. A 100% de carga lo necesario fueron 3.195 kW; con 5% sobrecarga, 3.45 kW; con 10% de sobrecarga, 3.97 kW de sobrecarga, 4.8 kW. Cuando se redujo la carga a 95% de lo necesario, el consumo fue 2.97 kW; a 90% de carga, 2.77 kW, y a 85% de carga, 2.57 kW.

La comparación verdadera del sistema es la eficiencia de operación, la relación de eficiencia de energía (EER). Esta se calcula dividiendo la capacidad neta en Btu/h la potencia eléctrica necesaria para producir esa capacidad. La figura R 10- 16 muestra la curva de la EER de la unidad de ejemplo a diversas cantidades de refrigerante. A 100% de carga de refrigerante, la EER fue 8.4; a 105% de carga, 7.45; a 110% de carga, 5.1, y a 115 %, 2.4. Del lado de la falta de carga, a 95% de carga resultó una EER de 8.2; a 90%, 7.7 y a 85%, 6.75. Esto hace resaltar que en los sistemas de refrigeración con tubo capilar, la cantidad de refrigerante en el sistema debe ser exacta. La tolerancia de variación de carga es 1 onza de más o de menos.

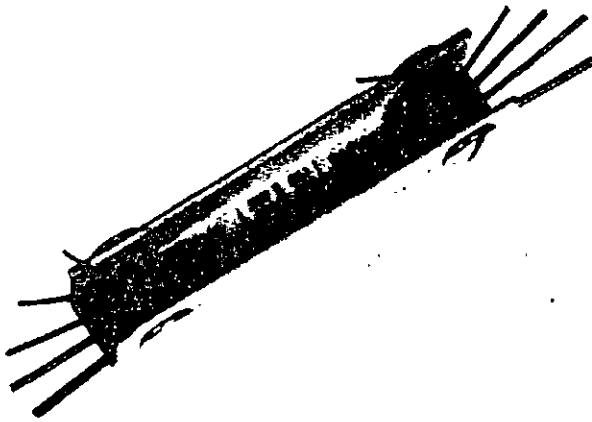


FIGURA R10-17 Calibrador de tubos capilares. (Cortesía de Thermal Engineering Company.)

R10-8 CAMBIO EN LOS TUBOS CAPILARES

No trate de cambiar ni el diámetro ni la longitud de los tubos capilares del sistema. Con un calibrador de capilares como el de la figura R 10- 17, determine el diámetro interior del tubo. Una regla exacta para determinar la longitud física es dejar 1 pulgada en cada extremo para inserción en la salida del condensador y entrada del serpentín. Cambie el tubo capilar con el *diámetro y la longitud exactos del original*. No trate de sustituirlo por uno de distinto diámetro o longitud. Si no tiene el tamaño correcto consígalo.

PROBLEMAS

- R10-1 Dar el nombre de cinco dispositivos principales de reducción de presión que se usan en los sistemas de refrigeración.
- R10-2. ¿Cuál es la desventaja de una válvula automática de expansión?
- R10-3 Una válvula termostática de expansión regula el punto de ebullición del refrigerante según la carga y el serpentín, manteniendo un _____ bastante constante.
- R10-4 ¿Cuáles son las tres fuerzas que se usan para hacer trabajar una válvula termostática de expansión?
- R10-5 De las tres fuerzas que hacen trabajar una válvula termostática de expansión, ¿cuáles son las dos que se oponen a la tercera?
- R10-6 El bulbo sensor de la válvula termostática de expansión siempre debe colocarse en el tubo de succión, entre las direcciones de las 4 y las 8 horas ¿Cierto o falso?
- R10-7 ¿Cuáles son las dos desventajas principales de usar tubos capilares como dispositivos de reducción de presión?
- R10-8 ¿Cuáles son las dos desventajas de usar tubos capilares como dispositivos de reducción de presión?



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



666

...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

COMPRESORES

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

R11-1 HISTORIA

Los primeros modelos de compresores para refrigeración fueron principalmente los verticales de acción sencilla, típicos en las máquinas de amoníaco, como el que se ve en la figura R 11-1. Como el amoníaco era el refrigerante que más se usaba en esos días, estos compresores eran muy pesados para poder resistir presiones muy altas y, en comparación con los diseños modernos de compresor, los antiguos trabajaban a velocidades relativamente bajas. Los progresos en el diseño de válvulas, sellos de ejes de compresor, cojinetes y sistemas de lubricación ocasionaron un aumento gradual en la velocidad de trabajo. Ello permitió que los compresores fueran más pequeños para determinado caballaje, porque se obtuvieron mayores desplazamientos con el funcionamiento a altas velocidades.

También, con la introducción de refrigerantes nuevos, influyeron en forma apreciable sobre los diseños y desarrollo de los compresores. Por ejemplo, al usar amoníaco, todas las partes del sistema expuestas al refrigerante debieron ser fabricadas en acero. La llegada del dióxido de azufre y el cloruro de metilo como refrigerantes hicieron posible en algunos casos el empleo de metales no ferrosos. El advenimiento de los refrigerantes de hidrocarburos halogenados, sin embargo, fue quizá lo que tuvo mayor efecto sobre el diseño de los compresores. Se hizo posible usar metales no ferrosos como por ejemplo el aluminio. En forma simultánea a la introducción del R-12, se popularizó el compresor de tipo herméticamente sellado.

El desarrollo de los compresores para aplicaciones de refrigeración comercial y aire acondicionado, se ha visto muy influido por el empleo de los compresores en los refrigeradores domésticos. Los compresores herméticamente sellados y los dispositivos de alimentación de refrigerante por tubo capilar se comenzaron a usar y su empleo quedó demostrado en aplicaciones de refrigeradores domésticos. En los primeros años de la década de 1930 los compresores herméticamente sellados comenzaron a ser la norma para los fabricantes de refrigeradores domésticos. En pocos años desaparecieron prácticamente los compresores accionados por bandas de los refrigeradores domésticos. Los fabricantes de gabinetes para helados, enfriadores de bebidas, de agua, etc., fueron quienes adoptaron después los compresores herméticamente sellados.

En 1935 se introdujo el primer compresor hermético para aire acondicionado, y en los primeros años de la década de 1940 la mayoría de los fabricantes de equipos de aire acondicionado cambiaron al compresor hermético en sus productos. Hoy día continúa la tendencia hacia el uso de compresores herméticos tanto en la refrigeración como en el aire acondicionado comerciales.

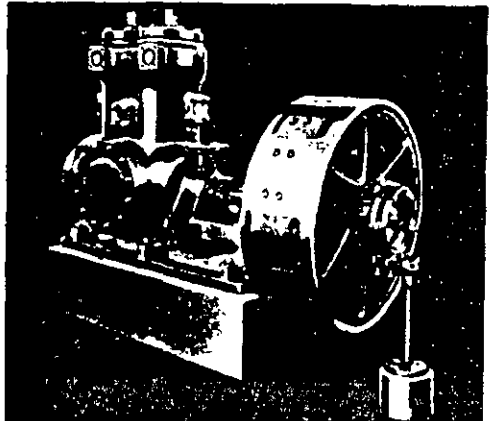


FIGURA R11-1 Compresor de amoníaco de acción sencilla (Cortesía de Borg-Warner Air Conditioning, Inc.)

R11-2 DISEÑOS

Con frecuencia se dice que el compresor es el corazón de cualquier sistema de refrigeración. En el capítulo R6 se mencionaron en términos generales los cuatro tipos de compresores; volvamos a mencionarlos como sigue:

- 1. Compresores de desplazamiento positivo
 - Alternativos -Rotatorios -Helicoidales, de tornillo o de gusano
- 2. Compresores cinéticos
 - Centrífugos

Los compresores de desplazamiento positivo, como el que se ve en la figura R1 1-2 se llaman así debido a que la capacidad máxima es función de la velocidad y del volumen del desplazamiento del cilindro. Como normalmente la velocidad es fija, como 1750 o 3500 rpm para los

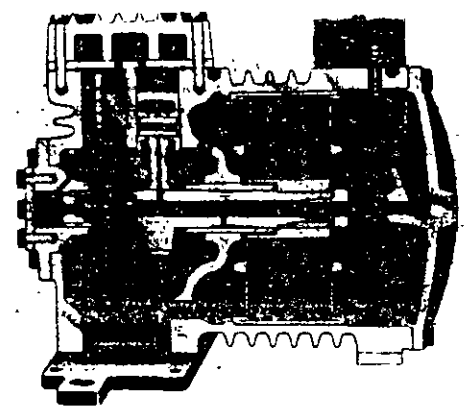


FIGURA R11-2 Compresor alternativo (Cortesía de Copeland Corporation.)

normales herméticos, el volumen o peso del gas (refrigerante) que se bombea es una relación mecánica del número de carreras por minuto multiplicado por el volumen del o los cilindros

El compresor cinético (centrífugo) se muestra en la figura R11-3 y a veces se llama *turbocompresor*; es un miembro de la familia de turbo maquinaria, que comprende ventiladores, hélices y turbinas, en las cuales la fuerza de bombeo depende de la velocidad del impulsor y del momento angular entre el impulsor rotativo y el fluido (refrigerante). Como los flujos son continuos, las turbo máquinas tienen mayores capacidades volumétricas para determinado tamaño, en comparación a las de desplazamiento positivo. Sin embargo, en la actualidad, el diseño y costo de esos compresores no se presta a aplicaciones de menor cuantía (de 50 ton o menos). Las máquinas centrífugas comienzan en los límites de 80 a 90 ton y van hasta 8000 ton o más.

Entre los compresores de desplazamiento positivo, los compresores alternativos, mal llamados recíprocos, han ganado la más amplia aceptación, en tamaños desde cabalaje fraccionario hasta los límites de 100 a 150 ton. De ese punto en adelante se pasa a los compresores centrífugos.

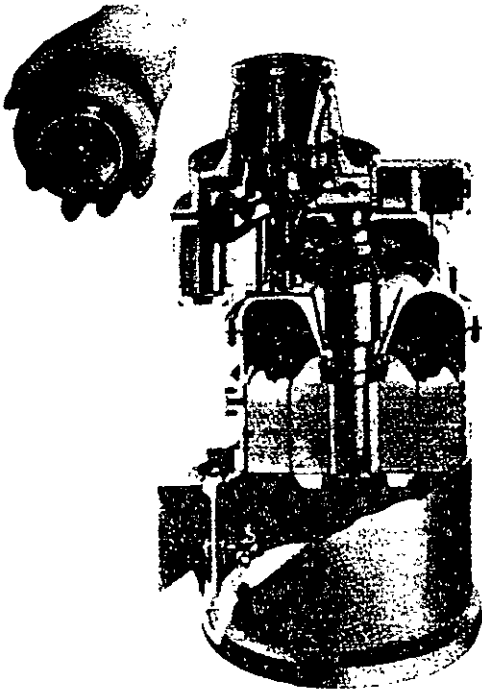


FIGURA R11-3 Compresor centrífugo. (Cortesía de Borg-Warner Air Conditioning, Inc.)

Como se dijo en el capítulo R6, el compresor rotatorio (figura R 11-4) se usó principalmente en los tamaños pequeños, de cabalaje fraccionario, en refrigeradores. Sin embargo, más recientemente, el compresor rotatorio ha adquirido popularidad en el campo de acondicionamiento de aire residencial, en capacidades de 11 a 5 ton.

El compresor rotatorio no se ha adaptado al servicio comercial de refrigeración, quizá porque en general es ineficiente para bombear contra una presión de descarga muy alta, en especial cuando trabaja a baja presión de succión.

El compresor helicoidal, de gusano o de tornillo (figura R 11-5) también es del tipo de desplazamiento positivo y trabaja en forma satisfactoria en un amplio margen de temperaturas de condensación. Se ha empleado para refrigeración en Estados Unidos desde aproximadamente 1950. El diseño original fue inventado y patentado en Suecia al principio de la década de 1930:

La figura R11-6 muestra el ciclo de compresión de un compresor de tornillo:

1. El gas entra y llena el espacio entre los lóbulos adyacentes.
2. Al girar los rotores el espacio entre los lóbulos se mueve alejándose de la conexión de entrada, que sella ese espacio. Al continuar la rotación se reduce progresivamente el espacio que ocupa el gas, y se origina la compresión.
3. Cuando el espacio entre los lóbulos se abre a la conexión de salida, se descarga el gas.

El control de la capacidad se logra con recirculación interna del gas, y con ello se tienen capacidades uniformes hasta del 10% de la capacidad de diseño. Los tamaños actuales de las máquinas de tornillo en operación van desde 100 ton hasta 700 ton, basadas en las condiciones nominales de ARI para sistemas de agua helada. Al igual que el equipo centrífugo, las máquinas de tornillo no se usan hoy en refrigeración o acondicionamiento de aire de bajo tonelaje.

Así, el compresor recíproco se usa en más del 90% de esas unidades, que van desde cabalajes fraccionarios hasta 100 ton y por lo tanto deben ser el punto de partida del novato que se adiestra en compresores. El resto de este capítulo se dedica a ese tipo especial de compresores.

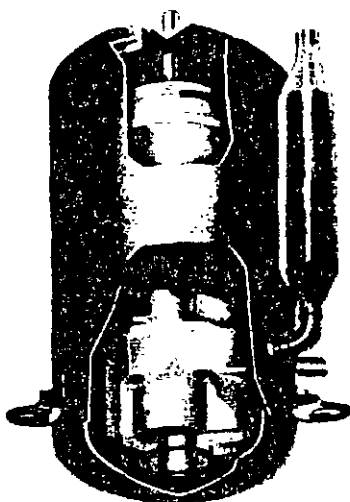


FIGURA R11-4 Compresor rotatorio. (Cortesía de Rotorex Company.)

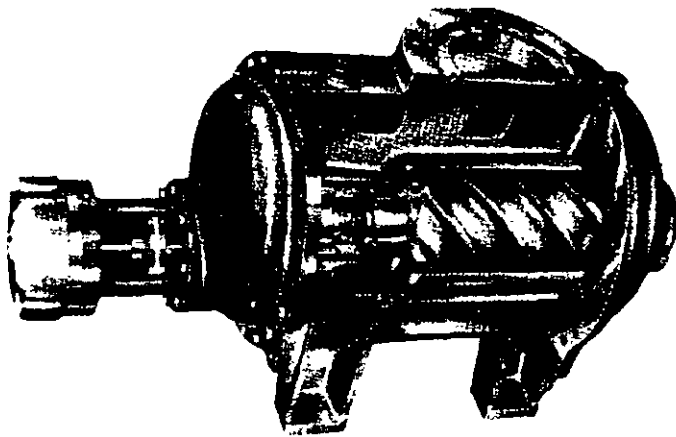


FIGURA R11-5 Compresor de tornillo. (Cortesía de Borg-Warner Air Conditioning, Inc.)

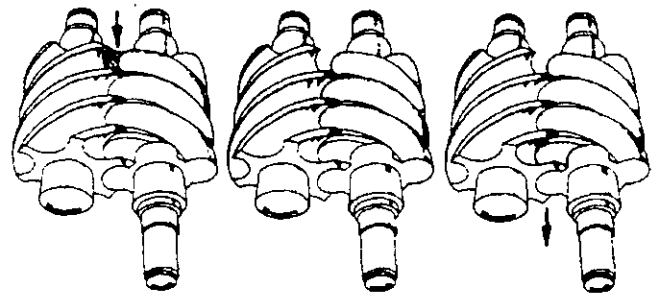


FIGURA R11-6 Ciclo de compresión del compresor de tornillo. (Cortesía de Borg-Warner Air Conditioning, Inc.)

R11-3 TIPOS DE COMPRESORES ALTERNATIVOS

Como se mencionó antes, la diferencia en las máquinas alternativas es el compresor hermético y el compresor tipo abierto. Por *tipo abierto* se entiende un compresor impulsado por un motor externo (figura RI 1-7), sea acoplado directamente o por transmisión de bandas. El de conexión directa necesita que un eje pase por la pared del cárter, del compresor y, por consiguiente, necesita de un sello de eje. En contraposición a este tipo de compresor está el compresor herméticamente sellado (figura RI 1-8), en el que el motor está en la misma caja que el compresor. Así, el compresor herméticamente sellado no tiene eje que sobresalga por el cárter y por lo tanto no necesita sello. Cada uno de esos tipos tiene ciertas ventajas sobre el otro.

Un compresor impulsado por bandas, de tipo abierto, es bastante flexible. Se puede variar su velocidad, y por lo tanto un solo compresor se puede usar para dos o tres unidades de distinto tamaño. Tan sólo cambiando el tamaño de la polea del motor y la holgura de las válvulas del compresor, en la mayor parte de los casos el mismo compresor se puede usar no sólo con motores de distintos tamaños, sino también para aplicaciones a temperaturas altas, medias ó bajas. Es la ventaja más aparente del compresor de tipo abierto, en comparación con el hermético. Otras ventajas son que este tipo de compresor se puede usar con motores para voltajes y frecuencias excepcionales, para los que no se producen compresores de tipo hermético. Esto ha sido factor importante en los mercados fuera de Estados Unidos en los que son distintos los voltajes y las fases; por ejemplo, en donde se dispone de corriente alterna de 50 ciclos (hertz) o de corriente directa. Los compresores herméticos no son adecuados para cd, y los motores abiertos sí.

A los compresores abiertos siempre se les puede dar servicio en el campo, lo cual no es válido en todos los herméticos. En caso de que se quemé el motor, es probablemente más fácil cambiar el motor de un sistema tipo abierto que en un sistema hermético, donde el motor está en contacto con el refrigerante. En el caso que se quemé un motor de un compresor herméticamente sellado, se debe cambiar toda la unidad y mandarla a un taller de reparación o a una fábrica para desarmarlo y reacondicionarlo. El refrigerante se debe descargar, el sistema limpiar para eliminar cualquier posibilidad de que pueda circular ácido en el sistema proveniente del aislamiento que se quemó.

Sin embargo, hay casos en los que los compresores herméticamente sellados tienen decididas ventajas en comparación con los del tipo abierto. Quizá la mayor de ellas es la eliminación del sello del eje. Los sellos de eje son vulnerables al polvo, a la falla temporal de lubricación, a cualquier cosa abrasiva que pueda acumularse en el sistema, como costras, y a daños físicos debidos a manejo inadecuado. Aunque los sellos que se producen ahora son mucho

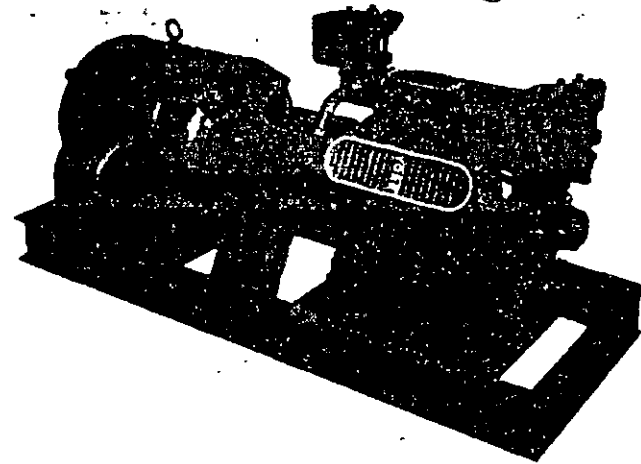
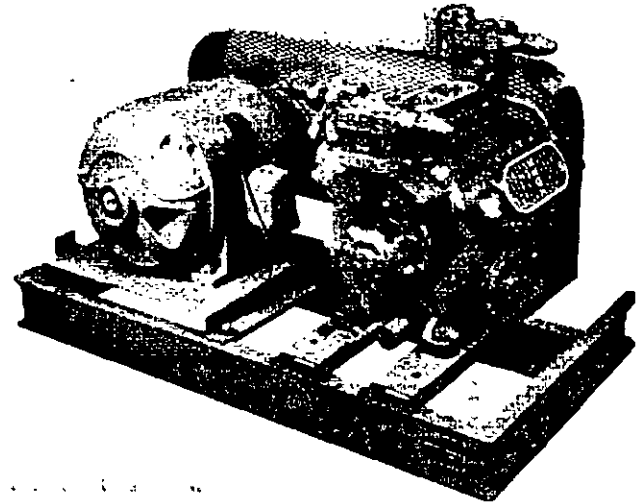


FIGURA R11-7 Compresores de impulsión abierta. (Cortesía de Borg-Warner Air Conditioning, Inc.)

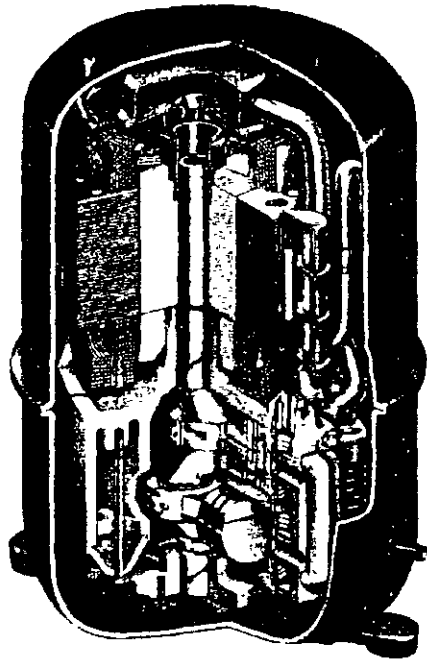


FIGURA R11-8 Compresor sellado hermético. (Cortesía de Tecumseh Products Company.)

temperatura, para secar el gas que entra.

Esta descripción de las ventajas relativas de los compresores abiertos y herméticos puede hacer que el lector suponga que los compresores abiertos se siguen usando mucho en la industria. En realidad representan una pequeña parte del número total vendido, y se usan principalmente en el área de refrigeración comercial o de enfriamiento en procesos, donde las temperaturas y condiciones del refrigerante son distintas y más variadas que las que se encuentran en el campo de aire acondicionado para climas. Hay un gran número de máquinas abiertas que todavía trabajan, durante el servicio o mantenimiento, es posible que un técnico se encuentre uno que necesite reparación o cambio, por lo tanto es importante comprender el fundamento del compresor de tipo abierto.

R11-4 COMPARACION ENTRE HERMETICOS REPARABLES EN CAMPO CON LOS TOTALMENTE SELLADOS

La mayor parte de los primeros compresores herméticos fueron del tipo reparable en campo, como se ve en la figura R11-9. Se les llamaba con frecuencia *hermético atornillado*, y puede desarmarse casi por completo en el campo para cambiarle las partes, una característica que es ventaja principal en las máquinas de grandes tonelajes, en las que tan sólo su peso hace que el desmontaje de una unidad completa sea física y económicamente indeseable.

Por otro lado, el hermético completamente sellado, o *hermético de caja soldada* (figura R11-10) no se puede componer en el campo y, sea cual sea el problema interno, por ejemplo falla de motor, rotura de válvulas o cualquier otra cosa, se debe regresar la unidad a un taller de reparaciones o a la fábrica. Se instala un compresor a cambio.

Los tamaños de los herméticos soldados se inician en los caballajes fraccionarios y en general pasan por los tamaños nominales hasta llegar a 7 1/2 ton; sin embargo, hay compresores en el mercado hasta de 20 ton, en una sola caja.

¿Tiene sentido cambiar un compresor completo? La respuesta es "sí" y no se trata necesariamente de una decisión técnica. Cuando se presentó el crecimiento explosivo del acondicionamiento de aire residencial en los últimos años de la década de 1950 se vio que nunca podría haber el

mejores que los de hace 15 o 20 años, siguen siendo una fuente potencial de problemas, en especial en un sistema de baja temperatura, en el que la presión del lado de baja puede ser un vacío bastante fuerte. En ese caso, un escape en el sell. permite que entre el aire y la humedad al sistema de refrigerante, lo cual es más serio que si se pierde el refrigerante del sistema.

Otras ventajas del compresor de tipo hermético son que su tamaño es menor, más compacto, más libre de vibraciones, y tiene su motor enfriado en forma continua, y lubricado en forma positiva. No hay bandas que necesiten de frecuentes ajustes y cambios.

Para tener un enfriamiento continuo, el motor de un compresor abierto depende del aire que rodea su armazón si éste se ubica en una zona de alta temperatura ambiente c mala ventilación, puede dificultarse la adecuada disipación de calor. En el diseño de motor hermético, el calor se disipa pasando gas frío de succión a través o alrededor del devanado del estator para recoger el calor del motor, y por lo tanto el refrigerante lleva ese calor al condensador, donde se disipa. Otra ventaja en este proceso es que el gas de succión se sigue sobrecalentando y ayuda a evitar que llegue refrigerante líquido a la succión del compresor, y esto tiene importancia en trabajos a baja

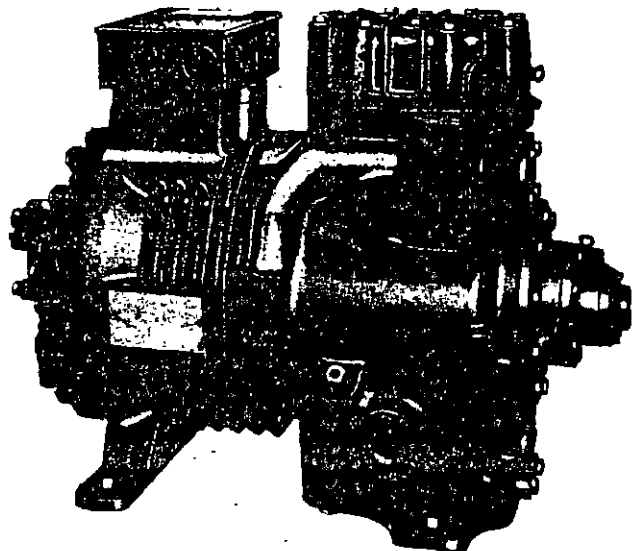


FIGURA R11-9 Compresor hermético atornillado. (Cortesía de Copeland Corporation.)

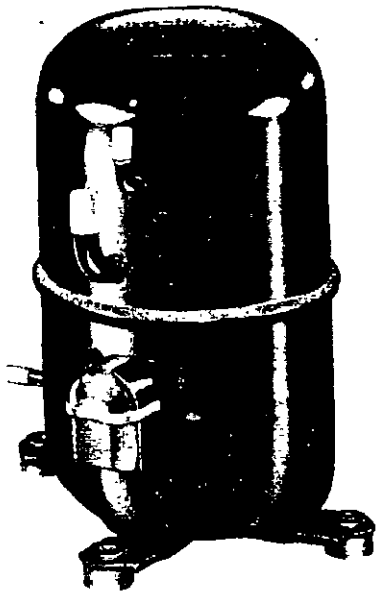


FIGURA R11-10 Compresor hermético soldado. (Cortesía de Tecumseh Products Company.)

número suficiente de técnicos adiestrados en la industria que pudieran manejar la reparación en el campo de millones de instalaciones con compresor. Tampoco tenía sentido para los fabricantes el almacenar en diversas localidades todas las partes necesarias para las reparaciones de campo; el impacto financiero hubiera sido asombroso.

La producción en masa y la normalización de los compresores trajo consigo una mejor calidad en la industria. Al mismo tiempo también se presentaron cambios técnicos en diseño de sistemas, desde los tubos de refrigerante fabricados en campo hasta los precargados. La confiabilidad del sistema y la vida esperada del compresor mejoraron con rapidez, hasta llegar al punto en que las frecuencias de falla representaron sólo un porcentaje muy pequeño, y, tenía sentido, desde el punto de vista económico, cambiar compresores completos de tamaños nominales hasta de 7 1/2 ton de capacidad. Entre 1 1/2 y 5 ton, que son los tamaños de la mayor parte del mercado del aire acondicionado residencial, y de muchas aplicaciones comerciales de refrigeración, se cree que los compresores de *soldado hermético* en alternativos, y los rotatorios, dominarán el mercado. Por lo tanto, desde el punto de vista del técnico de servicio no es absolutamente necesario ser capaz de desarmar

y volver a armar un compresor. Es más importante que el técnico se concentre en los procedimientos correctos de aplicación, instalación y localización de fallas para reducir al mínimo los problemas y las necesidades de mantenimiento.

El mecánico que interviene en trabajos comerciales más grandes y unidades de acondicionamiento de aire mayores, que necesitan reparación en campo, puede progresar en sus conocimientos de acuerdo a sus necesidades. En esta etapa, la capacidad de desarmar y volver a armar un compresor es más un arte que una ciencia, y es importante interpretar los procedimientos y diseño del fabricante.

El capítulo R6 describió en forma detallada las partes internas que trabajan en un compresor alternativo típico, así como los tipos de motores y arrancadores anexos que se usan con este compresor. Sin embargo, no se mencionaron varios factores que afectan el funcionamiento y la vida de los compresores.

Casi todos los motores que se usan en aplicaciones de refrigeración son *motores de inducción*, y se llaman así porque la corriente en la parte móvil del motor es inducida, ya que esa parte móvil no tiene conexión eléctrica con la fuente de corriente. La parte estacionaria de un motor de inducción se llama *estator*, y la parte móvil, *rotor*. Los devanados del estator están conectados con la toma de corriente, mientras que el rotor está montado en su eje, y la rotación del rotor es la que da al motor su fuente de energía.

R11-5 LUBRICACION

En los sistemas de refrigeración, las partes móviles de diversos componentes crean fricción, que puede ser destructiva para las superficies metálicas. Además, la fricción ocasiona un aumento de temperatura de las partes móviles que intervienen en ella. Como una lubricación adecuada reduce los daños posibles a causa de la fricción, es un aspecto importante en el mantenimiento de los componentes mecánicos. El compresor necesita una lubricación adecuada en sus cojinetes, pistones y engranajes.

En el caso de un compresor alternativo, el espacio entre el pistón y la pared del cilindro debe sellarse para que todo el vapor del refrigerante pueda ser impulsado hacia afuera del cilindro y entrar al tubo de descarga de gas caliente. Este sello se logra mediante el aceite de refrigeración, porque se mueve junto con el vapor comprimido del refrigerante. Si la capa de aceite no sella el espacio cuando el pistón se mueve de un lado

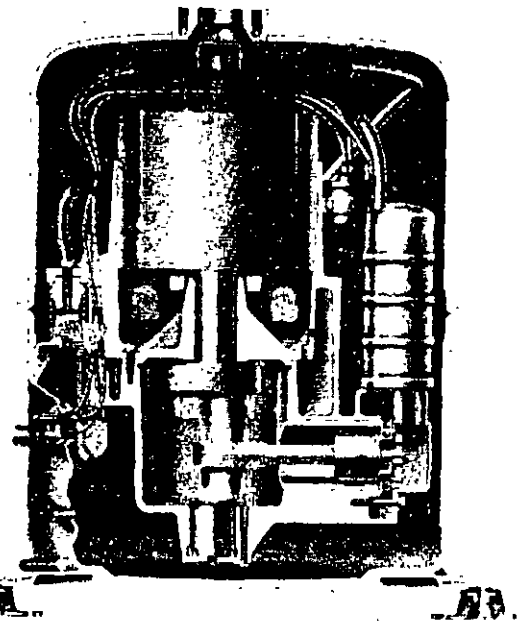


FIGURA R11-11 Sistema de lubricación a presión para el compresor (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

a otro, algo del vapor pasa al cárter del compresor, ocasionando una pérdida de eficiencia.

Como se mencionó antes, el aceite que se usa en los sistemas de refrigeración se mezcla y se mueve con la mayor parte de los refrigerantes en estado líquido. Es indispensable que el aceite del cárter salga del compresor y entré al condensador por el tubo de gas caliente. Para mantener una lubricación correcta de las partes móviles y mantener nivel correcto de aceite en el cárter del compresor, el aceite debe completar el circuito junto con el refrigerante, para después regresar al compresor.

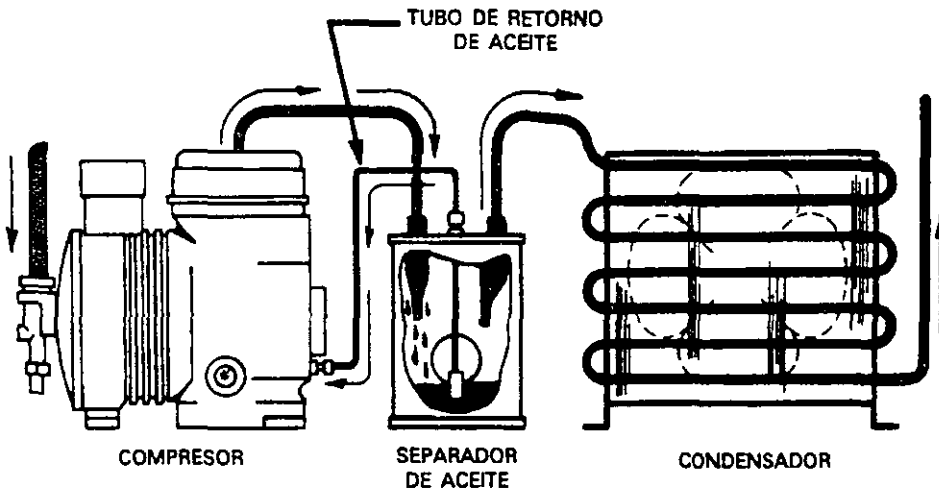


FIGURA R11-12 Corte de un separador de aceite (Cortesía de E. I. du Pont de Nemours and Company.)

Cuando sucede esto, y no se bombea aceite al cilindro, el sello de vapor desaparece y el compresor pierde eficiencia. Si continúan estas condiciones durante un tiempo largo, se dañará el compresor.

Se usan principalmente dos métodos para tener una lubricación adecuada en los compresores: 1) el sistema de salpicadura, y 2) el sistema de alimentación forzada o a presión (figura R 11 - 11). En el primer método, la lubricación se inicia por el giro del cigüeñal en el aceite del cárter. Hay botadores en el cigüeñal que se sumergen en el aceite y arrojan a los cojinetes o venas pequeñas que van a los cojinetes y al sello. También el aceite es arrojado hacia los pistones y las paredes del cilindro, para mantener el sello vapor entre esas partes. No se puede dejar de mencionar la importancia de mantener el nivel correcto de aceite en el cárter, así como la necesidad de mantener en movimiento el aceite por el sistema, junto con el refrigerante.

Se usa una bomba pequeña en el sistema a presión, para impulsar al aceite a los cojinetes, sello, pernos de pistón-pistones y paredes del cilindro. Un compresor con este tipo sistema de lubricación, naturalmente, es más costoso que el que usa el sistema de salpicadura, pero el anterior da más protección y seguridad de una buena lubricación del compresor siempre que haya un suministro correcto de aceite en el cárter.

Algunos compresores son por naturaleza "bombedores" de aceite. Esto es, bombean aceite y lo sacan con el vapor del refrigerante a una tasa mayor que la que puede regresar por el sistema al cárter. Con frecuencia, el fabricante coloca un separador de aceite en el condensador. Si el compresor se va a usar en un sistema ya construido, el fabricante recomienda que se incluya ese separador en la instalación.

La figura R 11- 12 muestra un corte de un separador de aceite instalado en un circuito de refrigeración. Es importante que el aceite regrese al compresor tan pronto como posible, y por lo tanto el separador se coloca entre el compresor y el condensador. El vapor a alta temperatura y alta

Al viajar con el refrigerante líquido el aceite llega al evaporador, que es uno de los componentes en el que el movimiento del aceite origina algún problema. Si el aceite no se mueve del evaporador al tubo de succión, el evaporador puede llenarse de aceite y disminuir la superficie de intercambio de calor.

Los tubos de succión se deben dimensionar en forma correcta para mantener la velocidad del vapor, y arrastrar el aceite con él por el circuito, de regreso al cárter del compresor. Si el aceite no regresa al compresor, este componente podría llegar rápidamente a trabajar "en seco".

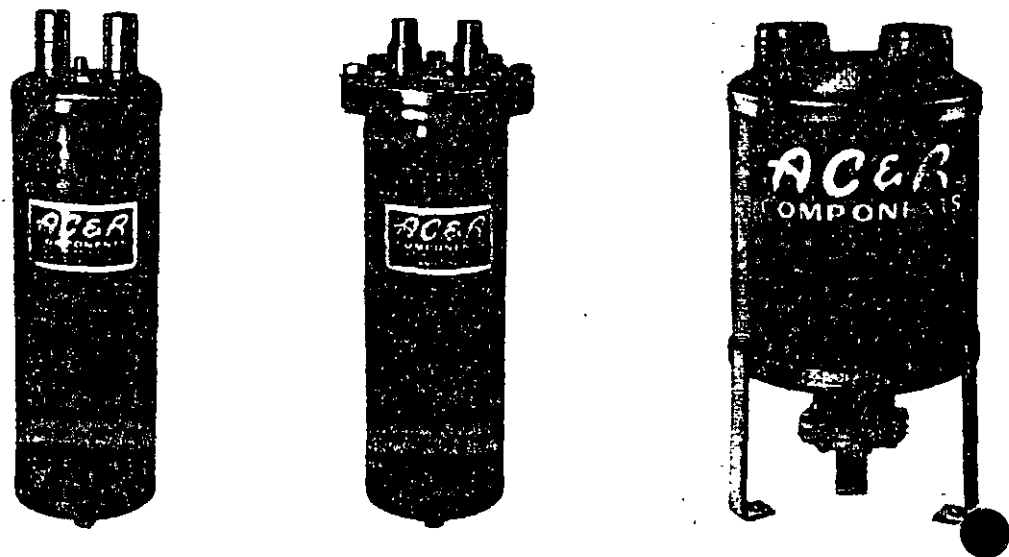


FIGURA R11-13 Separadores de aceite. (Cortesía de AC & R Components, Inc.)

presión, junto con el aceite arrastrado fuera del compresor, pasan por el tubo de descarga del compresor hasta llegar al separador de aceite. En él cambia su dirección y disminuye su velocidad, ya que el separador tiene un mayor volumen y acción transversal que el tubo de descarga. Según sea el diseño del separador de aceite, puede tener rejillas de impacto u otros dispositivos que impulsen al aceite para que caiga en el recipiente del separador, mientras que el vapor de refrigerante continúa y sale del separador.

Como se ve en la figura R 11- 12, la mayor parte de los separadores tienen un conjunto de flotador y válvula para dejar salir el aceite y que regrese al compresor. Cuando se ha acumulado una cantidad determinada de aceite en la cámara del separador, se elevará el flotador y la válvula abrirá. La presión del vapor de refrigerante en la descarga del compresor es mayor que la del cárter, y esta diferencia de presiones impulsa al aceite para que regrese al cárter. Cuando baja el nivel de aceite en el separador, baja el flotador y hace que la válvula de aguja cierre y permita la acumulación de más aceite en el separador.

El separador está aislado, por lo general, para mantenerlo caliente; si no es así, el vapor de refrigerante podría condensarse en el separador cuando la unidad no estuviera en operación. Si la unidad es parte de un sistema que tiende a tener largos períodos de paro, podría ser adecuado instalar un calentador eléctrico ya sea sobre o dentro del separador para mantener al refrigerante en estado de vapor. En la figura R11-13 se muestran varios separadores de aceite.

R11-6 PROPIEDADES DEL ACEITE DE REFRIGERACION

Como se mencionó antes, un aceite de refrigeración debe tener buenas propiedades lubricantes y la capacidad de sellar el lado de baja del lado de alta en el compresor. Mientras el aceite lubrica los cojinetes del compresor, también funciona como medio de enfriamiento, eliminando de esos cojinetes el calor debido a la fricción de los componentes móviles cuando el compresor está trabajando.

El aceite perfecto que se usaría con todos los refrigerantes y bajo todas las condiciones todavía no se ha desarrollado. Cada uno de los aceites de refrigeración que hay tiene sus características buenas y no tan buenas, y se deben comparar con las necesidades de la instalación y el uso al que se debe someter un determinado sistema.

A continuación presentamos algunas de las cualidades esenciales de un aceite:

1. Debe permanecer fluido a bajas temperaturas.
2. Debe permanecer estable a altas temperaturas.
3. No debe reaccionar químicamente con el refrigerante, los metales, el aislamiento del motor, cuando se use en compresores herméticos, ni con el aire u otros contaminantes.
4. No se debe descomponer y carbonizar en las condiciones esperadas de funcionamiento.
5. No debe depositar cera cuando esté sujeto a las bajas temperaturas que se vayan a encontrar.
6. Debe estar tan libre de humedad como sea posible.

Para todo fin práctico, los aceites para refrigeración son de origen mineral. Se pueden separar en tres categorías principales: 1) de base parafínica, 2) de base nafténica, o 3) de base mezclada, que es una mezcla de 1) y 2). Las diversas categorías se derivan del crudo que se encuentra en diferentes partes del mundo. Los procesos adecuados de refinación eliminan las parafinas más pesadas y los naftenos del crudo.

Algunas de las características de los aceites para refrigeración se presentan en la siguiente lista, no necesariamente en orden de su importancia:

1. Viscosidad
2. Punto de vertido
3. Punto de floculación
4. Punto de inflamación
5. Fuerza dieléctrica
6. Punto de ignición
7. Tendencia a la corrosión
8. Resistencia a la corrosión
9. Color

La *viscosidad* de un aceite de refrigeración, o de cualquier otro líquido, es una medida de su resistencia al flujo, o, sencillamente, lo delgado o grueso que es, bajo un conjunto de condiciones determinadas. Una muestra medida de líquido, a determinada temperatura, fluye por un orificio calibrado; el tiempo que toma, en segundos, expresa su viscosidad.

El *punto de vertido*, o de *fluencia* es la temperatura mínima a la cual el aceite fluye. En general la temperatura del aceite disminuye hasta el punto en que ya no fluye, y se agregan a continuación 5 °F a esa temperatura. Un punto de vertido bajo es un índice de que el aceite no se congelará a las temperaturas más bajas que se alcanzan en el sistema, a sus condiciones de operación de diseño.

Se ha encontrado que todos los aceites de refrigeración contienen cera en distintas concentraciones. Esta cera se separa de los demás componentes del aceite cuando su temperatura baja lo suficiente. Cuando a un aceite de refrigeración se le quita tanta cera como sea posible (porque la cera no se puede retirar por completo), se llevan a cabo pruebas para determinar la temperatura a la cual el resto de la cera se separa del aceite.

Cuando la cera se separa del aceite, la mezcla de aceite y refrigerante se hace opaca. Al bajar más la temperatura de la mezcla, se forman partículas pequeñas de cera en forma de pequeñas pelotas o conglomerados. La temperatura a la que es visible esa formación se llama *punto de floculación* del aceite.

Como la cera se reúne en las zonas más frías del sistema de refrigeración, que son la válvula de expansión y el evaporador, habrá una pérdida de eficiencia de transmisión de calor en el evaporador, y la válvula de expansión, u otro tipo de dispositivo de medición se puede obstruir o tapar con mucha facilidad.

Un aceite determinado se puede usar en refrigeración de alta temperatura, o acondicionamiento de aire, pero puede no ser satisfactorio en aplicaciones de baja temperatura. Por lo tanto, el punto de floculación es una propiedad importante que hay que tener en cuenta al seleccionar un aceite de refrigeración para un uso específico.

Aunque los aceites de refrigeración no presentan en general peligro de incendio en los diversos sistemas, es importante conocer el *punto de inflamación* del aceite. Es la temperatura a la cual el vapor de aceite, en presencia de una flama, se enciende. Esto sucede a una temperatura específica, y el aceite se vuelve inestable, y algunos de sus componentes tienden a separarse. Por lo tanto, se debe evitar llegar al punto de inflamación.

Muchos compresores y motores están sellados herméticamente, juntos, en cajas o cascarones, y el vapor del refrigerante del evaporador pasa cruzando los devanados aislados del motor. En esos casos el aceite refrigerante debe tener una resistencia al paso de la corriente eléctrica, y la *fuerza dieléctrica* de un aceite lubricante para refrigeración r la medida de esa resistencia.

El *punto de ignición* de un aceite de refrigeración se relaciona con el punto de inflamación, que se describió antes. Cuando aumenta la temperatura más allá del punto de inflamación del vapor, de aceite, y continúa quemándose durante la prueba, se alcanza el punto de ignición de dicho aceite.

Los compuestos de azufre en un aceite lubricante de refrigeración son indeseables. El ácido sulfuroso se forma cuando se mezcla humedad con un compuesto de azufre.

Este ácido, que no se considera importante en los aceites en la actualidad, puede ser muy corrosivo de los componentes metálicos del sistema de refrigeración. Un buen aceite lubricante debe tener una mínima tendencia a la corrosión cuando se sumerge una cinta de cobre muy pulimentada como muestra en el aceite, y se sujeta a temperaturas superiores a 200 °F (93 °C). Después de un período de 3 o 4 horas, se saca la cinta de cobre de la muestra. Si está picada o tiene ligeras manchas, es evidencia que el aceite contiene demasiado azufre.

La estabilidad del aceite lubricante de refrigeración se describió en relación con el punto de inflamación. Otra indicación de la estabilidad de un aceite es su resistencia a las reacciones químicas.

El aceite que se va a usar en la mayor parte de los procesos de lubricación debe estar refinado para eliminarle los hidrocarburos no saturados. Pero mientras más se refina un aceite, menores son sus propiedades lubricantes. En los inicios de la refrigeración, el aceite que se usaba se refinaba continuamente hasta que era casi incoloro. El color de un buen aceite de refrigeración, normalmente, es amarillo claro, lo que indica que la mayor parte de los hidrocarburos se han refinado sin pérdida de sus propiedades lubricantes.

R11-7 TEMPERATURA DEL MOTOR

La primera ley de la termodinámica establece que la energía no se puede crear ni destruir, pero se puede convertir de una de sus formas a otra. El motor recibe energía eléctrica de la entrada de corriente, pero debido a la fricción, no toda la energía se puede convertir en energía mecánica que sale del motor. El resto de la energía que entra se convierte en energía calorífica, y a menos que ese calor se disipe, la temperatura de los devanados del motor

aumentaría hasta destruir el aislamiento. Si un motor se mantiene libre de contaminaciones y de daños físicos, el calor es prácticamente el único enemigo que puede dañar a sus devanados.

La cantidad de calor que se produce en el motor depende tanto de la carga como de la eficiencia del motor. Al aumentar la carga aumenta el consumo eléctrico al motor. El porcentaje de la entrada de corriente que se convierte en calor en el motor depende de la eficiencia de éste, y disminuye el calor al aumentar la eficiencia, y aumenta al disminuir la eficiencia.

El nivel de temperatura que puede tolerar un motor depende mucho del tipo de aislamiento que tiene y del diseño básico, pero la vida real del motor está determinada, por las condiciones a las que se sujeta durante su uso. Si se trabaja en un ambiente adecuado, a cargas dentro de sus posibilidades de diseño, un buen motor debería tener una vida indefinida. La sobrecarga continua de un motor, que ocasione temperaturas de operación consistentemente altas, acortará materialmente su vida.

Como el calor es el peor enemigo de los motores, el compresor hermético goza de una gran ventaja porque utiliza el gas de la succión para disipar el calor eficazmente. Al diseñar un motor hermético para una aplicación específica, y controlar estrechamente la temperatura del motor, éste puede hacerse coincidir con una carga determinada, y la salida del motor puede tener su capacidad máxima y al mismo tiempo mantener un factor considerable de seguridad, bastante mayor que el disponible en los motores normales de tipo abierto.

R11-8 AMPERAJE DE PLACA

En los motores normales de tipo abierto, se usan caballajes NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos en Estados Unidos) para identificar la potencia del motor. Por la práctica en la industria, esta clasificación de caballajes nominales se introdujo en la identificación de los motores herméticos, pero puede ser engañosa al aplicarse a este tipo de motores. Con enfriamiento controlado y la protección del motor dimensionada para la carga exacta, un motor hermético se puede hacer trabajar a mucho más cerca de sus posibilidades máximas, de modo que determinado motor puede ser capaz de producir mucha más potencia como motor hermético que como motor abierto equivalente. La carga de amperaje o los watts de potencia necesaria son los mejores indicadores del funcionamiento de un motor hermético.

La mayor parte de los compresores herméticos de la industria llevan sus características en una placa, de amperes tanto a rotor bloqueado como a plena carga. La designación *amperaje a plena carga* persiste debido al antiguo precedente en la industria, pero en realidad un término mucho mejor es *amperaje de placa*. En la mayor parte de los compresores de la industria con protección inherente o termostatos internos, el amperaje de placa es, arbitrariamente, el 80% de la corriente que toma el motor cuando se "bota". Esta cifra del 80% se deriva de la práctica normal de la industria al dimensionar los dispositivos de protección de motores a 125% de la corriente que se toma bajo condiciones nominales de carga.

Esto no quiere decir que todo compresor hermético se pueda hacer trabajar en forma continua a una carga mayor que su amperaje de placa sin peligro de falla. El amperaje del motor sólo es uno de los factores que determinan las limitaciones de operación de un compresor. La presión y temperatura de descarga, el enfriamiento del motor y las necesidades de par (torque), también son críticas. Los límites de operación segura los han establecido los fabricantes para cada compresor y se publican en las especificaciones del compresor o de la unidad.

R11-9 VOLTAJE Y FRECUENCIA

Aunque la electricidad que se distribuye en Estados Unidos es de 60 hertz (ciclos), los voltajes de distribución no están normalizados. Los voltajes monofásicos pueden ser de 115, 208, 220, 230 o 240, y la mayor parte de las compañías eléctricas se reservan el derecho de variar el voltaje de suministro en 10% de más o de menos respecto al valor nominal. El voltaje trifásico puede ser de 208, 220, 240, 440, 460 y 480, de nuevo más o menos 10%. A menos que los motores estén especialmente diseñados para trabajar entre determinados límites de voltaje, se sobrecalentarán si se hacen trabajar a un voltaje distinto.

La mayor parte de los motores abiertos¹, cuando se usan en compresores, ventiladores, etc., se pueden hacer trabajar al voltaje de placa más 10% o menos 10%, sin peligro de sobrecalentamiento. Sin embargo, ese no es el caso de los motores monofásicos herméticos de compresor, en los que los devanados se han dimensionado en forma más crítica para la carga y las condiciones de funcionamiento exactas. Un caso a propósito es el motor de capacitor y fase partida permanente, que no tiene un capacitor de arranque y tiene un par de arranque relativamente pequeño.

¹ N. del T.: En este libro se dice "motores abiertos" para diferenciarlos de los "motores sellados" o "motores herméticos". Sin embargo, los "motores abiertos", que corresponden a los motores que todos conocemos, se clasifican a su vez en "motores abiertos", "motores a prueba de goteo", "motores totalmente cerrados", etc. Un motor totalmente cerrado normal, sin estar en un recipiente hermético junto con el compresor, es un motor con un armazón tal que se le puede rociar agua sin peligro de cortocircuito. Un motor abierto normal es aquel que tiene sus devanados visibles.

Este motor se usa cuando se supone que las presiones del refrigerante se igualan en el tiempo que transcurre entre que se para el motor y vuelve a ponerse en marcha. El arranque de estos motores a voltaje reducido puede ser muy perjudicial. Se acostumbra a diseñar los compresores herméticos con tan sólo 5% de bajo voltaje y 10% de sobrevoltaje. Entonces, cuando la placa dice que se trata de un voltaje doble de 208-230V, el voltaje mínimo de funcionamiento es 5% menos de 208 V, o sea 197 V. Del lado alto, el máximo es 230 más 10%, o sea 253 V. Con demasiada frecuencia los contratistas eléctricos que no conocen los compresores para refrigeración suponen que la capacidad es 10% de más o de menos. Si el voltaje actual fuera un suministro de 208V y la compañía de servicio eléctrico hace bajar el voltaje un 10% a 187 V, el compresor hermético peligraría. El caso es asegurarse cuál es el voltaje que suministra la compañía eléctrica antes de instalar el compresor. Los compresores trifásicos no son tan críticos en este respecto como los monofásicos, porque cada devanado está desfasado 120° con respecto a los demás, lo cual hace que el motor tenga un par de arranque muy alto.

En muchas partes del mundo, el suministro de corriente eléctrica es de 50 hertz (ciclos) en lugar de 60 hertz. Si tanto el voltaje como la frecuencia suministrada al motor varían al mismo tiempo, el funcionamiento del motor, dentro de límites estrechos, a la frecuencia menor es correcto, en algunos casos. Por ejemplo, un motor trifásico de 440 V y 60 Hz trabaja satisfactoriamente en corriente de 380V trifásica de 50 Hz. Para exportar compresores estadounidenses a otros países se acostumbra que el fabricante apruebe máquinas de 60 Hz para funcionamiento en 50 Hz, pero a menor capacidad. En algunos casos se necesitan motores especialmente bobinados para 50 Hz, con objeto de cumplir con normas o especificaciones locales.

R11-10 TAMAÑOS DE CABLE PARA COMPRESOR

Las condiciones de bajo voltaje no siempre se deben a que la compañía eléctrica permite variaciones del valor nominal. Con demasiada frecuencia el cableado desde la fuente de corriente hasta el compresor, a la unidad de condensación, etc., puede estar mal dimensionado y las pérdidas en la línea son mayores que los límites normales. El resultado es que el voltaje entre las terminales del compresor es demasiado bajo. Este caso se complica todavía más cuando se usan conductores de cobre y aluminio, que tienen características distintas. La mayor parte de los fabricantes dan una lista de tamaños recomendados de conductor la unidad, con la distancia máxima entre la unidad y la fuente de corriente, para no rebasar un 3% de caída de voltaje. Si una gran pérdida en la línea se acoplara con un mínimo de voltaje de suministro, el impacto resultante sobre el compresor puede ser importante. La importancia en este caso es asegurar que el instalador eléctrico cuente con los datos adecuados, en caso que el cableado no sea parte del contrato de la instalación de refrigeración.

R11-11 ARRANQUE A VOLTAJE REDUCIDO

Las descripciones anteriores presentaron los arrancadores normales, como por ejemplo relevadores de arranque, capacitores, contactores y arrancadores de línea. Estos dispositivos son para usarse a pleno voltaje, que es el método menos costoso de poner en marcha un compresor diseñado para arranques a pleno voltaje. Sin embargo, como hay limitaciones impuestas por algunas compañías eléctricas acerca de la corriente de arranque, a veces es necesario un método para reducir la entrada de corriente al arranque, los motores de mayor caballaje, en especial en otros países y también en algunas zonas de los Estados Unidos y Canadá para evitar parpadeos de luces, interferencias de televisión y efectos colaterales indeseables sobre el equipo debidos a la bajada momentánea de voltaje. El arranque a voltaje reducido permite que el regulador de la compañía eléctrica regrese al valor de voltaje de línea después de haber conectado una parte de la carga, y con ello evita la bajada más brusca de voltaje que se tendría si toda la carga se conectan en forma directa. Algunas compañías eléctricas pueden limitar el golpe de corriente que se toma de sus líneas a determinada cantidad durante un periodo especificado. Otras pueden limitar la corriente que se toma en la puesta en marcha a determinado porcentaje de la corriente a rotar bloqueado.

Para reducir las necesidades de par (torque) al arranque puede ayudar el descargar el compresor, así como para permitir que el motor acelere rápidamente. La descarga del compresor se describe más adelante en este capítulo. Sin embargo, esté descargado o no el compresor, el motor seguirá tomando el amperaje total de arranque durante una pequeña fracción de segundo. Como en general la principal objeción a la entrada brusca de corriente que se toma bajo condiciones de rotor bloqueado al arranque, descargar el compresor no siempre resuelve el problema. En esos casos es necesario algún tipo de arreglo de arranque que reduzca las necesidades de corriente inicial del motor.

Los arrancadores que logran lo anterior se llaman normalmente *arrancadores a voltaje reducido*, aunque en dos de los métodos más comunes el voltaje de línea al motor en realidad no se reduce. Como no es posible arranque manual para los compresores de refrigeración, sólo se describirán los arrancadores magnéticos.

Hay cinco tipos de arrancadores magnéticos a voltaje reducido, y cada uno de ellos es adecuado para aplicaciones específicas:

1. Devanado parcial
2. Estrella delta
3. Autotransformador
4. Resistor en el primario
5. Accesorio de arranque a voltaje reducido en escalones

Al disminuir la corriente de arranque, también baja el par de arranque y la selección del arrancador adecuado se puede limitar a las necesidades de par del compresor. El par máximo disponible con arranque a voltaje reducido es 64% del par nominal de arranque, que se puede obtener con un arrancador de autotransformador, 45% para devanado parcial y 33% para estrella delta, que quiere decir que es esencial un arranque sin carga para estrella delta, si el compresor ha de arrancar a voltaje reducido.

R11-12 RENDIMIENTO DEL COMPRESOR

El rendimiento de una máquina es una evaluación de su capacidad para llevar a cabo su tarea asignada. El rendimiento de un compresor es el resultado de compromisos en el diseño en los que intervienen determinadas limitaciones físicas del refrigerante, el compresor y el motor al tratar de dar:

1. Una vida más larga, libre de problemas
2. El mayor efecto de refrigeración con el consumo mínimo de energía
3. El costo mínimo
4. Un amplio margen de condiciones de operación
5. Un nivel de vibración y sonido reducidos



FIGURA R11-14 Cuarto de pruebas de compresores.
(Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

Dos medidas útiles del rendimiento de un compresor son la capacidad, que se relaciona con el desplazamiento del mismo, y el factor de rendimiento.

La *capacidad del sistema* es el efecto de refrigeración que puede alcanzar un compresor. Es igual a la diferencia de entalpía total entre el refrigerante líquido a una temperatura que corresponde a la presión del vapor que sale del compresor, y la entalpía del vapor de refrigerante que entra al compresor. Se mide en Btu/lb.

El *factor de rendimiento para un compresor hermético* indica la eficiencia combinada del motor y del compresor:

factor de rendimiento (hermético)

$$= \frac{\text{capacidad, Btulhr}}{\text{potencia consumida, watts}} = \text{Btu/watt}$$

En fecha reciente, el factor de rendimiento se ha vuelto importante en la industria a causa del enfoque hacia la conservación de energía. Se llama ahora la *EER (relación de eficiencia energética)*, y el rendimiento real de las unidades de refrigeración y aire acondicionado se certifica y lista en los directorios de ARI para que los usuarios, especificadores, instaladores y compañías eléctricas puedan evaluar la eficiencia relativa de diversas máquinas.

Hay otras tres definiciones y medidas importantes para los compresores y en general su uso no es práctico para el técnico en refrigeración; sin embargo, es bueno familiarizarse con ellas:

- **Eficiencia del compresor** Sólo tiene en cuenta lo que sucede dentro del cilindro. Es una medida de la desviación de la compresión real con respecto al ciclo de compresión perfecto, y se define como el trabajo efectuado dentro del cilindro.
- **Eficiencia volumétrica** Se define como el volumen de vapor nuevo que entra al cilindro por carrera, dividido entre el desplazamiento del pistón.
- **Capacidad real** Es una función de la capacidad ideal y de la eficiencia volumétrica general.
- **Potencia alfreno** Es una función del consumo de corriente en el compresor ideal y de las eficiencias de compresión, mecánicas y volumétricas.

Este libro y las funciones de un técnico en refrigeración se ocupan más de la capacidad real y del consumo de corriente del compresor o la unidad de condensación dentro de unos límites definidos de condiciones de funcionamiento.

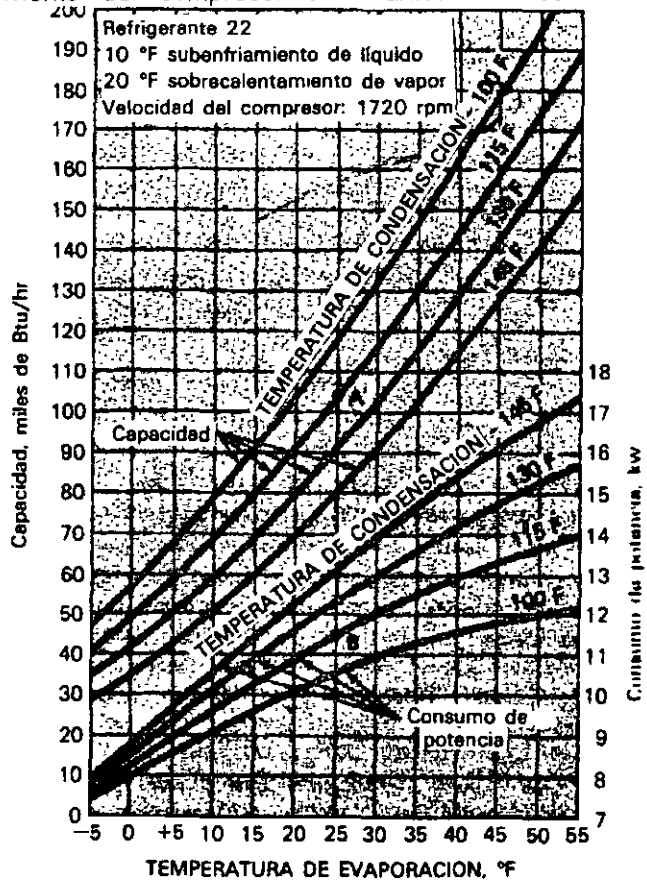


FIGURA R11-15 Curvas típicas de capacidad y potencia para un compresor alternativo hermético. (Cortesía de ASHRAE)

Los fabricantes de compresores llevan a cabo pruebas detalladas (figura R 11- 14) de sus compresores, para determinar sus capacidades nominales, que deben coincidir con las condiciones de ASHRAE y/o ARI. Hay dos tipos de pruebas para los compresores. La primera determina capacidad, eficiencia, nivel de ruido, temperatura del motor, etc. La segunda, igualmente necesaria, determina la vida probable de la máquina. La prueba de esperanza de vida se debe llevar a cabo bajo condiciones que simulen aquellas a las cuales debe trabajar el compresor durante muchos años. En todo este trabajo, la seguridad y el apego a reglamentos son factores importantes.

De esta información puede el fabricante presentar o publicar los datos de rendimiento y aplicación que se necesitan para emplear el producto en forma correcta.

Los valores de capacidad se publican ya sea en forma de tablas o de curvas, que comprenden:

1. Identificación del compresor: número de cilindros, su diámetro y carrera, etc.
2. Grados de subenfriamiento, o un enunciado que los datos se han corregido a cero grados de subenfriamiento
3. Velocidad del compresor
4. Tipo de refrigerante
5. Sobrecalentamiento del gas en la succión
6. Ambiente del compresor
7. Requisitos de enfriamiento externo, si es necesario
8. Potencia máxima o condiciones máximas de operación
9. Condiciones mínimas de operación bajo funcionamiento a plena carga y sin carga

La figura RI 1- 15 representa las curvas típicas de capacidad Y consumo de potencia para un compresor alternativo hermético. Notaremos primero lo que se dice: refrigerante 22, 10 °F de subenfriamiento de líquido, vapor con 20 °F de sobrecalentamiento y velocidad del compresor 1750 rpm. La capacidad se ve en el eje vertical izquierdo y se da en Btu/hr. El consumo de potencia en kilowatts se ve en el eje vertical derecho. En la escala inferior aparecen varias temperaturas de evaporación. Las temperaturas de condensación se anotan en las curvas. Nota: son las temperaturas a las que se condensa el refrigerante, y no se deben confundir con la nomenclatura del condensador enfriado por aire o por agua. El compresor no sabe qué tipo de condensador se está usando; sólo sabe qué presión y temperatura de condensación debe producir.

Para determinar la capacidad de refrigeración, supongamos una temperatura de evaporador de 25 °F y una temperatura de condensación de 115 °F. De 25 °F en la escala de la parte inferior subimos hasta la curva de capacidad para 115 °F, en el punto A, y a continuación cruzamos hacia la izquierda; la lectura final es unas 105,000 Btu/hr.

Para determinar el consumo de potencia, subimos partiendo de 25 °F hasta las curvas de potencia y detenemos en la intersección con la de 115 °F, el punto B, y a continuación vamos a la derecha. La lectura es aproximadamente 11.5 kW de consumo de potencia.

Obsérvese, a temperatura constante de condensación, la caída rápida de capacidad cuando baja la temperatura de evaporador, lo cual naturalmente se debe a la menor densidad del gas que bombea la máquina de desplazamiento constante. Sin embargo, nótese que las curvas de consume de potencia no disminuyen en forma tan rápida, lo que demuestra los altos niveles de trabajo necesarios para vapores de baja presión hasta las presiones de condensación. Así, los requisitos relativos para las unidades comerciales de refrigeración y de acondicionamiento de aire son bastante distintos.

Es obvio que no es práctico, y quizá ni técnicamente posible, usar este compresor en especial en un amplio margen de condiciones. Así, la industria ofrece unidades con variaciones en velocidad, en modelos de accionamiento por bandas, o diámetros de cilindro, longitud de carrera y/o motores más grandes para cumplir con los rangos específicos de aplicación.

Otros fabricantes presentan tablas de capacidad nominal semejantes a la de la figura R11- 16 En este caso se trata de un compresor hermético de una etapa con cilindrada de 2 5/8" donde se usa R-22. Suponiendo que la carga necesaria

FIGURA R11-16

Capacidades nominales de unidades de compresion con R-22, compresor hermético de una etapa y diámetro de cilindro 2 5/8", con unidad de condensacion

MODELO DE LA UNIDAD		H32SM-22E			H61SN-22E H61SP-22E			H62SP-22E H62SQ-22E			H92SQ-22E H92SR-22E H92SS-22E		
Tem. y presión de descarga saturadas	Tem. de saturación de succión, °F	Rechazo de calor, MBtu/h			Rechazo de calor, MBtu/h			Rechazo de calor, MBtu/h			Rechazo de calor, MBtu/h		
		Tons	KW	MBtu/h	Tons	KW	MBtu/h	Tons	KW	MBtu/h	Tons	KW	MBtu/h
(226.4 PSIG)	15	8.0	11.8	136	13.3	19.3	244	16.0	23.0	269	24.0	34.8	405
	20	9.1	12.4	151	15.2	20.3	251	18.3	24.2	301	27.4	36.8	452
	25	10.4	13.0	168	17.3	21.3	279	20.7	25.4	334	31.1	38.5	503
	30	11.7	13.5	186	19.5	22.3	309	23.4	26.5	370	35.1	40.0	556
	35	13.1	13.9	204	21.9	23.0	340	26.2	27.4	406	39.4	41.3	612
	40	14.6	14.2	223	24.4	23.5	372	29.3	27.9	445	43.9	42.0	668
	45	16.3	14.4	244	27.2	23.8	406	32.6	28.4	487	48.9	42.7	730
	50	18.1	14.6	266	30.2	24.1	443	36.2	28.7	531	54.3	43.1	796
115 F (242.7 PSIG)	20	8.7	12.7	147	14.5	20.8	244	17.4	24.8	292	26.2	37.6	440
	25	9.9	13.3	163	16.5	21.9	272	19.8	26.1	325	29.8	39.4	490
	30	11.2	13.9	181	18.7	23.0	320	22.4	27.3	361	33.6	41.2	542
	35	12.6	14.4	200	21.0	23.8	332	25.2	28.4	398	37.8	42.7	597
	40	14.1	14.8	219	23.5	24.5	364	28.2	29.2	437	42.3	43.9	655
	45	15.7	15.1	239	26.2	25.0	398	31.5	29.9	478	47.2	44.8	717
120 F (259.9 PSIG)	20	8.3	12.9	143	13.8	21.2	237	16.6	25.2	284	24.9	37.9	426
	25	9.5	13.6	160	15.8	22.5	265	18.9	26.7	317	28.4	40.0	475
	30	10.7	14.3	176	17.9	23.6	294	21.5	28.1	352	32.2	41.9	527
	35	12.1	14.9	195	20.2	24.6	325	24.2	29.3	389	36.3	43.7	582
	40	13.5	15.3	213	22.5	25.4	355	27.1	29.9	426	40.6	45.1	639
	45	15.1	15.8	234	25.2	25.6	388	30.3	30.7	467	45.4	46.4	701
130 F (296.8 PSIG)	30	9.7	14.9	166	16.2	24.2	276	19.5	29.0	331	29.2	43.8	498
	35	11.0	15.6	184	18.4	25.4	306	22.1	30.4	367	33.1	45.9	551
	40	12.4	16.3	204	20.6	26.5	336	24.8	31.7	404	37.1	47.8	606
	45	13.9	16.9	224	23.2	27.6	371	27.8	32.9	444	41.7	49.7	667
	50	—	—	—	25.9	28.5	407	31.1	34.0	487	46.6	51.3	732
135 F (316.6 PSIG)	30	9.3	15.1	162	15.4	24.5	267	18.5	29.4	321	27.8	44.4	483
	35	10.5	16.0	180	17.5	26.0	297	21.1	31.7	360	31.6	47.0	537
	40	11.9	16.7	199	19.8	27.2	329	23.7	32.5	394	35.6	50.0	595
	45	—	—	—	22.2	28.5	362	26.6	33.9	443	40.0	51.1	652
	50	—	—	—	24.8	29.6	397	29.8	35.3	476	44.7	53.1	715

Importante: Se necesitan motores de mayor capacidad para determinadas temperaturas de operación, indicadas por las letras P, O, R y S. Si se prevé funcionamiento en esas temperaturas en el futuro, mida el compresor con el motor grande. Todas las capacidades se aplican a unidades con los motores mayores.

es 26.5 ton a 115 °F de descarga (temperatura de condensación) y 40 °F de temperatura de saturación en la succión, o sea la temperatura del evaporador menos las pérdidas en la tubería del refrigerante. Nótese que el modelo H61 puede producir tan sólo 23.5 ton. De los datos del fabricante, este modelo es un compresor de seis cilindros con carrera corta. El modelo H62, que también es de seis cilindros, pero con una carrera mayor, en las mismas condiciones puede producir 28.2 ton, pero a causa del mayor consumo de potencia necesita cambio de motor (véase la nota al pie). Nótese los círculos sombreados y la marca Q.

La columna de rechazo de calor muestra la cantidad de Btu/hr que debe manejar el condensador (437,000), sea enfriado por agua, aire o evaporativo. El compresor no sabe qué condensador se va a utilizar; sólo sabe que está bombeando contra una presión de condensación de 242.7 psig que corresponde a la temperatura de condensación de 155 °F del R-22.

Recuérdese que las curvas y las tablas sólo reflejan el desempeño del compresor. Las descripciones a continuación se refieren a las opciones de condensador, y mostrará curvas y/o tablas para agua, aire o medios de condensación evaporativa.

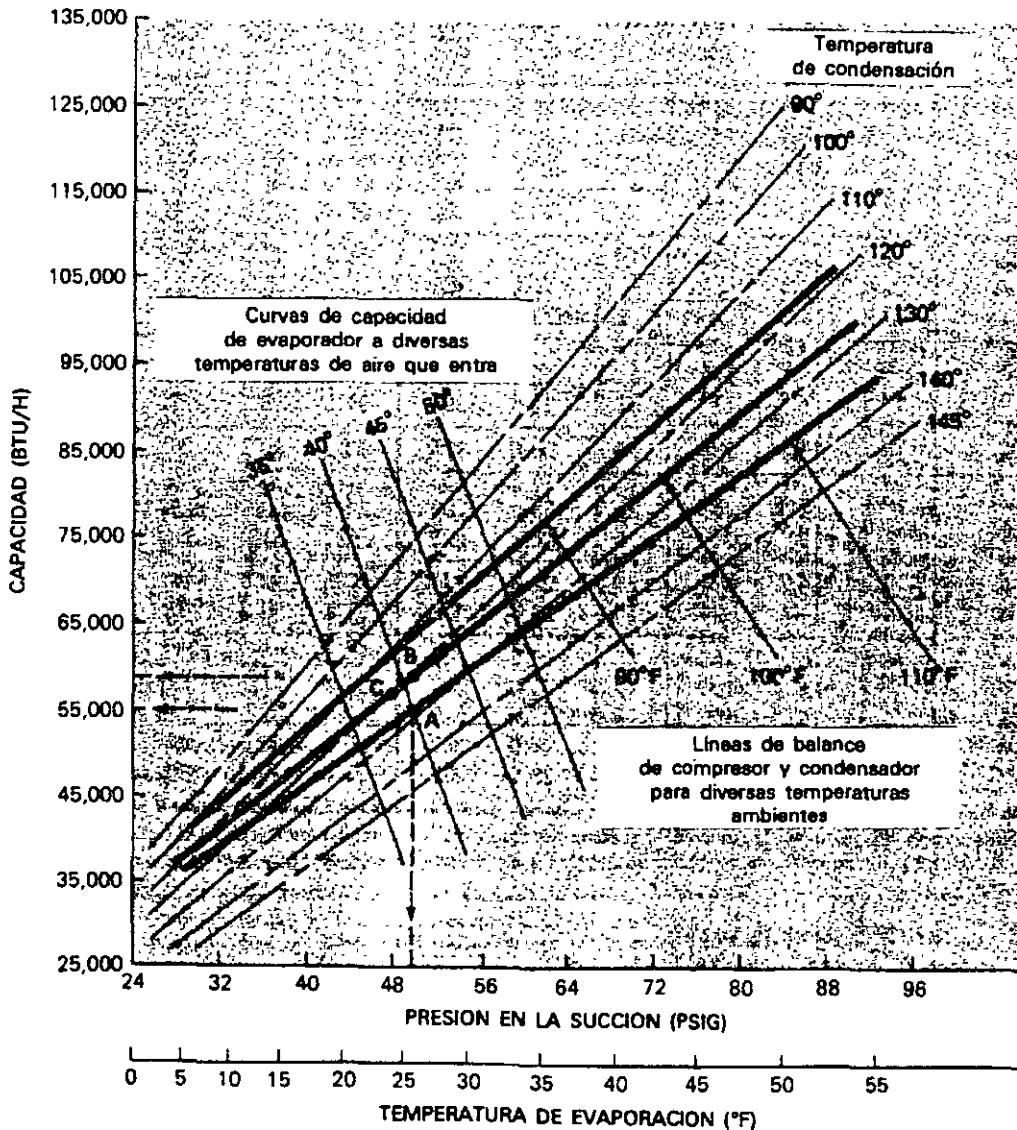


FIGURA R11-17 Gráfica de balanceo de sistema.

R11-13 BALANCEO DEL COMPRESOR

Los componentes disponibles en el comercio casi nunca coinciden exactamente con las condiciones de diseño de un sistema dado y, ya que el diseño del sistema se basa normalmente en cargas máximas estimadas, con frecuencia el sistema debe trabajar a condiciones distintas de las de diseño. Más de una combinación de componentes puede cumplir con los requisitos de desempeño. La eficiencia del sistema depende en general del punto en el que alcanza las condiciones estabilizadas, o se equilibra bajo las condiciones de operación.

Las capacidades de los tres componentes principales del sistema, compresor, evaporador y condensador, son variables cada una de ellas, pero se interrelacionan. Un método sencillo, exacto y cómodo de

pronosticar el rendimiento del sistema a partir de datos de catálogo de fabricante se puede presentar en forma gráfica en una tabla de balanceo de componentes semejante a la de la figura R 11- 17, que es para un sistema de condensación enfriado por aire. Las curvas de capacidad del evaporador, según el fabricante, se basan en temperatura de entrada de aire con temperaturas de evaporación variables. Se pueden trazar líneas gruesas semejantes para las

condiciones de balance de los puntos de equilibrio condensador-compresor a diversas temperaturas ambiente. Supongamos que la carga del evaporador es 55,000 Btu/hr con aire que entra a 40 °F esto necesita una temperatura de vaporación de 26 °F o una diferencia de 14 °F de temperatura entre el aire que entra y el refrigerante que se evapora (punto A). También supongamos que el compresor y condensador trabajan a 100 °F de temperatura ambiente exterior; a los mismos 26 °F de temperatura de evaporación su capacidad sería aproximadamente 59,000 Btu/hr (punto B), y por lo tanto hay una diferencia de 4000 Btu/hr Si la temperatura ambiente en el exterior permanece constante a 100 °F, y la carga del evaporador también permanece constante, el resultado será una disminución en la temperatura de evaporación y con ello un aumento en la capacidad del evaporador y la diferencia de temperatura, mientras que la capacidad del compresor decae en forma simultánea hasta que el sistema alcanza las condiciones estabilizadas a unas 57,000 Btu/hr 24 °F de temperatura en el evaporador (punto C).

Este ejemplo pasa por alto las pérdidas de presión en el tubo de refrigerante y otros factores, pero es un buen ejemplo a pesar de todo. Lo importante es que si el equipo original seleccionado pide un gran desplazamiento de los puntos de equilibrio, la selección no es buena y se debe volver a examinar. Un cambio drástico en las temperaturas d el serpentín de evaporación puede afectar apreciablemente la capacidad sensible y latente del mismo, y las relaciones de escarchamiento y desescarchamiento hasta el punto en que el alimento o los productos refrigerados pueden afectarse por sobre o subenfriamiento, o por demasiada humedad o deshidratación.

El ejemplo supone también una carga constante en el evaporador, lo cual casi nunca sucede, y a medida que se enfrían los alimentos, productos, o lo que sea, la carga baja y con ella el punto de equilibrio también bajará. Por lo tanto, cuando se prevean amplias variaciones en la carga, es necesario dar algún tipo de modulación de capacidad para sistema.

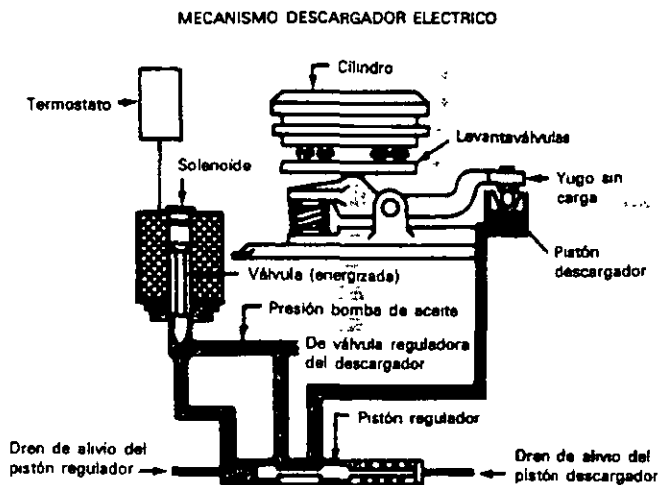


FIGURA R11-18 Mecanismo eléctrico descargador (Cortesía de Airtemp Corporation)

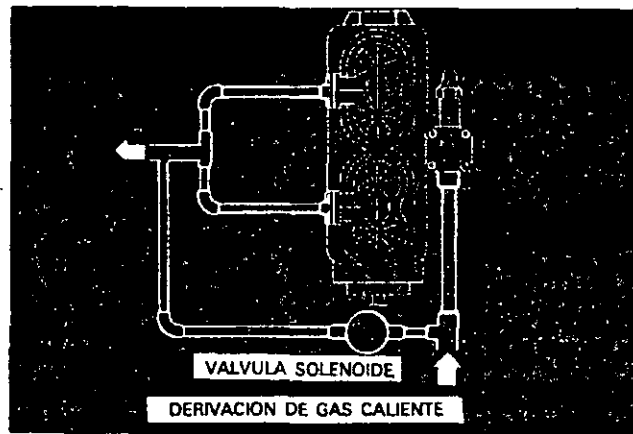


FIGURA R11-19 Derivación de gas caliente. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

R11-14 CONTROL DE CAPACIDAD

Para tener un medio de cambiar la capacidad del compresor bajo condiciones fluctuantes de carga, los compresores más grandes están equipados generalmente con descargadores. Los descargadores de los compresores alternativos son de dos tipos generales. En el primero (figura R 11- 18) las válvulas de la succión de uno o más cilindros se mantienen abiertas por algún dispositivo mecánico que responde a un control de presión. Estando abiertas las válvulas de succión de refrigerante, éste regresa a la cámara de succión durante la etapa de compresión, y el cilindro no efectúa acción de compresión.

Un segundo método de descargar es derivar internamente una parte del gas de descarga a la cámara de succión.

Se debe tener cuidado para evitar demasiado aumento de la temperatura de descarga cuando se hace esto.

Una derivación de gas caliente también se puede hacer fuera del compresor (figura R1 1 19). El solenoide del tubo de derivación se puede controlar por temperatura o presión, dependiendo de la naturaleza de la aplicación. Cuando el controlador pide reducir la capacidad, abre el solenoide y permite que algo de gas caliente pase en forma directa al tubo de succión.

Hay técnicas específicas que recomiendan los fabricantes de compresores, y que emplean distintos componentes, pero el resultado final es esencialmente el mismo. Las etapas de descarga dependen naturalmente del

tamaño de la máquina, número de cilindros y necesidades de la aplicación. Una cosa que se debe tener en cuenta es la menor cantidad de vapor en la succión y menor aceite lubricante que regresa del sistema. En los compresores herméticos esas cantidades deben ser suficientes para una buena lubricación y prevención de sobrecalentamiento del motor.

R11-15 COMPRESORES DE DOS ETAPAS

La descripción de compresores alternativos hasta ahora se ha enfocado a las unidades de una etapa, pero debido a la alta relación de compresión que tienen las aplicaciones a temperaturas ultrabajas, se han desarrollado compresores de dos etapas (figura R11-20) para tener mayor eficiencia cuando las temperaturas de evaporación están por los -30 a -80 °F. Los compresores de dos etapas se dividen en su interior en las etapas de baja presión (o primera) y de alta presión (o segunda). El gas de succión entra a los cilindros de la primera etapa en forma directa del tubo de succión y se descarga y mide en el cabezal interetapas, para que pueda dar un enfriamiento adecuado al motor y evitar temperaturas demasiado elevadas.

El vapor sobrecalentado a presión intermedia, o interetapas, entra a las conexiones de succión del o los cilindros de la segunda etapa y después se descarga al condensador, a la presión de condensación.

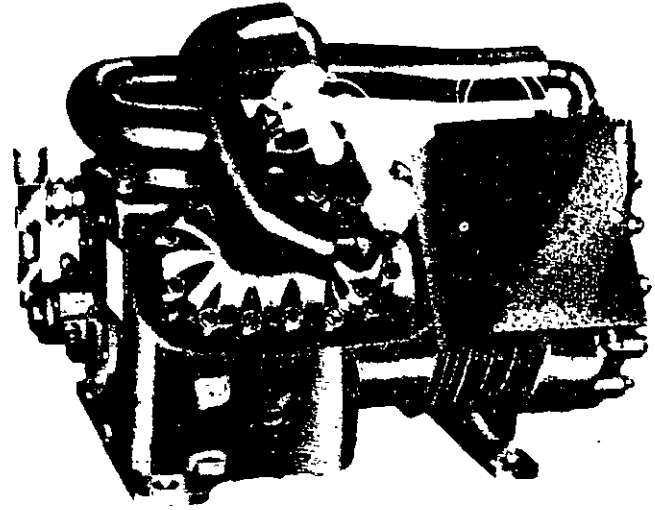


FIGURA R11-20 Compresor de dos etapas. (Cortesía de Copeland Corporation)

R11-16 MANTENIMIENTO DE COMPRESORES

Desde luego que una larga vida es algo deseable en cualquier producto. Los compresores que se fabrican ahora se espera funcionen durante muchos años con una operación, sin fallas y silenciosa. En muchas aplicaciones, se necesita que los compresores trabajen 24 horas al día y 365 días a año. Sin embargo, esa operación no es tan ruda como la de un compresor que enciende y apaga, cuando cambian las temperaturas en forma constante y el aceite no se mantiene a la viscosidad constante.

El compresor no sólo debe diseñarse para resistir las condiciones normales de funcionamiento, sino que también a veces, algunas condiciones anormales periódicas, como por ejemplo golpes de líquido, demasiada presión de descarga, etc. Los fabricantes de compresores han hecho un buen papel diseñando y produciendo máquinas que admiten castigo adicional, pero ningún fabricante ha embarcado nunca un sistema completo, y es aquí donde el técnico profesional de refrigeración desempeña un papel importante, ya que la mayor parte de las fallas de los compresores no deben a fatiga de operación. El grado de destreza técnica y el simple y antiguo sentido común que usan los técnicos para instalar, operar y mantener el equipo son los que en última instancia determinan la vida de un sistema, en especial el del compresor. Aunque el técnico puede en realidad no seleccionar el equipo, puede llamar la atención a las deficiencias que haya, antes que se constituyan en problemas graves.

Los capítulos siguientes tratarán la instalación, puesta en marcha y servicio del sistema completo, pero ahora es útil repasar algunos de los factores que acortan la vida de un compresor, reducen su eficiencia, o crean condiciones indeseables, factores todos que se relacionan con el diseño alternativo o recíprocante. El grado al que una unidad se pueda corregir en el trabajo depende del compresor, si es reparable o sellado.

R11-16.1 Pérdida de eficiencia

Se puede deber a varias cosas:

1. Si entra refrigerante líquido al compresor, la eficiencia y la capacidad resultantes se afectarán seriamente. Además de los daños físicos, también se puede ocasionar una reducción de capacidad cuando llegan golpes de líquido.
2. Las válvulas de descarga con fugas reducen la eficiencia de bombeo y hacen que la presión en el cárter suelte rápidamente.

3. Las válvulas de succión con fugas afectan mucho la eficiencia del compresor, y su capacidad, en especial en aplicaciones a bajas temperaturas.
4. Los pistones holgados causan demasiada recirculación y falta de compresión.
5. Los cojinetes gastados, en especial los pernos o bielas flojos, evitan que los pistones lleguen hasta donde deberían en la etapa de compresión. Esto tiene el efecto de aumentar la holgura en la cabeza del cilindro y ocasiona demasiada reexpansión.
6. En las unidades de transmisión por bandas, patinamiento de bandas.

R11-16.2 Sobrecarga del motor

Cuando un compresor no trabaja en forma satisfactoria, a veces la carga del motor es una pista para localizar la falla. Si la carga del motor es excepcional por lo alto o por lo bajo, la operación es incorrecta.

1. Los problemas mecánicos como por ejemplo pistones flojos, mala operación de válvulas de succión o demasiado volumen muerto ocasionan en general una reducción en la carga del motor.
2. Otro problema común es una cámara de succión o un colador de entrada con acumulaciones, originadas por contaminaciones en el sistema. El resultado es una presión real mucho más baja en los cilindros al final de la carrera de succión, en comparación con la presión en el tubo de succión, que indica el manómetro en ella. Si es así, se tendrá una carga anormal y baja en el motor.
3. Funcionamiento incorrecto de las válvulas de descarga, puertos (conexiones o salidas) parcialmente tapados, lo cual no muestra el manómetro de descarga, y pistones apretados. Todo ello ocasiona alta carga en el motor.
4. Temperaturas de succión, anormales y altas, debidas a un exceso de carga u otro problema, que causan una alta carga en el motor.
5. Temperaturas de condensación anormalmente altas, debidas a problemas relacionados con el condensador, también ocasionan alta carga del motor. Bajo voltaje del compresor, sea debido al suministro o a demasiadas pérdidas en la línea, que contribuye a una alta carga en el motor, en especial si también se tienen otros problemas.

R11-16.3 Funcionamiento ruidoso

Este caso indica, en general, que algo está mal. Pueden haber condiciones anormales fuera del compresor, o algo averiado o muy gastado dentro del compresor mismo. Es obvio que si se debe a alguna causa fuera del compresor, nada se gana cambiando éste. Por lo tanto, antes de cambiar un compresor, primero debe uno comprobar las siguientes causas posibles:

- *Golpes de líquido.* Asegúrese que sólo entre gas sobrecalentado al compresor.
- *Golpes de aceite.* Es posible que el aceite se deposite en el evaporador o el tubo de succión y regrese en forma intermitente al compresor, en forma de golpes de líquido.
- *Volante flojo.* En unidades de transmisión por bandas.
- *Montaduras del compresor con ajuste incorrecto.* En los compresores con montaduras externas, de tipo hermético, los soportes del compresor pueden estar rebotando con las anclas, o las tuercas de éstas pueden no tener la suficiente holgura, o los resortes pueden ser demasiado débiles, y con ello se permite que el compresor rebote contra su base.

R11-16.4 Ruidos del compresor

Los ruidos que salen del interior podrían deberse a cualquiera de las siguientes causas:

- *Lubricación insuficiente.* El nivel de aceite puede estar demasiado bajo para una lubricación correcta de todos los cojinetes. Si se cuenta con una bomba de aceite, puede ser que no esté trabajando en forma correcta, o que haya fallado por completo. Las venas de aceite pueden estar obstruidas por materia extraña o se forme lodo debido a humedad o ácidos en el sistema.
- *Nivel de aceite demasiado alto.* El nivel de aceite puede estar tan alto que origine demasiado bombeo de aceite, o golpes de aceite.
- *Pistones o cojinetes apretados.* Cuando los pistones o los cojinetes están apretados pueden originar que otro cojinete golpetee, aún cuando tenga su holgura correcta. A veces en un compresor nuevo ese estado se "eliminará" después de algunas horas de funcionamiento. En un compresor que ha estado funcionando durante

algún tiempo, un pistón o cojinete apretados pueden deberse al cobrizado, que a su vez se debe a presencia de humedad en el sistema.

- *Soporte interno en mal estado.* En un compresor con montaje interno sobre resortes los soportes pueden estar doblados, haciendo que el cuerpo del compresor rebote contra el cascarón.
- *Cojinetes flojos.* Una biela, perno o cojinete principal flojos, por supuesto, originarán mucho ruido. El desalineamiento de los cojinetes principales, el eje a los codos del cigüeñal, los cojinetes principales con respecto a las paredes del cilindro, etc., pueden también provocar ruidos y desgaste rápido.
- *Válvulas rotas.* Una válvula rota en la succión o descarga se puede acomodar en la parte superior de un pistón y golpear la placa de válvula al final de cada carrera del pistón. Las rebabas, costras o cualquier material extraño que quede en la cabeza de un pistón puede dar el mismo resultado.
- *Rotor o excéntrico flojos.* En los compresores herméticos, un rotor suelto en el eje puede originar juego entre la cuña y el cuñero, ocasionando funcionamiento ruidoso. Si el eje y el excéntrico no son de una pieza, un seguro flojo puede ser la causa del golpeteo.
- *Válvulas de descarga que vibran.* Algunos compresores, bajo ciertas condiciones, en especial cuando la presión en la succión es baja, tienen ruidos internos, que se deben a vibraciones de las lengüetas o discos de descarga en la carrera de compresión. No se provocan daños, pero si no se desea el ruido, se debe hacer alguna modificación a la válvula de descarga, por parte del fabricante.
- *Pulsación del gas.* Bajo ciertas condiciones, puede originarse ruido del evaporador, condensador o tubo de succión. Parecería que se transmite un golpeteo y/o un silbido, y que se amplifica por el tubo de succión o el de descarga. En realidad puede no haber golpe mecánico, sino que tan sólo se trate de una pulsación originada por las carreras intermitentes de aspiración y compresión, aunadas a determinados fenómenos relacionados con el tamaño y longitud de los tubos de refrigerante, número de codos y otros factores.

Con la experiencia, adiestramiento y conocimientos de las características de operación del producto, se adquiere el reconocimiento de problemas del compresor y sus opciones correctivas. Esto viene con el desarrollo de un técnico de refrigeración maduro y profesional.

PROBLEMAS

- R11-1. Dar los nombres de cuatro tipos de compresores
- R11-2. Un compresor centrífugo es una máquina de desplazamiento positivo. ¿Cierto o falso?
- R11-3 Dar los nombres de dos tipos de compresores alternativos.
- R11-4 Los compresores herméticos sellados necesitan menos aire para su ventilación que los compresores abiertos. ¿Cierto o falso?
- R11-5. Dar los nombres de dos tipos de compresores herméticos.
- R11-6. Casi todos los motores que se usan en los compresores para aplicaciones de refrigeración ¿de qué tipo son? ¿Fase partida, polo sombreado o de inducción?
- R11-7. ¿Cuál es el objeto de un separador de aceite?
- R11-8. ¿Qué quiere decir la palabra "viscosidad" de un aceite lubricante?
- R1 1-9. ¿Cuáles son los dos métodos principales de lubricación de los compresores?
- R11-10. Dar los nombres de seis propiedades esenciales del aceite de refrigeración,
- R11-11. ¿Qué es el "punto de vertido" de un aceite?
- R11-12 ¿Por qué es importante la fuerza dieléctrica de un aceite?
- R11-13. ¿Cuál es el principal enemigo del devanado de un motor?
- R11-14 El cableado de un compresor debe dimensionarse para limitar la caída de voltaje a _____%.
- R11-15. La tolerancia de voltaje de operación para un motor de un solo voltaje es más _____% y menos _____%
- R11-16 La tolerancia de voltaje de operación para un motor de voltaje dual es _____% de más y _____% de menos.
- R11-17. "EER" quiere decir _____
- R11-18 Los descargadores de los compresores alternativos controlan _____
- R11-19 ¿Son necesarios compresores de dos etapas para la relación de compresión alta o baja en aplicaciones a baja temperatura?
- R11-20. El mantenimiento de un compresor es función importante de sus _____



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

CONDENSADORES

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

12-1 GENERALIDADES

El condensador es otro de los componentes del sistema; transfiere el calor de un lugar donde no se le desea a un lugar donde no estorbe; transfiere el calor del refrigerante a un medio que pueda absorberlo y pasarlo a un punto de eliminación final.

Ya hemos descrito tres componentes principales de un sistema de refrigeración: refrigerante, evaporador y compresor. Al agregar el condensador terminamos un sistema normal, como el que se ve en la figura R12-1. El recipiente se relaciona con el condensador y se tratará también en esta descripción.

En el capítulo R6 se hizo notar que los medios que se usan en el proceso de transmisión de calor son 1) aire, 2) agua, o 3) una combinación de aire y agua. Volvamos a identificar y a definirlos en términos de los distintos condensadores (figura R 12-2):

- Enfriados por aire
- Enfriados por agua
- Evaporativos

por agua.

Hay cuatro tipos básicos de condensadores enfriados

1. De doble tubo
2. De envoltente y tubos vertical abierto
3. De envoltente y tubos horizontal
4. De envoltente y serpentín

Los primeros dos tipos sólo se describen en forma breve, porque casi no se usan. Los condensadores horizontales de envoltente y tubos y el de envoltente de serpentín se describen en detalle, porque se usan mucho y representan con mucho el mayor porcentaje de las instalaciones actuales.

El diagrama del lado derecho de la figura R 12-3 es una forma de condensador de doble tubo. El agua pasa por el tubo interior y el refrigerante va en dirección opuesta en el espacio entre los tubos interior y exterior. Este arreglo da algo de enfriamiento por aire además del enfriamiento por agua. Sus ventajas son su alta eficiencia y su flexibilidad, en comparación con su tamaño, y también su adaptabilidad a varios arreglos. Su construcción, aunque eficiente, deja mucho que desear debido al gran número de bridas y empaquetaduras que hacen que haya fugas posibles. Los condensadores de tubo doble se pueden fabricar siguiendo diseños distintos a los que se muestran. En algunos de ellos, se eliminan las bridas y las empaquetaduras.

El diagrama de la izquierda de la figura R 12-3 muestra un condensador vertical abierto de envoltente y tubos. El agua se reparte sobre la cabeza del condensador, entra a cada tubo, y fluye hacia abajo por la superficie interior. Este condensador se encuentra, normalmente, en plantas de amoníaco de tamaño mediano y grande. Sus ventajas son su escaso mantenimiento y la accesibilidad de sus tubos a la limpieza durante el funcionamiento. Este condensador es el menos eficiente de los cuatro tipos, y necesita una unidad más grande para dar una capacidad equivalente.

La figura R12-4 muestra el condensador horizontal de envoltente y tubos. Su construcción es semejante al vertical de envoltente y tubos, pero se han agregado las cabezas de agua, con lo que se tiene un circuito cerrado para ésta. Esto permite que el agua se lleve por el condensador más de una vez. En la figura se ve el agua que hace cuatro

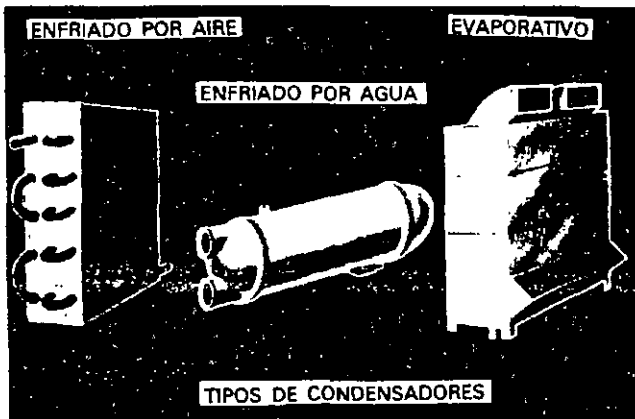


FIGURA R12-2 Tipos de condensadores. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

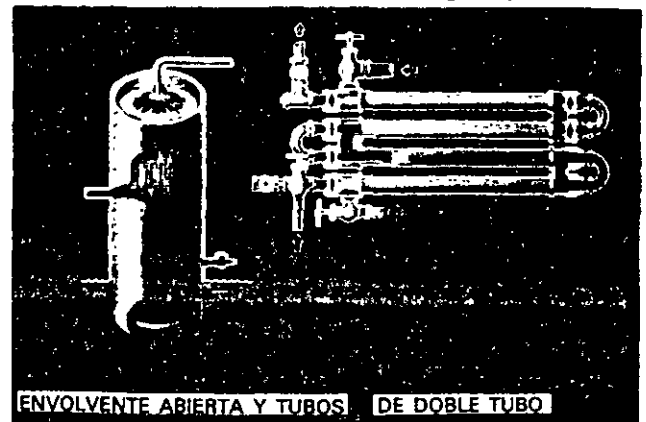


FIGURA R12-3 Condensador de tubo doble y de carcasa abierta y tubos (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

pasos por el condensador. Al poder dirigir el agua a través del condensador, es posible obtener mayor eficiencia. Se puede obtener un aumento adicional de eficiencia empleando tubo aletado o de condensador en lugar de los tubos lisos que se muestran. Este tipo de condensador se usa mucho en las instalaciones de amoniaco de todos tamaños, y en las instalaciones de tamaño medio y grande que usen otros refrigerantes. El condensador horizontal de envolvente y tubo es muy eficiente y se puede construir a un costo razonable. Se limpia con facilidad y sus costos normales de mantenimiento son relativamente bajos.

La figura R12-5 muestra un condensador vertical de envolvente y serpentín. Consiste en una envolvente vertical que tiene un serpentín de tubo aletado para agua. El serpentín dentro de la envolvente es continuo y no tiene empalmes. Este condensador también se puede fabricar en posición horizontal. En ambos casos la construcción puede ser bridada y no soldada. Es uno de los condensadores más eficientes, compactos y baratos de todos, en consecuencia se usa extensamente en equipos pequeños en forma de paquete. Sin embargo, se debe limpiar químicamente, y cuando se presentan fugas, el costo de una sola reparación de una fuga puede ser mayor que el costo del condensador.

La figura R 12-6 muestra lo que sucede al refrigerante en el condensador. Esa figura también se llama *gráfica de temperatura contra Btu*, porque la escala vertical está en grados Fahrenheit y la horizontal en contenido de calor en Btu del refrigerante. En esta gráfica, toda el área a la derecha de la línea 1 representa al refrigerante en estado gaseoso. El área a la izquierda de la línea 2 representa al refrigerante en estado líquido. El área entre las líneas 1 y 2 representa una mezcla gas líquido. Para este ejemplo se usa R- 12 a 116.9 psig. La temperatura correspondiente de condensación es 100 °F.

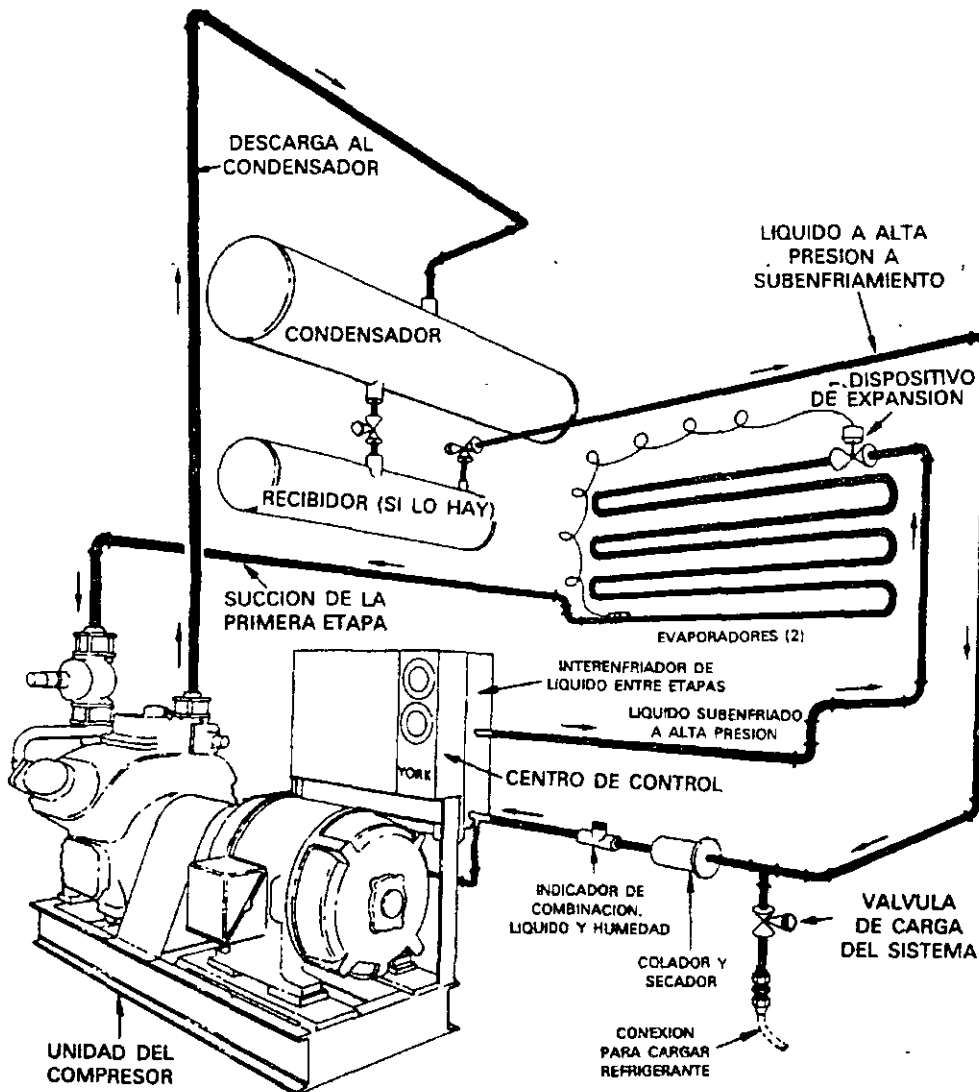


FIGURA R12-1 Sistema de refrigeración. (Cortesía de Borg-Warner Air Conditioning, Inc.)

El refrigerante gaseoso caliente que viene del compresor entra al condensador a 120 °F, y se representa mediante el punto A. El gas en estas condiciones tiene 20 °F de sobrecalentamiento. Al entrar en contacto con los tubos y/o aletas, que están enfriados por el medio de enfriamiento, el gas caliente comienza a ceder su calor. Como el gas está sobrecalentado, esto ocasiona sólo una reducción de temperatura. La temperatura baja de 120 °F a 100 °F, lo cual se representa mediante la línea de A a B. El gas ya alcanzó su temperatura de saturación que corresponde a su presión, y está listo para condensarse. La eliminación de calor prosigue, y todo el gas se condensa pasando al estado líquido en el punto C. Nótese que la temperatura no ha cambiado entre B y C. Toda la eliminación de calor en esta zona es de calor latente, por lo tanto, no hay cambio de temperatura. Como todo el refrigerante está ahora en estado líquido, un mayor enfriamiento lo subenfriará a menos de la temperatura de condensación de 100 °F. En los condensadores que trabajan normalmente, hay algo de subenfriamiento. En este ejemplo el líquido se subenfrió 20 °F en el punto D y sale del condensador a 80 °F.

Un punto interesante que se ve en esta gráfica es la pequeña cantidad de calor sensible que se elimina, en comparación con el calor latente. La eliminación de calor sensible de A a B sólo es 3.5 Btu/lb de refrigerante. De C a D sólo es 4.9 Btu/lb, y se comparan con 57.3 Btu/lb eliminadas en forma de calor latente de B a C. Por lo mismo se ve con facilidad que la mayor parte del calor eliminado en el condensador es calor latente. Para aclarar más el funcionamiento del condensador, las cantidades reales de agua que se usan en el condensador se muestran en la figura R12-7.

Un concepto básico de la teoría de los condensadores es que el calor que cede el refrigerante debe ser igual al que gana el medio de enfriamiento. Cuando pasan 10 lb de refrigerante y 43.8 lb de agua por el condensador, el calor eliminado del refrigerante hace que la temperatura del agua aumente 15 °F, de 70 °F a 85 °F. La figura R12-8 muestra cómo se emplean esas cantidades.

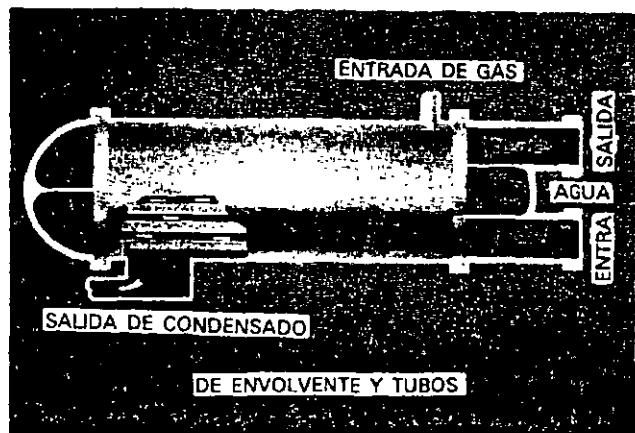


FIGURA R12-4 Condensador de envoltorio y tubos (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

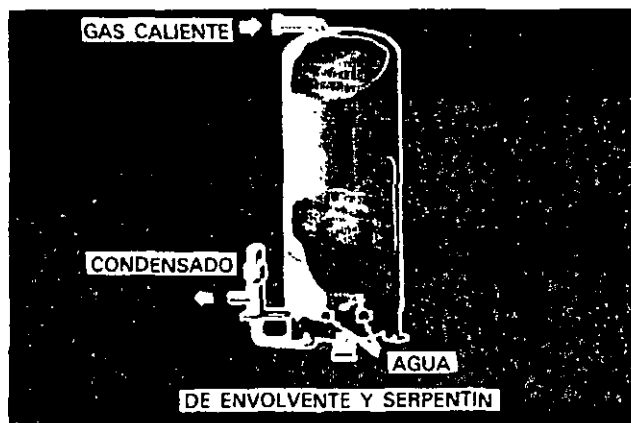


FIGURA R12-5 Condensador de envoltorio vertical con serpentín. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

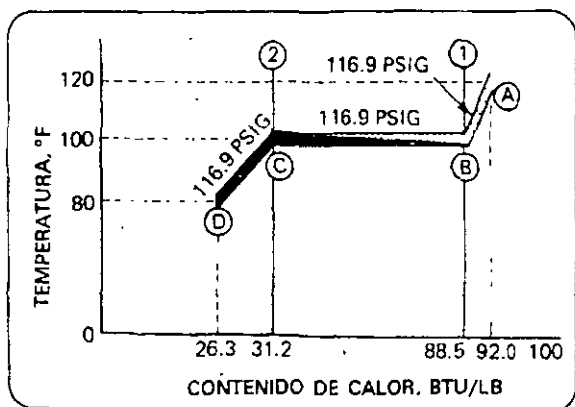


FIGURA R12-6 Contenidos de calor en condensación (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

Esta figura presenta las operaciones matemáticas que se emplean para comprobar el calor perdido por el refrigerante en comparación con el calor total ganado por el agua. Cada libra de refrigerante que pasa por el condensador pierde 65.7 Btu. Como había 10 lb de refrigerante pasando por el condensador, el calor total perdido por el refrigerante debe ser 10 por 65.7, o sean 657 Btu. En el mismo lapso, pasan 43.8 lb de agua por el condensador con un aumento de temperatura de 15 °F. El calor ganado por el agua es entonces 43.8 por su calor específico, que es 1, y por 15 °F de aumento de temperatura. Esto es igual a 657 Btu. En el funcionamiento real se pierde algo de calor por radiación, pero esta cantidad es insignificante y en general no se toma en cuenta en los cálculos. El concepto de balance de calor, o balance térmico, es válido para todos los condensadores, incluyendo aquellos con enfriamiento por aire o enfriamiento

evaporativo.

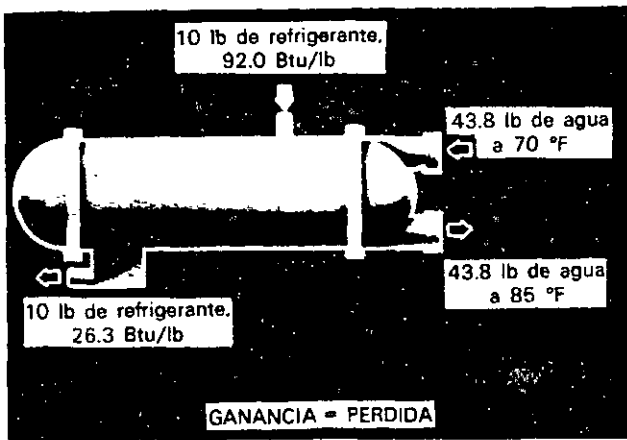


FIGURA R12-7 Ganancias y pérdidas de calor en un condensador enfriado por agua. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

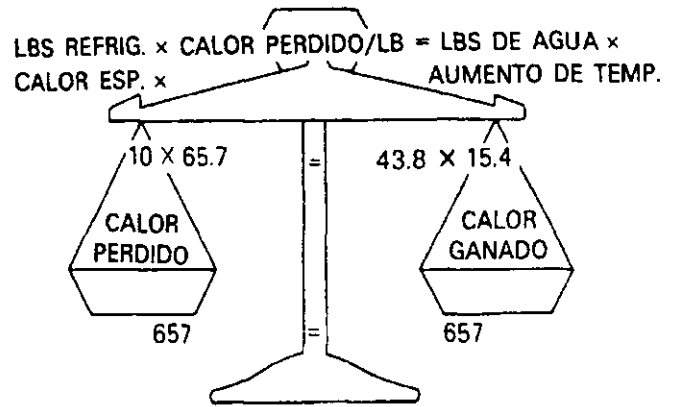


FIGURA R12-8 Balance de calor en un condensador enfriado por agua. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

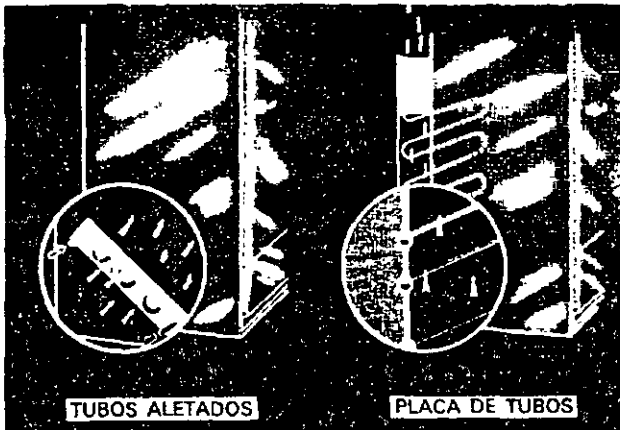


FIGURA R12-9 Condensadores de tubos aletados y de placa de tubos. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

R12-2 CONDENSADORES DE TIRO NATURAL (PASIVOS) ENFRIADOS POR AGUA

En los condensadores de tiro natural enfriados por agua (figura R 12-9), circula aire por el condensador por convección. Cuando el aire se pone en contacto con el condensador caliente absorbe calor y se eleva. Esto permite que entre aire más frío que hay abajo, el cual, a su vez, también absorberá calor del condensador.

El condensador enfriado por aire de tiro natural puede ser de dos tipos. El de tubos aletados se ve a la izquierda en la figura R12-9. A la derecha está un condensador norma tipo placas, en el que éstas se troquelan en forma de serpentin y se sueldan entre sí con puntos. Con ello queda un espacio intermedio en forma de tubos a través de los cuales, pasa el refrigerante caliente.

El condensador enfriado por aire, de tiro natural, tiene aplicaciones muy limitadas. Como el aire se mueve con mucha lentitud no es capaz de extraer calor con rapidez de condensador. Por lo tanto, se necesitan superficies relativamente grandes. Uno de sus empleos más comunes es en los refrigeradores domésticos. Es barato, fácil de fabricar necesita muy poco mantenimiento.

R12-3 CONDENSADORES DE TIPO FORZADO (ACTIVOS) ENFRIADOS POR AGUA

Se puede aumentar la capacidad del condensador forzando el paso de aire por las superficies (figura R 12- 10). Esta figura muestra un condensador de aire de tiro forzado. Se ha agregado un ventilador para aumentar el flujo de aire.

Algunos de los primeros condensadores de este tipo tenían sus tubos lisos. Sin embargo, los condensadores actuales en general tienen la construcción de tubo aletado que se muestra. A diferencia del condensador de tiro natural, el de tiro forzado es más práctico para mayores carga, de enfriamiento. Las principales limitantes son su costo y el espacio disponible.

Se usan en estos condensadores ya sea un ventilador de hélice, que es el que se muestra, o un ventilador tipo centrífugo. La selección del ventilador depende de factores de diseño como por ejemplo resistencia del aire, nivel de ruido necesidades de espacio, etc.

R12-4 BALANCE DE CALOR

Las cantidades y temperaturas reales del aire y del refrigerante se muestran en la figura siguiente con objeto de demostrar el balance de calor. La cantidad de refrigerante y sus pérdidas de calor por libra son iguales que para un condensador enfriado por agua. Sin embargo, el medio de enfriamiento es aire. Diez libras de refrigerante entran con

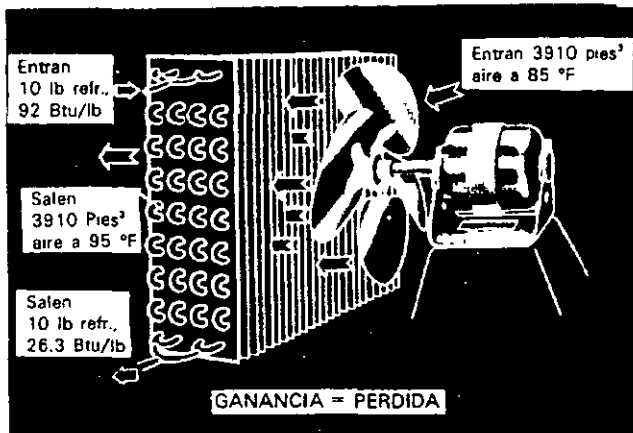


FIGURA R12-10 Aumento o disminución de capacidad del condensador (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

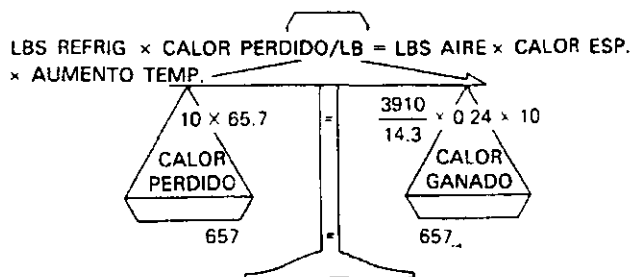


FIGURA R12-11 Balance de calor en un condensador enfriado por aire. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)



FIGURA R12-12 Condensador evaporativo (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

contenido de calor de 92 Btu/lb y salen con uno de 26.3 Btu/lb. Durante el mismo tiempo pasan 3910 pies' de aire por el condensador con un aumento de temperatura de 10 °F porque el aire entra a una temperatura de 85 °F y sale a 95 °F

La figura R12-11 muestra el balance real de calor. La cantidad de calor cedida por el refrigerante se calcula multiplicando las libras de refrigerante por la pérdida de calor por libra. El calor que gana el aire se calcula multiplicando las libras de aire por el calor específico del aire por la diferencia de temperaturas. Al sustituir vemos que el refrigerante cede 657 Btu de calor. Es necesario convertir los pies cúbicos de aire a libras de aire, dividiendo por el volumen específico del aire; el resultado es 14.3 pies³/lb. El peso de aire se multiplica por 0.24 (su calor específico) y después por 10 (el aumento de temperatura en grados). Como muestra el cálculo, esto es igual a 657 Btu, de nuevo, lo cual indica que el calor perdido por el refrigerante debe ser igual al calor ganado por el medio de condensación.

R12-5 CONDENSADORES EVAPORATIVOS

La figura R12-12 muestra el condensador evaporativo típico. Nótese que tiene algunas de las características de los condensadores enfriados por aire y por agua. En el condensador evaporativo, el calor se absorbe del serpentín mediante evaporación de agua. En el caso de los condensadores enfriados por aire o por agua, no hay evaporación.

En funcionamiento, se bombea agua de una charola en la base de la unidad, pasa por una serie de toberas de aspersión y a continuación pasa por el serpentín de refrigerante. Al mismo tiempo entra aire por la base, pasa hacia arriba a través del serpentín y la aspersión de agua, y a continuación pasa por deflectores que eliminan el agua arrastrada, y después por los ventiladores. Finalmente sale de la unidad. El agua que se pierde por evaporación se repone mediante un tubo de suministro de agua, y el nivel de agua en la charola lo mantiene una válvula de flotador. Como siempre quedan impurezas cuando se evapora agua, es necesaria una pequeña purga continua para reducir la concentración de impurezas

Como se mencionó en capítulos anteriores, se necesitan grandes cantidades de calor para hacer pasar un líquido al estado de vapor. El agua no es la excepción. Cuando el agua de aspersión toca al serpentín de condensación caliente, se lleva a cabo la evaporación. El calor necesario para evaporar el agua proviene del serpentín. Al mismo tiempo, el gas caliente de refrigerante cede algo de su calor dentro del serpentín, y el refrigerante se condensa. Durante este proceso, el ventilador saca el aire cargado de humedad de los alrededores del serpentín mojado y lo reemplaza con aire que tiene todavía capacidad de absorber humedad.

La capacidad de un condensador evaporativo está determinada por la cantidad de calor que el aire que entra es capaz de absorber. Por lo tanto, mientras mayor sea el calor contenido en el aire que entra, menor será la capacidad, y mientras menor calor haya en el aire de entrada, mayor será la capacidad. De lo anterior se ve que la capacidad del condensador evaporativo depende del contenido de calor del aire que entra. Este contenido se calcula a partir de su temperatura de bulbo húmedo, la cual se determina con facilidad colocando una mecha mojada sobre el bulbo de un termómetro común y corriente, y sujetando el termómetro en la corriente de aire entrante. La temperatura de bulbo

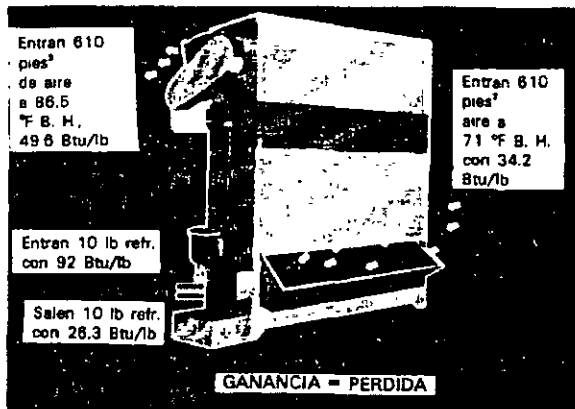


FIGURA R12-13 Condiciones de funcionamiento de un condensador evaporativo (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company)

bulbo húmedo del aire que sale, se que el contenido de calor total es 49.6 Btu/lb.

Entonces la figura R 12-14 representa el balance real de calor en el condensador evaporativo. El calor cedido por el refrigerante se muestra como resultado de las libras de refrigerante multiplicadas por la pérdida de calor por libra. Por lo tanto, la pérdida de calor es 10 lb de refrigerante por 65.7 Btu/lb, o sean 657 Btu cedidos por el condensador. El calor que gana el aire se calcula multiplicando las libras de aire por el calor ganado por libra. Dividiendo los pies cúbicos de aire por su volumen, que es 14.3 pies³/lb, se pueden calcular las libras de aire. Si esta cantidad se multiplica por 15.4 Btu, que es la diferencia entre los calores en el aire que sale y el aire que entra, deduciremos la pérdida total de calor. Los cálculos muestran que el aire recoge 65 Btu/lb, y esto es igual al calor cedido por el refrigerante.

Los condensadores evaporativos, por supuesto, son dispositivos eficientes de conservación de agua, pero tienen una desventaja, porque se necesita gran cantidad de tubería de refrigeración en el sitio, así como un receptor. Este tiende a aumentar los costos de instalación y los riesgos de confiabilidad, que quedan sujetos a la destreza de los instaladores. También evita el armado, prueba y embarque completos por parte del fabricante y que las unidades tengan pocos requisitos de instalación. Como resultado, se ha tenido una tendencia hacia más equipo tipo paquete enfriado por agua para sistemas más pequeños, y usar torres de enfriamiento de agua cuando se deben disipar mayores cantidades de calor.

R12-6 CONDENSADORES ENFRIADOS POR AGUA

En las aplicaciones iniciales de los condensadores enfriados por agua en el campo de refrigeración y aire acondicionado, lo que se acostumbraba era conectar los condensadores con el agua potable municipal y a continuación desperdiciar el agua de salida conectándola al drenaje, como se ve en la figura R12-15. Se colocaba una válvula automática en el tubo y el flujo del agua que entraba se controlaba mediante la presión de flujo del condensador mediante una conexión de presión. La temperatura del agua de entrada afectaba, desde luego, el funcionamiento del condensador, así como la rapidez de flujo para cualquier carga térmica. Las temperaturas del agua en los cabezales de distribución municipales raras veces tienen más de 50 o 60 °F (10 a 15 °C) aun en el verano, y con frecuencia su temperatura baja mucho más en el invierno. Los condensadores conectados al agua potable municipal siempre se arreglaban para tener flujo en serie, conectado en varios circuitos para lograr el máximo de salida de calor al agua, la que a continuación se desperdiciaba. Así, los condensadores que tomaban agua municipal sólo podían usar de 1 a 2 galones por minuto por ton de refrigeración. El circuito multipaso originaba altas caídas de presión de agua (P1 P2), de 20 psi o más. Sin embargo, la mayor parte de las presiones municipales de suministro eran suficientes para alcanzar los requisitos mínimos de presión, en general 25 psig. Con el tiempo, el costo y la escasez del agua municipal, a menos que se tomara de un lago o de pozos y se regresara, hicieron que la operación se volviera muy costosa y hasta ilegal de acuerdo con los reglamentos de muchas ciudades. Estas disposiciones restringieron el empleo de agua para refrigeración y aire acondicionado hasta el extremo de que esas actividades fueron obligadas a usar equipo enfriado por...

húmedo corresponde a la medición indicada más baja. Después que la mecha comienza a secarse, la temperatura comenzará a subir: hasta llegar a la temperatura de bulbo seco.

Como se puede usar la temperatura de bulbo húmedo para calcular el contenido de calor del aire, por lo tanto la diferencia entre la temperatura de bulbo húmedo del aire que entra y la del aire que sale, junto con la cantidad de aire, determina la capacidad de cualquier condensador evaporativo.

En la figura R12-13 se han agregado las cantidades reales de aire y refrigerante, y otras condiciones. Diez libras de refrigerante entran con un contenido de calor de 92 Btu/lb y salen con un contenido de 26.3 Btu/lb. Durante el mismo periodo, pasan 610 pies³ de aire por el condensador. A partir de una temperatura de bulbo húmedo de 70 °F en el aire que entra, se ha determinado que el contenido total de calor de este aire que entra es 34.2 Btu/lb. A partir de la temperatura de

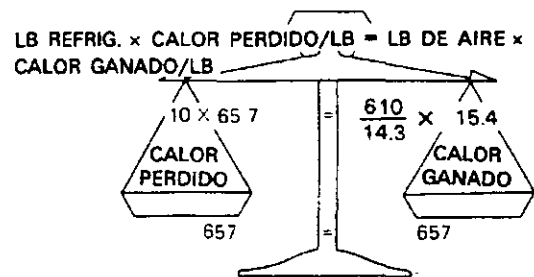


FIGURA R12-14 Balance de calor en un condensador evaporativo (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company)

aire, dispositivos de ahorro de agua como por ejemplo enfriadores evaporativos, o la llamada torre de enfriamiento de agua. Aquí nos enfocaremos al condensador enfriado por agua y a su aplicación en las torres. Primero, el condensador (Figura R12-16), al emplearse con un flujo recirculado como por ejemplo en un sistema con torre de agua, se diseña en general con tubos paralelos con menos pasos de agua para poder tener una mayor cantidad de la misma, de 3 a 4 gal/min por tonelada, y a menor caída de presión ($P_1 - P_2$), de 8 a 10 psi, (18 a 23 pies de altura de agua). La aplicación nominal de la torre de enfriamiento tendrá un aumento de temperatura de 10 °F en el condensador, y una temperatura aproximada de condensación de 10 °F mayor que la temperatura de salida del agua.

Otra cosa que hay que tener en cuenta al usar el condensador enfriado por agua en flujo abierto de recirculación es el factor de ensuciamiento, que afecta la transmisión de calor y la caída de presión del agua. El ensuciamiento es esencialmente el resultado de la acumulación de costra en el interior de los tubos, y algo de esa costra proviene de los compuestos químicos (calcio), pero la mayor parte de contaminantes biológicos como algas, hongos, etc., y también del polvo y tierra arrastrados en la atmósfera. La acumulación progresiva de costra crea un efecto aislante que retarda el flujo de calor del refrigerante al agua. Cuando el diámetro interno del tubo se reduce, también se reduce el flujo de agua, a menos que se aplique mayor presión. El flujo reducido, naturalmente, no puede absorber tanto calor, y por consiguiente aumenta la temperatura de condensación, al igual que los costos de operación.

Al seleccionar condensadores, el ingeniero de aplicaciones tomará en cuenta, en general, los resultados del ensuciamiento y entonces el condensador tendrá el exceso de superficie en los tubos suficiente para mantener un funcionamiento satisfactorio en operación normal, con un tiempo razonable entre limpiezas. Para condiciones de ensuciamiento extremo y mal mantenimiento, se usan mayores factores de ensuciamiento. El mantenimiento adecuado depende del tipo de condensador, lo que quiere decir que la limpieza mecánica, o química, o ambas, se puede necesitar o emplear para quitar los depósitos de costras.

FLUJO 1 A 2 GAL/MIN-TON REFRIGERACION

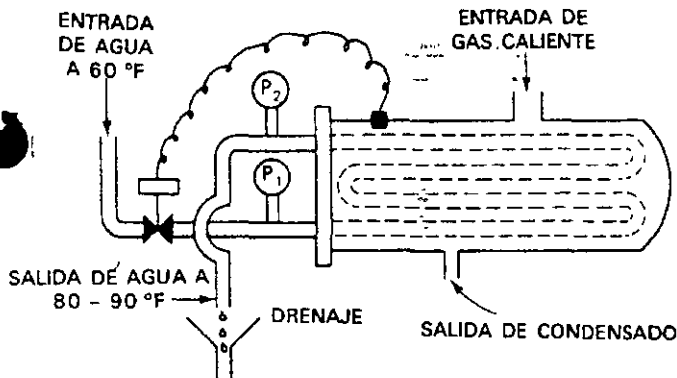


FIGURA R12-15 Condensador de flujo en serie que usa agua potable municipal

ENTRADA DE GAS CALIENTE

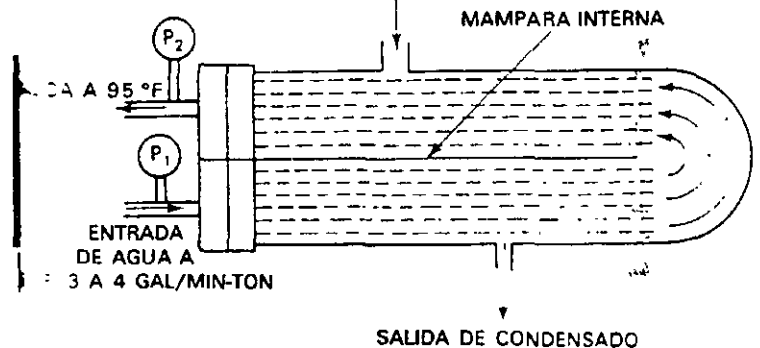


FIGURA R12-16 Condensador trabajando con torre de enfriamiento

R12-7 TORRES DE ENFRIAMIENTO

La función de la torre de agua, o torre de enfriamiento, es recoger el calor cedido por el condensador y descargarlo a la atmósfera, lo cual hace por evaporación.

¿A qué se debe que la temperatura del agua de un lago sea más fría que el aire que la rodea en un verano cálido? La razón es *evaporación en la superficie*, y ésta también es lo que se lleva a cabo cuando se para uno frente a un ventilador eléctrico y siente los efectos refrescantes de la humedad que se evapora de la superficie de la piel.

La evaporación de agua de cualquier superficie elimina calor en forma del vapor de agua que se produce. A este calor se le llama *calor latente de evaporación*. Cuando se absorbe calor de agua de esta manera, el aire es capaz de enfriar al agua a menor temperatura que la ambiente de bulbo seco. Cuando se evapora 1 lb de agua lleva consigo unas 1000 Btu en forma de calor latente. Y esta eliminación de calor latente mediante aire es el efecto de enfriamiento que hace posible enfriar el agua en una torre de enfriamiento, hasta una temperatura inferior a la del aire que le rodea, que es la que indica un termómetro ordinario.

En los trabajos de aire acondicionado y de refrigeración, las temperaturas *de bulbo seco* y *de bulbo húmedo* son la base del diseño del sistema. La humedad relativa se relaciona estrechamente con esas dos temperaturas.

La *humedad relativa* es la relación de la cantidad de vapor de agua presente en realidad en un pie cúbico de aire, a la cantidad máxima de vapor que puede tener ese aire si estuviera saturado. Si la humedad relativa es 100%, el aire ya no puede absorber más humedad, y por lo tanto el agua no se evapora de un objeto cuando el aire es 100%

húmedo. Pero cuando la humedad relativa del aire es menor que 100%, el agua se evaporará de la superficie de un objeto, sea un lago, una esponja mojada o *las gotas de agua que caen en una torre de enfriamiento*.

Cuando la humedad relativa es 100%, la temperatura de bulbo húmedo es igual a la temperatura de bulbo seco porque el termómetro de bulbo húmedo, como el que describimos antes y cuyo bulbo está cubierto con un trapo húmedo, cuando se agita en el aire, no puede evaporarse agua del trapo. Pero cuando la humedad es menor que 100%, la temperatura de bulbo húmedo será menor que la de bulbo seco, porque el agua se evaporará del trapo y se llevará consigo calor latente, que se apartará del bulbo y por eso la temperatura será inferior a la de un bulbo seco. Mientras más seco esté el aire, mayor será la diferencia entre las temperaturas de bulbo húmedo y seco, y será más fácil que se evapore el agua.

Por lo anterior, la operación de una torre de enfriamiento no depende de la temperatura de bulbo seco. La capacidad de una torre de enfriamiento para enfriar agua es una medida de qué tanto puede hacer la torre que la temperatura del agua se acerque a la temperatura de bulbo húmedo de aire que la rodea. Mientras menor sea la temperatura de bulbo húmedo, indicando ya sea que el aire está frío, que haya baja humedad, o una combinación de los dos factores menor será la temperatura a la que la torre enfriará el agua. Es importante recordar que ninguna torre de enfriamiento puede enfriar al agua abajo de la temperatura de bulbo húmedo del aire que entra. En la práctica, la temperatura final del agua siempre será cuando menos unos pocos grados mayor que la temperatura de bulbo húmedo, dependiendo de las condiciones de diseño. La temperatura de bulbo húmedo que se seleccione para diseñar las torres de enfriamiento que se usen en servicio de refrigeración y acondicionamiento de aire acercarán a la temperatura máxima promedio de bulbo húmedo en los meses de calor de la localidad que se trate.

En vía de resumen, la razón por la cual las torres de enfriamiento enfrían es porque el aire, que pasa sobre superficies expuestas de agua, recoge pequeñas cantidades de vapor de agua. La pequeña cantidad de agua que se evapora un 1% por cada 10 °F de enfriamiento, extrae una gran cantidad de calor del agua que queda

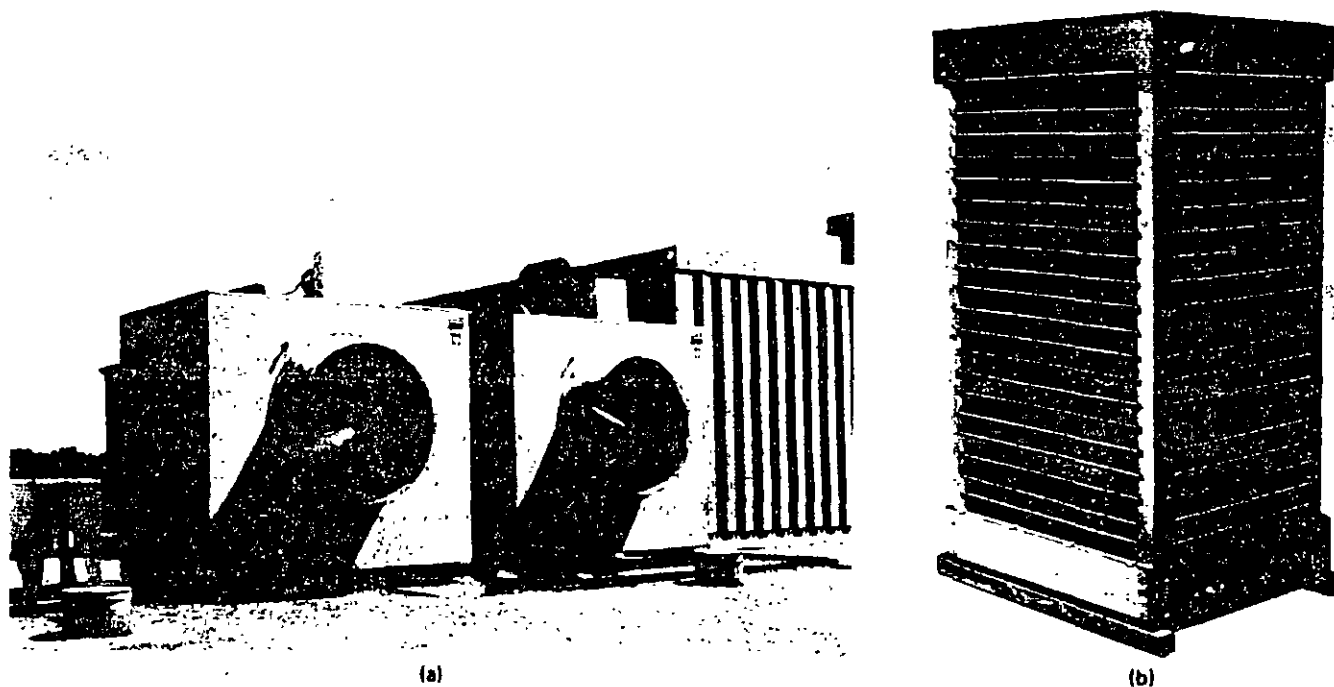


FIGURA R12-17 a) Torre de enfriamiento de tiro mecánico b) Torre de enfriamiento atmosférica, o de tiro natural. (Cortesía de Marley Cooling Tower Company.)

¿Cómo enfrían las torres de enfriamiento? Hay dos tipos: de *tiro mecánico* y *atmosféricas* (figura R12-17). Una torre de tiro mecánico o tiro forzado emplea un ventilador motorizado para impulsar al aire a través de la torre, y ventilador es parte integral de ésta. Una torre atmosférica o de tiro natural, es aquella en que el movimiento del aire y la eficiencia de operación dependen de las condiciones atmosféricas, principalmente de los vientos.

Cuando el agua por enfriar llega a la torre de enfriamiento de tiro mecánico, contiene calor que ha recogido en el condensador de la unidad de refrigeración o de aire acondicionado. Este calor en general es de unas 250 Btu/min por cada ton de refrigeración. En forma típica, el agua entra a la torre por la parte superior, o el distribuidor superior. A continuación, pasa por los agujeros del distribuidor y al relleno de la torre, que retarda la caída del agua y aumenta la exposición de su superficie. En la figura R 12-18 se muestra el relleno que provoca salpicaduras. Mientras tanto, el ventilador succiona aire que pasa por el relleno. Este aire se pone en contacto íntimo con el agua, y la evaporación

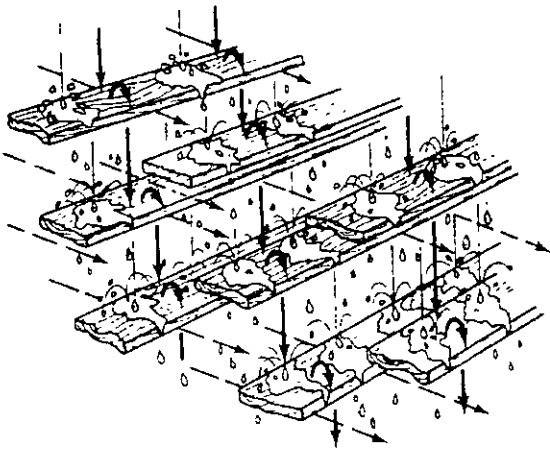


FIGURA R12-18 Relleno normal de una torre de enfriamiento: el relleno da superficie de enfriamiento y desintegración de gotas de agua; el aire pasa por las superficies de las gotas de agua y del relleno mojado. (Cortesía de Marley Cooling Tower Company.)

resultante transfiere el calor del agua caliente al aire. Por último, el agua que cae fría se junta en la charola inferior (de agua fría) de la torre. Después se bombea de regreso al condensador enfriado por agua, para tomar más calor.

Cuando el agua de enfriamiento llega a la torre de enfriamiento de tiro natural, se conduce a la parte superior, donde entra a las toberas de atomización. Esas toberas dispersan al agua en forma de gotas finas e inducen al movimiento de aire debido a la fuerza de aspiración de las toberas. Cuando alcanzan la parte inferior de la torre, las gotas de agua se juntan en una charola y se bombean de regreso al condensador para seguir efectuando su trabajo de enfriamiento.

La torre de tiro atmosférico depende de las toberas de aspersión para dividir el agua y efectuar el movimiento del aire.¹ No tiene relleno ni ventilador, y se verá que su peso, tamaño y necesidades de instalación, en comparación con las de tiro mecánico, se han reducido bastante. Sin embargo, en el trabajo normal de servicio de refrigeración puede haber veces en las que se llame al técnico para dar servicio, o mantenimiento a esas unidades, y por lo tanto es importante estar familiarizado con el funcionamiento de torres de tiro natural.

En las torres de enfriamiento se aplican los siguientes términos y definiciones (figura R12-19):

- **Límites de enfriamiento, o rango de enfriamiento** Es el número de grados Fahrenheit que se enfría el agua en la torre. Es la diferencia entre la temperatura del agua caliente que entra y la del agua fría que sale de la torre.
- **Acercamiento** Es la diferencia, en grados Fahrenheit, entre la temperatura del agua fría que sale de la torre y la temperatura de bulbo húmedo del aire que entra a la torre.
- **Carga térmica** Es la cantidad de calor disipada por la torre de enfriamiento en Btu por hora, o por minuto. Es igual a las libras de agua que circulan multiplicadas por el rango de enfriamiento. Por ejemplo, una torre por donde circulan 18 gal/min con un rango de enfriamiento de 10 °F tiene una capacidad de 18 gal/min X 60 min X 8.33 lb/gal x 10 °F = 90,000
- Btu/hr = 6 0 ton de enfriamiento de la torre.

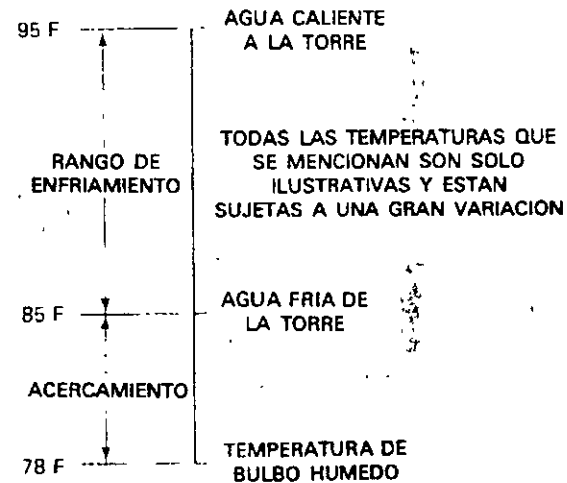


FIGURA R12-19 Diagrama que muestra las definiciones de "rango de enfriamiento" y "acercamiento". (Cortesía de Marley Cooling Tower Company.)

1N. del T.: En realidad, la fuerza impulsora más grande en una torre de tiro natural es la diferencia de densidades entre el aire húmedo y caliente del interior de la torre, y el aire atmosférico. Por esta razón muchas veces esas torres son altas, aunque el enfriamiento sólo se lleva a cabo en el relleno que ocupa una altura normal. El resto de la altura está vacío y sólo sirve para provocar gran flujo de aire. El relleno de estas torres es más abierto que en las torres de tiro forzado.

La figura R 12-20 presenta una tubería normal entre una torre de enfriamiento de tiro mecánico y el condensador de una unidad de paquete de refrigeración o aire acondicionado

- **Altura de bombeo de la torre de enfriamiento** Corresponde a la presión necesaria para elevar el agua caliente desde el nivel de trabajo de la charola inferior hasta la parte superior de la torre y para forzar esa agua al sistema de distribución. Estos datos se encuentran en las especificaciones del fabricante y en general se expresan en pies o metros de altura (1 psi de presión = 2.31 pies de altura = 0.70 m de altura).
- **Arrastre** La pequeña cantidad de agua que se pierde en forma de gotitas pequeñas que salen con el aire que circula. Es independiente de, y adicional a, la pérdida por evaporación.
- **Purga** Es el desecho continuo o intermitente de una pequeña fracción del agua que circula para evitar la acumulación y concentración de sustancias formadoras de costras y depósitos en el equipo.

- **Relleno** El agua que se necesita para reemplazar la que se pierde por evaporación, arrastre y purga.

A continuación describiremos el diseño del sistema de tubería. El primer paso es determinar el flujo de agua que va a circular, basado en la carga térmica que se dio arriba. En el caso normal, las torres manejan de 3 a 4 gal/min/ton. Los tubos de suministro de agua deben ser tan cortos como sea posible. Entre los materiales más satisfactorios están el tubo de acero de peso normal, galvanizado, el tubo de cobre tipo L, y el tubo de plástico CPVC, de acuerdo con las condiciones del trabajo y de los reglamentos locales.

La tubería se debe dimensionar de tal modo que la velocidad del agua no sea mayor que 5 pies/seg (1.50 metros/seg). La figura R12-21 da las pérdidas por fricción aproximadas en el tubo de acero estándar y el tubo de cobre tipo L. El tubo de plástico tiene las mismas pérdidas por fricción, en general, que el tubo de cobre. Los datos se basan en agua limpia, una cantidad razonable de corrosión y encostramiento, y una velocidad de flujo de 5 pies por segundo o menor.

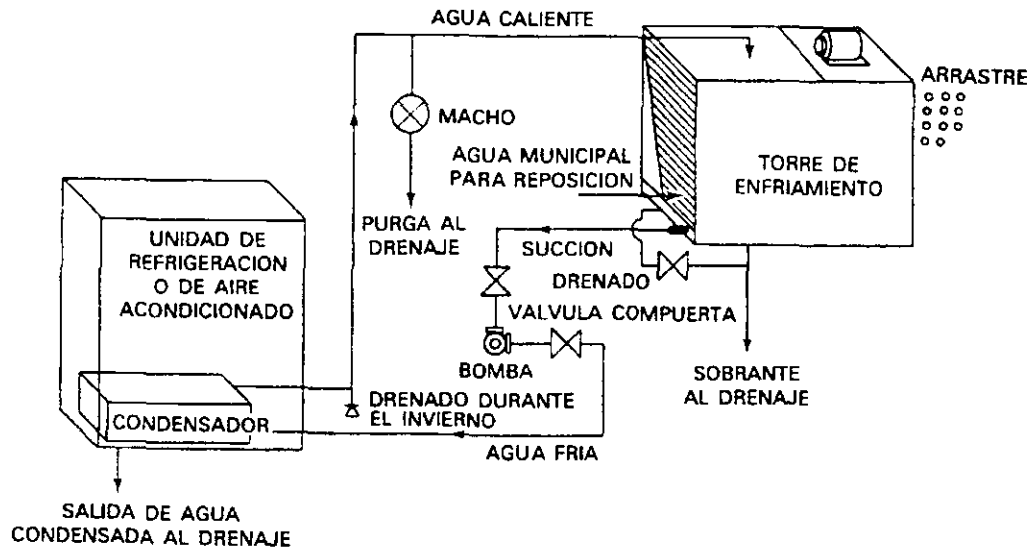


FIGURA R12-20 Instalación normal de una torre de enfriamiento (Cortesía de Marley Cooling Tower Company.)

EJEMPLO

100 pies de tubo estándar de acero de 1 1/4 pulg tendrían una pérdida de presión de 4.31 pies a 12 gal/min; 50 pies tendrían una pérdida de presión de $4.31 \times 50/100 = 2.15$ pies, y 200 pies tendrían una caída de presión de $4.31 \times 200/100 = 8.62$ pies.

Para usar esta tabla, escoja el tamaño menor de tubo que produzca la velocidad adecuada de flujo para mantener los costos de instalación al mínimo.

Las pérdidas por fricción se expresan en pies de altura por 100 pies de tubo recto (véase el ejemplo anterior).²

Se debe analizar el circuito completo de tubería para establecer la necesidad de válvulas adecuadas para manejar y mantener sistema. Es deseable tener un medio de ajuste del flujo de agua se deben instalar válvulas de cierre para que cada equipo se puede aislar para su mantenimiento

Las válvulas y conexiones (codos, tes, etc.) crean más pérdidas por fricción y altura de bombeo. La figura R12-22 presenta las pérdidas aproximadas por fricción expresadas en longitud equivalente de tubo.

2 N. del T.: Como es una pérdida expresada en unidades de longitud P. - 100 unidades de longitud, los pies de altura por 100 pies de tubo son numéricamente iguales a los metros de altura por 100 metros de tubería Para usar esta tabla en el sistema métrico sólo resta convertir los litros p: minuto a galones por minuto: gal/min = litros/ (min X3 785).

A continuación presentamos un ejemplo de determinación del tamaño de tubería.

EJEMPLO

Calcular la altura total de bombeo necesaria para una instalación de 5 ton que necesita 75 pies de tubo recto de acero, 10 codos de 90 grados, cuatro válvulas compuerta y una altura estática neta de la succión será 60 pulgadas (5 pies). La circulación del agua será 15 gal/min y la caída de presión al pasar por el condensador es 13 psi (dato obtenido del fabricante).

SOLUCION

Supondremos tubo de 1 1/4", porque 15 gal/min producen una velocidad menor que 5 pies/seg.

Longitud equivalente de tubería de 1 1/4"

75 pies tubo estándar de acero de 1" = 75.0 pies

0 codos de 90° de 1 1/4" pulg x 3.5 pies c/u 35.0 pies¹

4 válvulas compuerta de 1 1/4" abiertas XO.74 2.96 pies¹

Total 112.96 pies

¹ Véase figura R 12-2.

De la figura R12-21 vemos que para 100 pies de tubo del 1 1/4" la pérdida es 6.35 pies, y para 112.96 pies,

$$\text{pérdida} = (112.96) / 100 \times 6.35 = 7.17 \text{ pies}$$

Pérdida de presión debida a tubería y conexiones = 7.17 pies

Pérdida de presión debida al condensador² = 13 X 2.31 = 30.00 pies

Pérdida de presión debida a la altura estática de la succión de la torre = 5.00 pies

Altura total = 42.17 pies

El tamaño del tubo es correcto, porque la velocidad es menor que 5 pies/seg.

2 Para convertir libras por pulgada cuadrada a pies de altura, se multiplica por 2.31.

FIGURA R12-21

Pérdidas aproximadas por fricción en tubo estándar de acero y de cobre tipo L (los números son pérdidas de altura en pies de agua por 100 pies de tubo).

Flujo de agua gal/min	Tipo de tubo	3/4" pulg		1 pulg		1 1/4" pulg		1 1/2" pulg		2 pulg	
		Velocidad pies/seg	Pérdida de altura, pies/100 pies	Velocidad pies/seg	Pérdida de altura, pies/100 pies	Velocidad pies/seg	Pérdida de altura, pies/100 pies	Velocidad pies/seg	Pérdida de altura, pies/100 pies	Velocidad pies/seg	Pérdida de altura, pies/100 pies
6	Acero estándar	3.61	14.7	2.23	4.54						
	Cobre tipo L	3.96	11.5	2.34	3.13						
9	Acero estándar	5.42	31.1	3.34	9.72	1.93	2.75				
	Cobre tipo L	5.96	24.2	3.50	6.63	2.30	2.38				
12	Acero estándar			4.46	16.4	2.57	4.31	1.89	2.04		
	Cobre tipo L			4.67	11.3	3.06	4.04	2.16	1.73		
15	Acero estándar			5.57	24.9	3.22	6.35	2.36	3.22		
	Cobre tipo L			5.84	17.1	3.83	6.12	2.70	2.62		
22	Acero estándar					4.72	13.2	3.47	6.25	2.10	1.85
	Cobre tipo L					5.21	12.5	3.96	5.57	2.28	1.40
30	Acero estándar							4.73	11.1	2.87	3.29
	Cobre tipo L							5.41	9.44	3.11	2.45
45	Acero estándar									4.30	6.96
	Cobre tipo L									4.66	5.20

Nota: Los datos se basan en información publicada en *Cameron Hydraulic Data*, por Ingersoll Rand Company. Impreso con autorización. Los datos se basan en agua limpia y corrosión y encostramiento razonables.

3 N. del T.: Es necesario tener en cuenta la altura total a la que se va a elevar el agua. Esta altura es la diferencia de niveles entre el espejo del agua que succiona la bomba y la parte superior de la torre, donde llega el agua al distribuidor. La altura de la succión, 5 pies o 1.50 m se cuenta desde el nivel de la charola hasta la entrada a la bomba. Faltaría el dato correspondiente a la altura entre la succión de la bomba y la descarga de agua a la entrada de la torre.

N. del T.: En otros países, los catálogos de bombas tienen los datos de litros/seg, o litros/min y altura de bombeo en metros. En México son muy comunes esos catálogos.

FIGURA R12-22

Pérdidas aproximadas por fricción en conexiones y válvulas, en pies equivalentes de tubo recto.

Diámetro del tubo, pulg	Válvula compuerta completamente abierta	Codo de 45°	Codo de radio largo o tramo recto de Te normal	Codo normal o te reducida a la mitad	Te normal, radio lateral	Codo de 180°, ramal corto	Válvula de retención completamente abierta	Válvula de ángulo completamente abierta	Válvula globo completamente abierta
$\frac{3}{4}$	0.44	0.97	1.4	2.1	4.2	5.1	5.3	11.5	23.1
1	0.56	1.23	1.8	2.6	5.3	6.5	6.8	14.7	29.4
$1\frac{1}{4}$	0.74	1.6	2.3	3.5	7.0	8.5	8.9	19.3	38.6
$1\frac{1}{2}$	0.86	1.9	2.7	4.1	8.1	9.9	10.4	22.6	45.2
2	1.10	2.4	3.5	5.2	10.4	12.8	13.4	29.0	58.0

Nota: Estos datos se basan en información publicada por Crane Company. Impreso con autorización.

¿Cómo se selecciona la bomba? Esta selección se basa en los galones de agua por ruín (por ejemplo, 15 gpm) y en la altura total de bombeo, por ejemplo 42 17 pies, o 43 pies. El catálogo del fabricante de la bomba presentará la capacidad de la bomba en gal/min contra pies de altura y el caballaje del motor necesari 0.4 Hay muchos tipos de bombas en el mercado, pero en general se recomienda una unidad de menor velocidad (1750 rpm) para tener una operación silenciosa. En general, las unidades que trabajan 3450 rpm cuestan menos, pero son más ruidosas.

En general, la bomba se debe instalar como sigue:

- Se debe ubicar entre la torre y la unidad de refrigeración o de aire acondicionado para que el agua se succione de la torre y se "empuje" por el condensador. Véase la figura R12-20, donde se presenta un diagrama normal. Se acostumbra colocar una válvula de control de flujo en el tubo de descarga de la bomba. La válvula de compuerta es satisfactoria.
- La bomba se debe instalar de tal modo que su nivel de succión sea menor que el nivel del agua en la charola de agua fría de la torre. Con ello se asegura el cebado de la bomba.
- Si el ruido no es limitante, la bomba puede estar en el interior para eliminar cableado a la intemperie poder usar un motor abierto o a prueba de goteo.
- Si el caso necesita del empleo de un motor abierto o a prueba de goteo en la intemperie, ese motor debe techar con una cubierta adecuada.
- La bomba debe ser accesible para mantenimiento se debe instalar de tal modo que permita un drenado total para paros durante el invierno.

¿Cuáles son algunos de los métodos convencionales de cablear una torre de enfriamiento? El cableado y arreglo de control más deseable varían dependiendo de las características del suministro de corriente disponible y del tamaño del equipo que se instala. En todo caso, el objetivo es de los resultados especificados con economía de operación óptima y protección del equipo que interviene.

Para equipos pequeños de refrigeración y aire acondicionado, el arreglo ideal se basa en una secuencia que comienza con el ventilador y la bomba de la torre de enfriamiento El arrancador que controla a cada uno de ellos activa al arrancador del motor del compresor mediante un enlace. Este método, que se muestra en la figura R12-2 asegura que haya suficiente flujo de agua para que elimine el arranque y paro del compresor en caso de una falla del motor de la bomba. En otras palabras, el compresor no puede ponerse en marcha a menos que la torre este trabajando. Hay otros métodos más económicos que se basan en uso del arrancador del compresor para activar la bomba el ventilador, pero se deben incluir dispositivos sensores de temperatura o flujo de agua como protección al compresor. Cuando se usan múltiples unidades de refrigeración en una torre normal, la primera unidad que se enciende activa la torre de enfriamiento.

El funcionamiento de una torre de enfriamiento en invierno o a bajas temperaturas ambientes, está sujeto a tratamiento especial para temperaturas mayores que la congelación. El agua que sale de la torre y que esté demasiado fría puede originar un choque térmico al condensad y ocasionar una temperatura de condensación demasiado baja. Un método de elevar la temperatura del agua es apagar ventilador de la torre, o reducir su velocidad si se trata de una to de tiro mecánico. Con ello se reducirá la capacidad térmica de la misma y se hará que suba la temperatura de agua. Si ello no es suficiente, se puede instalar una válvula de derivación en la tubería a la torre, para permitir tirar agua tibia

directamente a la base de la torre, evitando el paso del agua por las toberas y el sistema de distribución. Para asegurar una temperatura estable del agua durante el tiempo que el sistema de refrigeración esté apagado por tener tiempo frío, aunque si se reduce el flujo se contribuirá al congelamiento de la torre.

En general, si el clima bajo la temperatura de congelación dura mucho, se necesita apagar por completo el sistema y drenar el cárcamo de la torre, así como todas las tuberías a la intemperie.

R12-8 CAPACIDADES

La descripción anterior de los condensadores enfriados por agua se presentó como si la mayor parte del equipo de refrigeración y/o aire acondicionado tuviera condensadores y compresores separados conectados como en la figura 18-1. Es verdad que los componentes separados se venden para sistemas que se arman, pero éstos son relativamente pocos. La mayor parte de los condensadores se arman en fábrica como parte de una unidad de condensación enfriada por agua (figura R12-24) o como parte de una unidad completa de enfriamiento de agua. Por lo tanto, la capacidad del equipo viene a ser una capacidad de sistema semejante a la tabla de capacidad (figura R12-25), en la cual la temperatura del agua que sale del condensador y la temperatura de saturación en la succión del compresor determina el tonelaje de la unidad, consumo de kilowatts, temperatura resultante de condensación y flujo de agua en el condensador, en gal/min. Como se dijo antes, una temperatura de agua de salida del condensador de 95 °F (35 °C es normal para el funcionamiento de las torres.

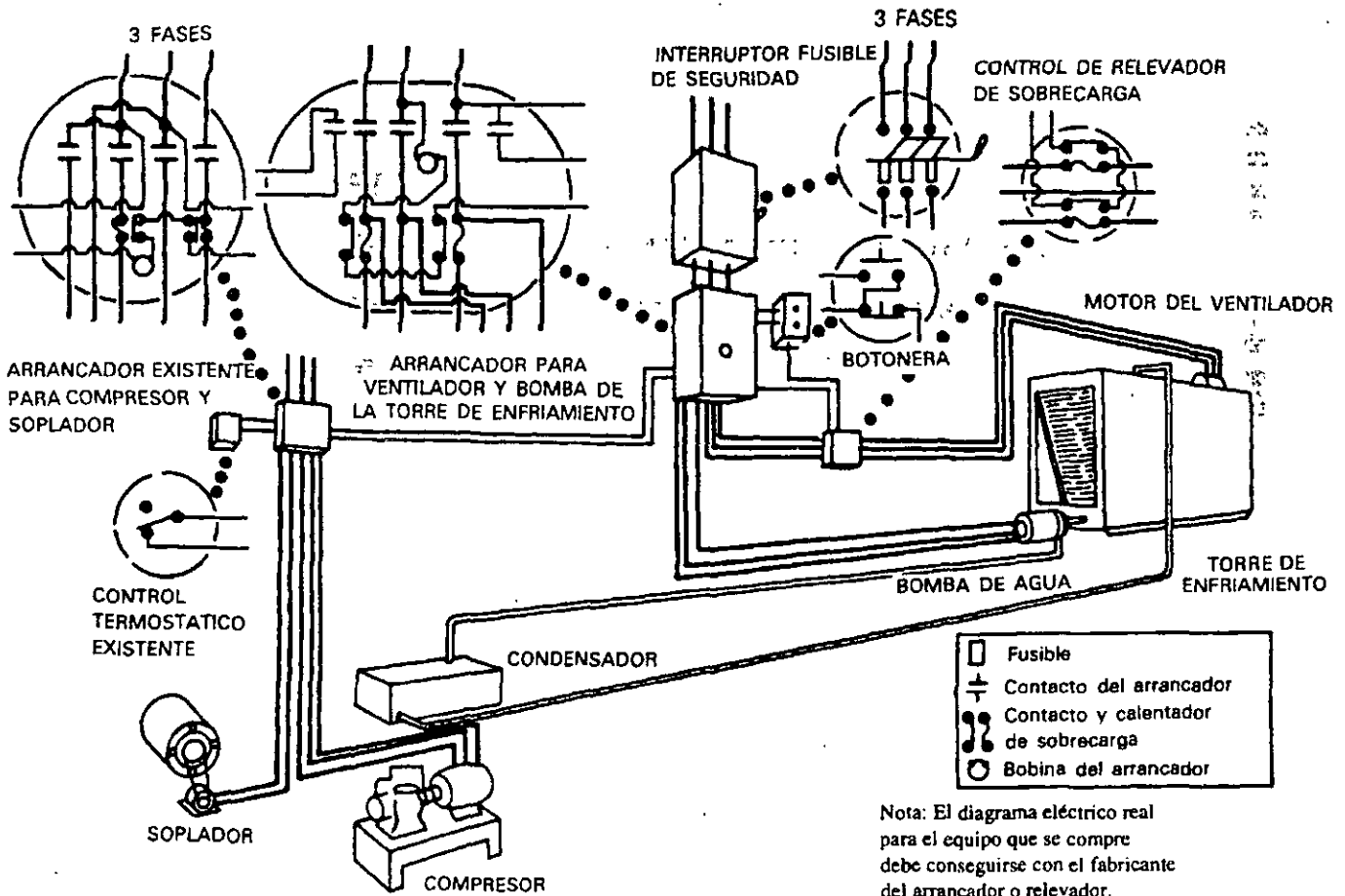


FIGURA R12-23 Diagrama eléctrico típico que muestra un arrancador separado para motores trifásicos de 220 V. que impulsan el ventilador y la bomba de la torre de enfriamiento. El compresor no puede ponerse a trabajar hasta que el ventilador y la bomba de la torre de enfriamiento estén trabajando. (Cortesía de Marley Cooling Tower Company.)

Además, los datos del fabricante incluyen la caída de presión del agua a través del condensador, en pies de altura, para diversos flujos y número de pasos; las cargas de refrigerante en libras, máxima y mínima, cuando se usa el condensador como receptor o con un receptor externo, y la capacidad de vaciado, que en general es un 80% del volumen neto del condensador, pero no es mayor que determinado nivel sobre la fila superior de tubos.

La capacidad total de refrigerante se usa cuando se necesita almacenar o recibir todo el refrigerante del sistema en el condensador, para poder llevar a cabo operaciones de servicio o mantenimiento en otros componentes sin perder refrigerante. Hay válvulas de cierre en el condensador que permiten esta operación.

Los condensadores enfriados por agua tienen normalmente una conexión de purga para sacar los gases no condensables y tienen lugar para una válvula de alivio para cumplir con determinados reglamentos federales y/o locales. El ajuste de la válvula de alivio varía algo con el refrigerante que se use.

La eficiencia máxima de un condensador enfriado por agua y torre de enfriamiento depende mucho del mantenimiento que se les dé. Se deben evitar crecimientos de lodos o algas, que reducen la transferencia de calor y tapan al sistema. Para matar esos organismos es muy eficaz el pentaclorofenolato de sodio, que se vende bajo diversas marcas. También el sulfato de cobre es efectivo, pero es corrosivo si está muy concentrado. El cloro y el permanganato de potasio también son eficaces. Recomendamos que se familiarice con las compañías, sustancias químicas y técnicas de limpieza recomendadas. El éxito de cualquier tratamiento de agua reside en iniciarlo pronto y usarlo con regularidad. Una vez que se hayan formado depósitos o costras cuesta mucho trabajo y dinero quitarlos.

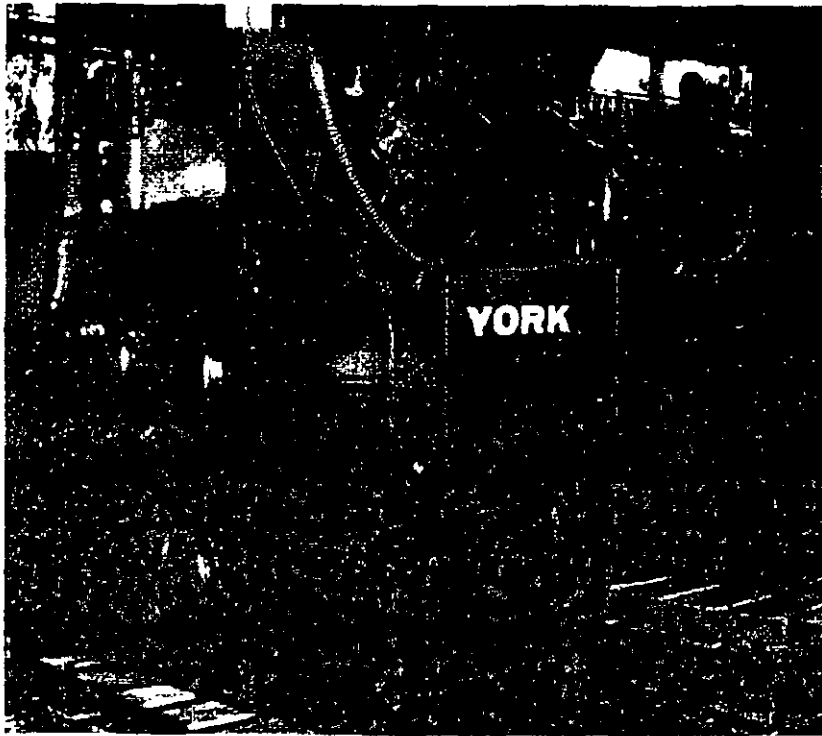


FIGURA R12-24 Unidad de condensación. Los compresores están arriba (Cortesía de Borg-Warner Air Conditioning, Inc)

Además del tratamiento químico, se recomienda el vaciado y lavado regulares de la charola de la torre. También, se debe ajustar la válvula de flotador de modo que hay una pequeña cantidad de sobrefluj que gotee al drenaje; a veces a esto se le llama purga o sangría. Es la remoción continua o intermitente de una pequeña cantidad de agua, de 1 %

o menos, del sistema. Con ello se diluyen y se retiran los compuestos disueltos para que no se concentren.

Los problemas con el agua que se mencionaron arriba también son comunes en el condensador evaporativo, pero no son tan críticos, porque toda el agua está en el cárcamo. No hay condensador enfriado por agua ni grandes tuberías. La costra se forma en la superficie exterior del serpentín de refrigerante en el condensador evaporativo. También aquí se recomienda la limpieza mecánica periódica, el tratamiento químico y purgas.

El tratamiento de agua y el mantenimiento pueden ser procesos caros y tardados, a medida que menudean las restricciones en el uso de agua, la industria de la refrigeración y aire acondicionado ha cambiado a sistemas alternativos.

R12-9 CONDENSADORES ENFRIADOS POR AIRE

Además de no tener problemas de agua, el empleo de equipo enfriado por aire tiene otra ventaja: se puede llevar a cabo con relativa facilidad la operación en invierno, a bajas temperaturas; la ubicación del equipo es flexible; la eliminación de mucha tubería de agua reduce la necesidad de trabajos de plomería y ello significa que el técnico de refrigeración puede hacer todo el trabajo.

Por otro lado, la condensación enfriada por aire tiene también algunas desventajas. En primer lugar, un sistema de condensación enfriado por aire no es tan eficiente como uno enfriado por agua en términos de relación Btu/ W (EEF). En segundo lugar, si se separan compresor de condensador, la necesidad de bastante tubería de refrigeración en campo encarece el costo y la destreza técnica necesarias para tener mayor confiabilidad, ya que se deben tener en cuenta la prevención de fugas, problemas de retorno de aceite, vibración y ruido.

Sin embargo, aparentemente las ventajas son mayores que las desventajas, porque la mayor parte de las instalaciones comerciales de refrigeración y aire acondicionado, desde tamaños pequeños de potencia fraccionaria hasta 100 ton o más, usan condensación enfriada por aire.

R12

YORK

Capacidades y datos de ingeniería

Temperatura de agua de salida del condensador, °F	Temperatura de saturación en la succión, °F	NUMERO DEL MODELO DE LA UNIDAD DE CONDENSACION											
		JS43L-12W413						JS53M-12W523					
		TONS CAP.	KW	Temp Cond., °F	Calor Disip., MBtu/h	Cond. GPM	Cond. Δ P	TONS CAP.	KW	Temp Cond., °F	Calor Disip., MBtu/h	Cond. GPM	Cond. Δ P
80	20	27.0	25.0	86.8	409	81.8	9.5	31.6	30.9	86.4	485	97.0	8.6
	30	33.5	26.6	88.3	493	98.6	13.3	39.5	32.8	87.8	586	117.2	12.2
	40	41.0	28.0	90.2	588	117.6	18.3	48.1	34.5	89.6	695	139.0	16.6
	50	—	—	—	—	—	—	58.3	36.2	91.8	824	164.8	22.7
85	20	26.0	26.0	91.6	401	80.2	9.1	30.5	32.1	91.2	476	95.2	8.3
	30	32.4	27.8	93.1	484	96.8	12.9	38.1	34.4	92.7	574	114.8	11.7
	40	39.8	29.4	94.9	578	115.6	17.8	46.7	36.3	94.4	684	136.8	16.1
	50	48.1	31.1	97.1	683	136.6	24.3	56.7	38.2	96.4	810	162.0	22.0
90	20	25.1	26.8	96.4	393	78.6	8.8	29.5	33.2	96.0	467	93.4	8.0
	30	31.5	29.0	97.9	477	95.4	12.6	37.0	35.9	97.5	567	113.4	11.4
	40	38.5	30.9	99.6	568	113.6	17.2	45.3	38.1	99.1	674	134.8	15.7
	50	46.8	32.8	101.7	673	134.6	23.6	55.0	40.2	101.1	797	159.4	21.4
95	20	24.2	27.6	101.1	384	76.8	8.5	28.5	34.2	100.9	459	91.8	7.8
	30	30.4	30.1	102.5	468	93.6	12.2	35.7	37.2	102.2	555	111.0	11.0
	40	37.4	32.3	104.3	559	111.8	16.7	44.0	39.9	103.8	664	132.8	15.3
	50	45.5	34.5	106.4	664	132.8	23.0	53.5	42.3	105.8	786	157.2	20.8
100	20	23.3	28.3	106.0	377	75.4	8.2	27.4	35.1	105.7	449	89.8	7.5
	30	29.4	31.2	107.3	460	92.0	11.8	34.5	37.6	107.0	542	108.4	10.5
	40	36.0	33.7	109.0	547	109.4	16.1	42.5	41.6	108.6	652	130.4	14.8
	50	44.0	36.1	111.0	651	130.2	22.1	51.9	44.5	110.4	775	155.0	20.3
105	20	22.3	28.9	110.8	367	73.4	7.8	26.3	35.8	110.5	438	87.6	7.1
	30	28.3	32.2	112.2	450	90.0	11.3	33.2	39.8	111.8	534	106.8	10.3
	40	35.0	35.0	113.7	540	108.0	15.7	41.2	43.3	113.3	642	128.4	14.4
	50	42.7	37.8	115.7	641	128.2	21.5	50.5	46.7	115.1	765	153.0	19.8

ΔP = caída de presión, pies de agua (Ft. H₂O)

FIGURA R12-25 Capacidades y datos de ingeniería para condensadores. (Cortesía de Borg-Warner Air Conditioning, Inc.)

Nótese la expresión *condensación enfriada por aire*; hay una gran diferencia entre los componentes de un condensador enfriado por aire y una unidad de condensación enfriada por aire. Antes se hacía resaltar que en una instalación de condensador remoto enfriado por aire como la de la figura R12-26 el compresor está dentro del edificio, y sirve a uno o más evaporadores o unidades de serpentín y ventilador, y el condensador enfriado por aire está en el techo. La figura 12-26 muestra el uso de un recibidor separado; este tema se describirá más adelante. El condensador mismo, como el que se ve en la figura R12-27 no es más que un serpentín de tubo aletado con una caja o armazón. El ventilador puede ser de hélice, o un soplador centrífugo para mover el aire por la superficie del serpentín. Este tipo de instalación puede usarse, y todavía se usa, pero se deben tener en cuenta varios factores al escoger un sistema de esos:

- La necesidad de armado en campo de tubos de refrigeración, con su evacuación, prueba de escapes, carga, etc., necesarios.
- La separación del motor del compresor y del motor del ventilador aumenta el costo de la energía y del cableado de control.
- La unidad del compresor ocupa espacio en la construcción, que puede necesitarse para otros fines.
- El ruido de la unidad compresora queda dentro de la construcción.
- Los componentes por separado son más caros que los paquetes completos de fábrica.

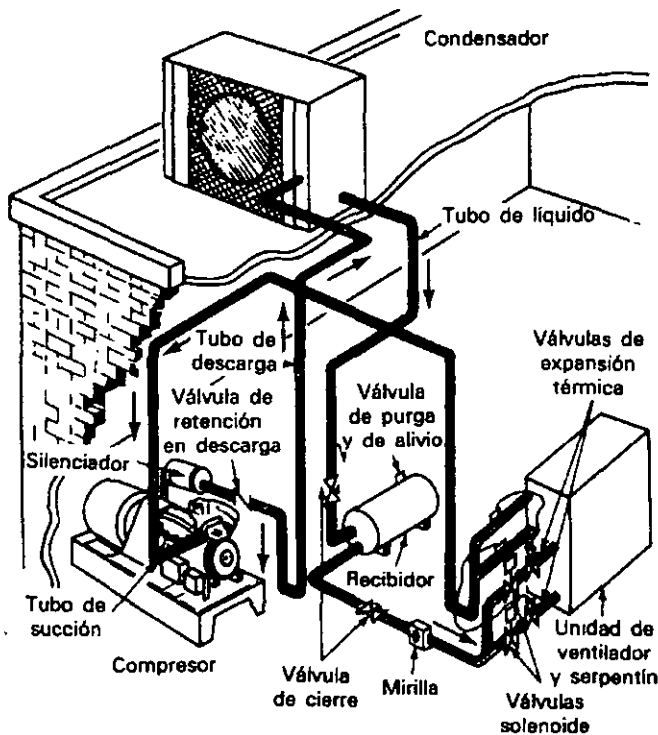


FIGURA R12-26 Instalación de un condensador remoto enfriado por aire. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

temperatura de bulbo seco durante el verano en relación con la temperatura de succión; esta información ayudará a determinar la diferencia de temperatura de operación al seleccionar un condensador. El punto 5 tiene que ver con varios factores, como por ejemplo el tipo de ventilador (de hélice o centrífugo); el tipo de flujo de aire (vertical u horizontal), el tipo de serpentín (circuito sencillo o dividido), y accesorios tales como deflectores de viento, interruptores para invierno, controles para ventilador a baja temperatura ambiente, etc.

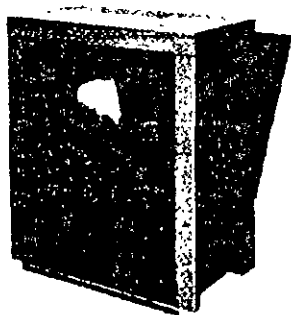


FIGURA R12-27 Condensador enfriado por aire. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

Los catálogos de los fabricantes presentan las capacidades basadas en especificaciones para los datos anteriores, así como los métodos de selección.

La unidad autocontenida de condensación enfriada por aire varía desde las unidades comerciales de refrigeración de bajo tonelaje (figura R12-28) que se usan en las vitrinas de carnicerías, de lecherías, refrigeradores comerciales, etc., hasta las unidades para grandes cargas de refrigeración (cuartos fríos y de congelación, congelación de proceso y trabajos de aire acondicionado.)

Las características físicas de las unidades mayores autocontenidas de condensación enfriadas por aire varían mucho de un fabricante a otro. La figura R12-29 representa una unidad típica que se usa en trabajo de refrigeración

Estos factores no son desventajas críticas, pero han conducido al desarrollo de más y más unidades de condensación enfriadas por aire y en paquete. Un condensador remoto enfriado por aire es una excelente solución para convertir el equipo actual enfriado por agua a la operación enfriada por aire.

Para seleccionar un condensador remoto enfriado por aire es necesaria la siguiente información:

1. La temperatura de succión de diseño
2. La capacidad del compresor a la temperatura de succión de diseño
3. El refrigerante que se use
4. Ubicación geográfica de la instalación
5. Tipo de condensador necesario

Los puntos 1, 2 y 3 ya se han descrito y se basan en el trabajo del evaporador y la capacidad del condensador. El punto 4 tiene que ver con las condiciones de diseño, la

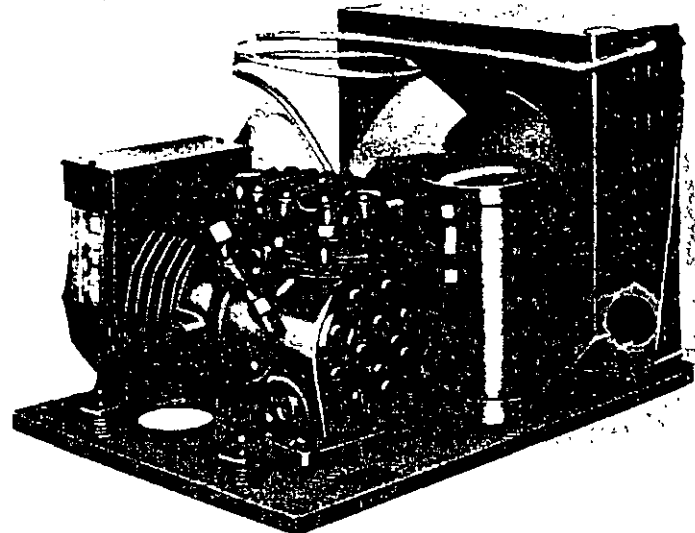


FIGURA R12-28 Unidad pequeña autocontenida de condensación. (Cortesía de Copeland Corporation)

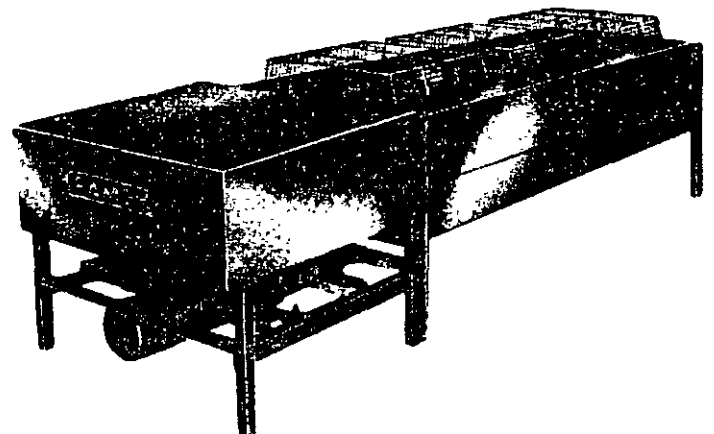
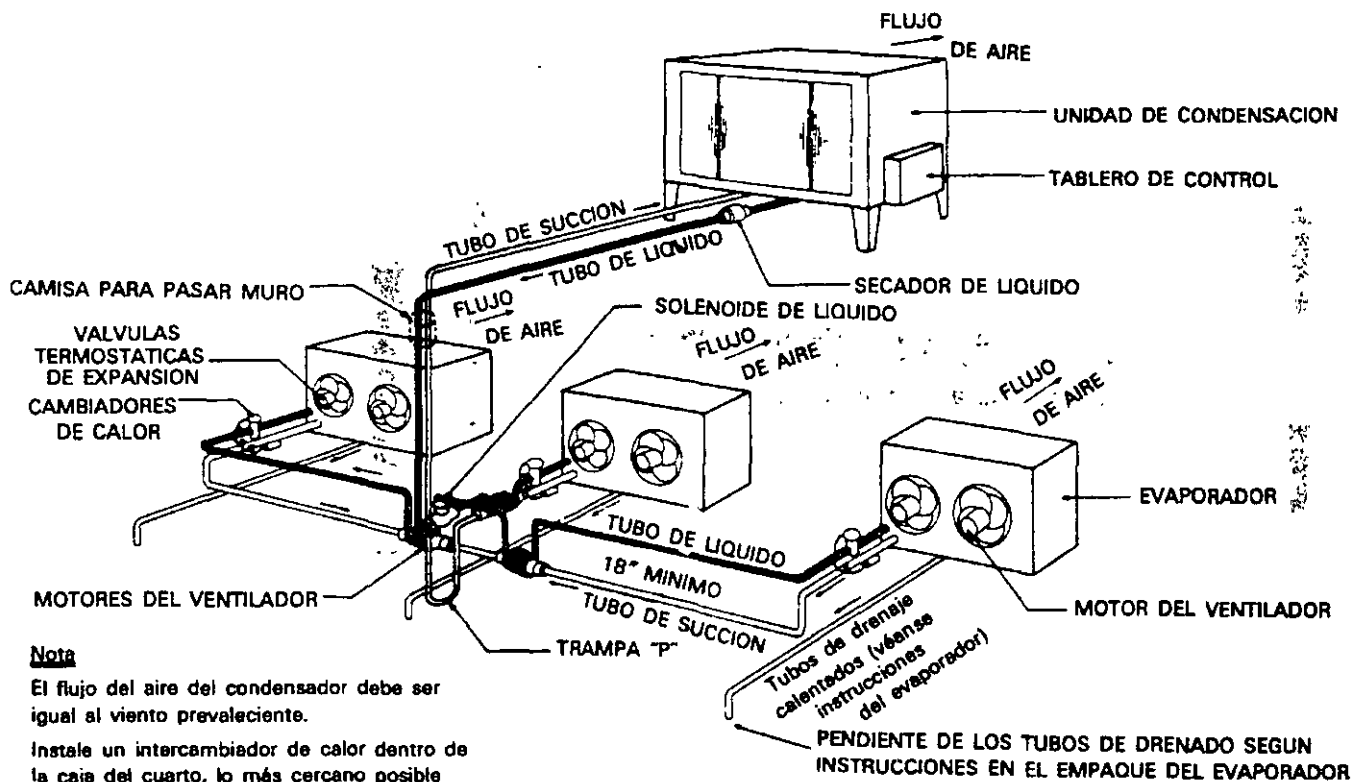


FIGURA R12-29 Unidad grande autocontenida de condensación. (Cortesía de Kramer Trenton Company.)

comercial. Consiste en una caja o recipiente completos que contiene el o los serpentines de condensación y el o los ventiladores para mover el aire; un compresor y compartimiento de control, y en muchos casos, un recibidor externo colgado abajo. Algunas de las ventajas de este arreglo son:

- Todo el equipo mecánico de trabajo pesado está a la intemperie, ya sea sobre el techo o a nivel de piso, y no ocupa espacio valioso en el piso interior. Se eliminan el ruido y la vibración del interior.
- Todos los controles e interruptores internos principales se preseleccionan y se precablean en un tablero a prueba de intemperie.
- Se reduce la tubería de refrigeración; el tubo de descarga se prepara por anticipado en la fábrica.
- El conjunto completo se puede probar en fábrica para ver si presenta fugas y se puede probar su funcionamiento para mejorar su confiabilidad.

La figura R 12-30 es un diagrama esquemático de tuberías de un sistema de varios evaporadores en una unidad de condensación enfriada por aire. En lugar de los evaporadores que se usan normalmente en refrigeración comercial, podría ser una unidad de serpentín y ventilador para fines de acondicionamiento de aire. La diferencia esencial sería el procedimiento de selección de la unidad.



Nota

El flujo del aire del condensador debe ser igual al viento prevaeciente.

Instale un intercambiador de calor dentro de la caja del cuarto, lo más cercano posible a la pared del refrigerador.

FIGURA R12-30 Diagrama esquemático de tuberías para unidades de condensación con dos o más evaporadores. (Cortesía de Kramer Trenton Company.)

R12-10 CONTROL CON BAJA TEMPERATURA AMBIENTE

Las unidades de condensación para refrigeración comercial de recintos deben tener unos límites aproximados de +35 °F a -20 °F (+ 1 a -29 °C) cuando cuenten con los evaporadores adecuados. Las condiciones ambientales varían desde 115 °F hasta cero o menos (45 °C a -18 °C). La tubería de refrigeración para trabajo a dos temperaturas también necesita de mucho cuidado.

Las unidades de condensación para aire acondicionado se evalúan nominalmente a 95 °F (35 °C de temperatura ambiente exterior, para trabajar con evaporadores que funcionan a 40 °F (4 °C) con aire que entra a 67 °F (19 °C) de bulbo húmedo. Sin embargo, hay una demanda creciente para que los climas trabajen cuando las temperaturas exteriores sean menores que 75 °F (24 °C). Las altas cargas internas de calor debidas a personal, luces y equipo mecánico pueden necesitar de enfriamiento cuando las condiciones exteriores descienden a 35 °F (2 °C) o menos.

Por lo tanto, para la refrigeración y el acondicionamiento de aire comerciales, el funcionamiento a bajas temperaturas ambientales es una necesidad importante. En las descripciones anteriores aprendimos que para tener una evaporación adecuada de refrigerante en un serpentín de evaporador de expansión directa, era necesario mantener una diferencia razonable de presión a través del dispositivo de expansión. En un condensador normal enfriado por aire que trabaje entre 80 y 115 °F (27 a 46 °C) de temperatura ambiente las presiones de condensación son suficientemente altas, pero en invierno pueden bajar 100 psi o más, por lo tanto, la presión a través del dispositivo de expansión será insuficiente para mantener el control del flujo de líquido. La operación del evaporador se hace errática. La válvula de expansión térmica abre y cierra alternativamente, originando primero la inundación de refrigerante líquido, y después deja seco al serpentín. El tubo capilar, si se usa, es peor porque es un dosificador fijo, y cuando la diferencia de presión baja, el flujo de refrigerante se reduce mucho menos de 65 °F (18 °C) un sistema de tubo capilar convierte en un gran problema.

La solución a la operación a baja temperatura ambiente es elevar de modo artificial la diferencia de presión para mantener la expansión adecuada a través del evaporador. Hay diversas formas de hacerlo.

Cuando se emplean condensadores con ventiladores múltiples en un solo serpentín, el sistema de control de la unidad de condensación puede tener dispositivos que enciendan o apaguen los ventiladores por etapas. Esos controles en general son de temperatura de aire que sienten la temperatura exterior, o controles de presión que sienten la caída real de presión. A medida que se apagan los ventiladores, se reduce el flujo de aire que pasa por el serpentín -con ello también se reduce la salida de calor. Entonces aumentan las temperaturas de condensación. Se puede apagar todos los ventiladores y entonces el serpentín funciona como condensador estático sólo con el movimiento de convección natural del aire. Su capacidad en estas condiciones es normalmente bastante amplia como para continuar trabajando a temperaturas inferiores al punto de congelación. Cuando sólo se usa un ventilador en el condensador, se puede reducir

la capacidad de aire empleando un motor de dos velocidades o controles de velocidad de estado sólido, que dan infinito número de velocidades.

Otra técnica para limitar el flujo de aire por el serpentín del condensador es empleando compuertas en la descarga del ventilador. Se usan con ventiladores centrífugos, que no se sobrecargan, no con ventiladores de hélice. Las compuertas modulan mediante un controlador de caída de presión hasta una posición mínima determinada, llegada a la cual se apaga el motor del ventilador.

Una característica común e importante de los métodos de limitar el flujo de aire es que siempre está en movimiento la carga completa de refrigerante y su aceite lubricante que arrastra, con lo cual se asegura un enfriamiento positivo del motor del compresor y una buena lubricación de dicho compresor.

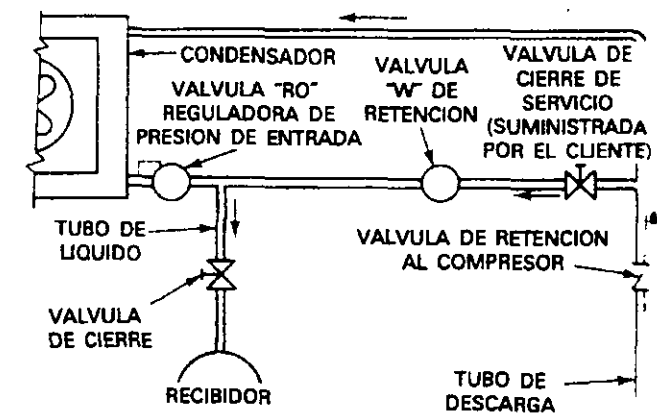


FIGURA R12-31 Sistema de control de presión diferencial para trabajar con bajas temperaturas ambientales. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

La otra técnica para elevar en forma artificial la presión diferencial es regresar al refrigerante líquido a los tubos del condensador. El condensador normal, con drenado libre, tiene muy poco líquido en su serpentín; hay principalmente vapor. Pero si se coloca una válvula de control en la salida de líquido del condensador (figura R12-31), que se accione con la temperatura ambiente, algo del gas de descarga puede evitar el condensador y entrar al drenado de líquido. Con ello se restringe el drenado del refrigerante líquido del condensador, inundándolo sólo lo necesario para mantener la presión en el serpentín y en el recipiente. Este método no es tan común como el de restringir el flujo de aire, porque se relaciona con sistemas que emplean un recipiente externo. Los sistemas de expansión seca con carga crítica para aire acondicionado no emplean recipientes normalmente.

Los recibidores, como se mencionó en el capítulo R6 y se muestran en la figura R 12- 1 son recipientes a presión que se usan para almacenar refrigerante. Con mucha frecuencia se usan en sistemas comerciales de refrigeración, en los que varía la cantidad de refrigerante que circula, y como resultado pueden inundar un condensador enfriado por agua o por aire hasta que su eficiencia baja. Es por ello que se necesita un recipiente externo de almacenamiento. Los recibidores se necesitan también en los condensadores evaporativos, que también tienen capacidad limitada de almacenamiento en las superficies del condensador.

Los condensadores y recibidores nunca se deben llenar a más de 80% de su volumen. El 20% restante debe dejarse vacío para permitir las expansiones. Siempre se debe comprobar la carga total del sistema para compararla con su capacidad de almacenamiento.

R12-11 MANTENIMIENTO

El mantenimiento de los serpentines de condensador enfriado por aire, en comparación con el de las torres de enfriamiento o los condensadores evaporativos, es relativamente fácil. La superficie del serpentín se debe mantener limpia de hojas, varas, papeles, etc. Si el serpentín se encuentra en una zona industrial, se debe revisar para ver si tiene acumulaciones de grasa y polvo de sustancias químicas. Quite la pelusa con aire comprimido o con una aspiradora. La grasa y las sustancias químicas se deben quitar con solvente no inflamable, no tóxico, que no ataque al aluminio ni al cobre. Las aletas del condensador se pueden corroer debido al aire salino y por ello el condensador disminuye su eficiencia a través del tiempo. Los daños a las aletas, causados por objetos voladores, se pueden reparar, en general, con un peine de aletas.

PROBLEMAS

- R12-1. Dar los nombres de tres tipos de condensadores.
- R12-2. Dar los nombres de cuatro tipos de condensadores enfriados por agua.
- R12-3. Dar los nombres de dos tipos de condensador enfriado por aire.
- R12-4. En el condensador evaporativo, ¿la mayor parte del calor eliminado es sensible o latente?
- R12-5. ¿Es la capacidad de una torre de enfriamiento básicamente una función de la temperatura de bulbo seco, o de la de bulbo húmedo?
- R12-6. Dar los nombres de dos tipos de torres de enfriamiento.
- R12-7. Se usa la purga para controlar _____.
- R12-8. La cantidad de agua de reposición o relleno a una torre depende de tres factores. ¿Cuáles son?
- R12-9. En una torre de enfriamiento, ¿qué quiere decir "rango de enfriamiento"?
- R12-10. En una torre de enfriamiento, ¿qué quiere decir "acercamiento"?
- R12-11. La cantidad normal de agua que se suministra a la torre por cada 12,000 Btu/hr de carga es de _____ a _____ galones por minuto.
- R12-12. La velocidad del agua en la tubería no debe ser mayor que _____ pies por segundo.
- R12-13. La temperatura mínima ambiente exterior para un sistema enfriado por aire con capilar es _____ °F.
- R12-14. Se pueden agregar recibidores a sistemas que usen tubos capilares. ¿Cierto o falso?
- R12-15. La capacidad de líquido es ¿qué porcentaje del volumen total?



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



666

...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

TUBERÍA DE REFRIGERACIÓN

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

TUBERÍA DE REFRIGERACIÓN

R13-1 GENERALIDADES

La confiabilidad de un sistema de refrigeración o aire acondicionado armado en campo depende mucho del diseño de instalación adecuados de las diversas partes del sistema de tubería. Una tubería adecuada de refrigeración es tan esencial para el funcionamiento correcto del sistema como las venas y arterias del lector lo son para su organismo. Si la distribución y el dimensionamiento son incorrectos pueden hacer variar la eficiencia de los diversos componentes, y con ello influir sobre la capacidad y eficiencia del sistema.

La distribución de la tubería la hace normalmente un ingeniero de aplicaciones, pero el técnico de refrigeración que instala y da servicio al sistema también interviene en esa distribución debido a la posibilidad de dificultades y fallas del sistema. También, la distribución del ingeniero puede ser sólo en diagrama, teniendo poco en cuenta las distancias que intervienen, sean horizontales o verticales. Por lo tanto, el técnico queda con frecuencia en una posición de tener que interpretar la voluntad del ingeniero para poder aplicar los principios aceptados para terminar la instalación en forma correcta.

R13-2 FUNCIONES DE LA TUBERÍA DE REFRIGERANTE

La tubería que conecta las cuatro partes principales del sistema (figura R13-1) tiene dos funciones: 1) ser un conducto para la circulación de refrigerante, sea en estado líquido o vapor, dependiendo de la parte del sistema que se trate, y 2) ser un conducto a través del cual regrese aceite al compresor. Cada parte de la tubería debe llenar esos dos requisitos con una caída mínima de presión del refrigerante, teniendo al mismo tiempo un buen flujo de aceite para máxima protección del compresor.

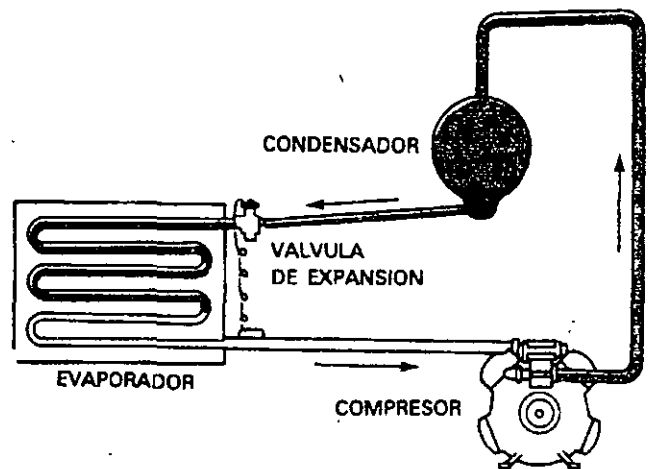


FIGURA R13-1 Tuberías de refrigerante

R13-3 ACEITE EN LA TUBERÍA

La segunda función, el regreso del aceite al compresor, se considera en general de menor importancia, pero la experiencia ha demostrado que es de igual importancia que la función de transporte del refrigerante. Los compresores alternativos, al igual que los rotativos y centrífugos, usan un método de lubricación forzada para las partes rotatorias. Por ejemplo, en el tipo alternativo, algo del aceite en el cárter pasa a las paredes del cilindro durante la carrera de admisión del pistón, y se sopla hacia afuera con el refrigerante gaseoso comprimido, a través de las válvulas de descarga en la carrera de compresión (hacia arriba) del pistón (figura R13-2). Algunos compresores bombean mucho menos aceite que otros, lo cual depende del diseño y los métodos de fabricación. Sin embargo, no hay una forma de diseñar un compresor de tal manera que no escape aceite a la tubería del refrigerante. Ese aceite no tiene otro fin útil que lubricar el compresor. La presencia de aceite en las superficies de intercambio de calor (evaporador y condensador) puede reducir la capacidad hasta en un 20%. Por lo tanto, se debe tener en cuenta la presencia de aceite en la tubería al instalarla. Un sistema de tubería que no se seleccione o instale en forma correcta puede originar lo siguiente:

1. Cojinetes quemados del compresor, por falta de aceite que regrese a éste para su lubricación.
2. Válvulas, placas de válvulas, pistones y/o bielas rotas debido a que entra refrigerante líquido y/o grandes cantidades (golpes) de aceite al compresor. Esto es válido especialmente en un compresor de alta eficiencia que no tenga separador rotatorio de aceite para distribuir las cantidades que haya antes que entren al cilindro. Recuérdese que el compresor se diseña para bombear vapor, y no para bombear líquido.
3. Pérdida de capacidad al ocupar partes del evaporador, y con ello reducción de superficie efectiva y de capacidad general del sistema.

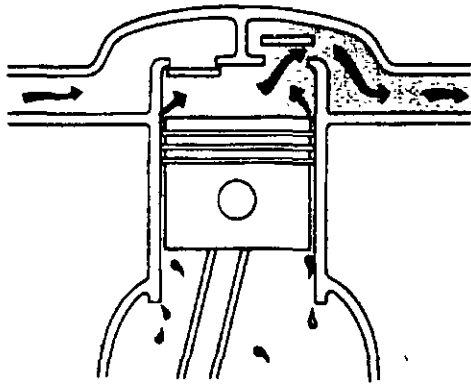


FIGURA R13-2 Bombeo de aceite en el compresor.

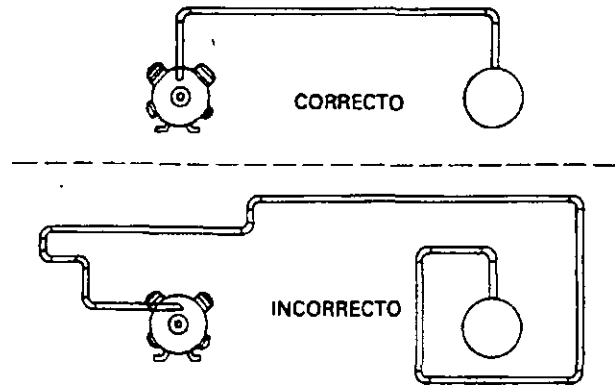
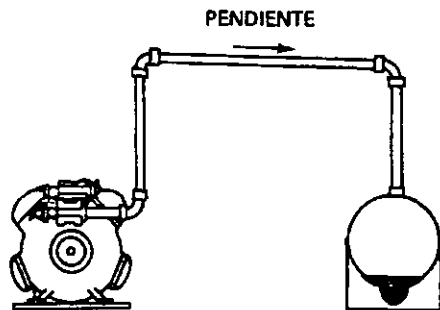


FIGURA R13-3 Arreglos adecuados e inadecuados de tubería.

R13-4 PRECAUCIONES BASICAS CON LA TUBERIA

Un técnico de refrigeración debe aprender este tema lo suficientemente bien como para evitar errores costosos. Hay cinco reglas básicas que se deben tener en cuenta cuando se define la tubería de un sistema:

1. Mantenerla limpia. La limpieza es un factor clave en la instalación real. El polvo, el lodo y/o la humedad provocan fallas en el sistema y se deben evitar. El trabajo nítido y limpio ahorrará muchas dificultades en el servicio.
2. Dimensionarla en forma correcta. Cada tramo del sistema de tubería debe estar dimensionado en forma correcta para asegurar el retorno adecuado del aceite, y también para mantener la capacidad y eficiencia del sistema lo más altas que sea posible. En aquellas instalaciones en las que se deba sacrificar una de ellas, el regreso adecuado del aceite toma precedencia. Más adelante en este capítulo se presentan el dimensionado correcto y sus límites.
3. Use tan pocas conexiones como sea posible (véase figura R13-3). Si hay pocas conexiones quiere decir que hay pocas probabilidades de fugas, pero lo más importante es que hay menos pérdida innecesaria de presión.
4. Tome precauciones especiales para hacer cada una de las conexiones. Use el material adecuado y apéguese al método recomendado por el fabricante del equipo.



DAR UNA PENDIENTE DE $\frac{1}{2}$ " POR 10 PIES (0.5%) A LOS TUBOS HORIZONTALES

FIGURA R13-4 Pendiente correcta.

5. Instale las tuberías horizontales con una pendiente en dirección del flujo del refrigerante (véase figura R13-4). Para ayudar a impulsar al aceite, que mueva por los tubos que contienen vapor. (tubo de succión, tubo de gas caliente y tubo de retorno de líquido), los tubos horizontales deben bajar en la dirección del flujo del refrigerante. Esa pendiente, que ayuda a que el aceite fluya en la dirección correcta, debe ser 0.05 % ($1/2$ " en 10 pies) o más. La pendiente ayuda también a evitar el regreso del aceite durante un paro.

R13-5 TUBO DE SUCCION

Como se hizo notar en la sección R13-3, el aceite circula por el sistema y debe regresar al compresor para evitar daños. El tubo más crítico que hace esa función es el tubo de succión.

Los dos refrigerantes que se usan con más frecuencia en aire acondicionado son el R-12 y el R-22. En su estado líquido, esos refrigerantes se mezclan con el aceite y lo arrastran con facilidad a lo largo de la tubería. Por lo tanto, existen pocos problemas, si es que los hay, en el tubo del líquido. Sin embargo, en estado gaseoso son malos para arrastrar al aceite.

Sin embargo, el aceite en el tubo de succión está a una temperatura menor que la del resto del sistema y por lo tanto tiene una viscosidad mayor; es más difícil hacer que fluya sobre la superficie interior del tubo. También, el refrigerante está en forma de vapor y sólo tiene un efecto mecánico sobre el aceite, semejante al del viento que sopla sobre la superficie de un lago. Para hacer que el agua se mueva en el lago, el viento debe pasar sobre el agua con la velocidad suficiente como para formar olas. Por lo tanto, el tubo de succión debe diseñarse con cuidado para asegurar un retorno uniforme de refrigerante seco gaseoso y aceite al compresor.

Las velocidades mínimas de gas dentro del tubo de succión se deben mantener en 500 pies/min (150 m/min) en los tramos horizontales y en 1000 pies/min (305 m/min) en los verticales hacia arriba. La caída de presión mínima recomendada es 2 psig para sistemas con R-12 y 3 psig para R-22 y R-502. Esto ocasiona un cambio que equivale a más de 2 °F en las temperaturas de saturación del refrigerante. La razón de que sean tan importantes la caída de presión y temperatura en la succión tiene que ver con la capacidad de los tubos del compresor sobre la relación entre

las presiones de succión y descarga. Cualquier aumento de esa relación reduce la capacidad que tiene el compresor de bombear vapor de refrigerante y también aumenta la potencia necesaria.

.13-5.1 Sistemas de válvula termostática de expansión

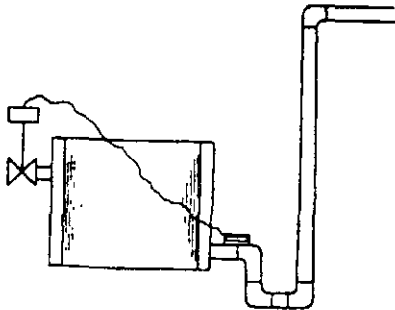


FIGURA R13-5 Trampa en el tubo de succión.

problema de que el líquido alcance al compresor. En todas las instalaciones con válvula termostática de expansión y serpentín de expansión seca, en especial en las que el compresor está al mismo nivel o más bajo que el evaporador, se debe instalar una trampa y una subida hasta cuando menos la parte superior del serpentín, en el tubo de succión (véase figura R13-5). Esta trampa es para evitar que pase líquido del serpentín de expansión seca hacia el compresor cuando hay paro. La combinación de trampa y tubo de subida también favorecen el drenado libre del refrigerante para retirarlo del bulbo de la válvula termostática de expansión, y así ese bulbo puede sentir el sobrecalentamiento del gas en la succión, en lugar de la temperatura de evaporación del líquido.

Aunque es importante evitar que el refrigerante líquido escurra del evaporador al compresor durante las paradas, tiene igual importancia evitar trampas innecesarias en el tubo de succión cerca del compresor. Esas trampas juntarían aceite, el cual, al arranque podría ser arrastrado al compresor bruscamente y dañarlo.

En los casos en los que la capacidad del sistema es variable debido a control de capacidad o de algún otro arreglo, una subida corta en general se dimensionaría más estrecha que el resto del tubo de succión (figura R13-6), para tener una velocidad no menor de 1500 pies/min (460m/min) para asegurar el regreso del aceite hacia arriba de la subida. Aunque este tubo más estrecho tiene una mayor fricción, su corta longitud sólo agrega una cantidad relativamente pequeña a la pérdida por fricción total del tubo de succión.

En general, la caída de presión para todo el tubo de succión debe ser 2 °F o 2 psi como máximo, para evitar pérdida de capacidad del sistema. El compresor no puede bombear ni succionar gas con tanta efectividad como cuando lo empuja o comprime.

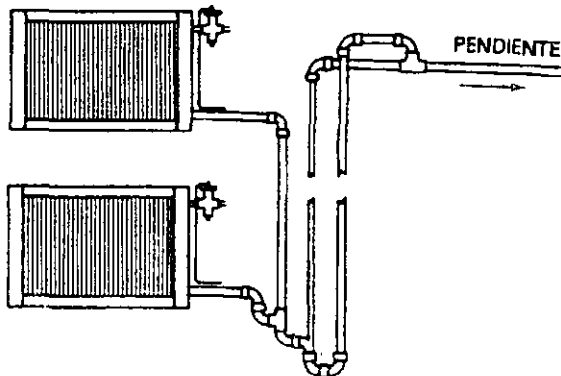


FIGURA R13-7 Doble trampa y tubo de succión para permitir control de capacidad.

y lo arrastrará hacia arriba por ambas subidas. La velocidad por ambas subidas se debe dimensionar para tener no menos de 1500 pies/min (460 m/min) a carga mínima.

La figura R13-7 muestra también el empleo de evaporadores múltiples instalados bajo el compresor. Nótese que el tubo está colocado para que el refrigerante no pueda pasar del evaporador superior al inferior.

Para aprender cómo evitar que haya golpes de refrigerante líquido y de aceite, así como que se retenga aceite en el serpentín, veremos primero lo que sucede en un sistema sencillo en el que el compresor para de trabajar porque las condiciones de enfriamiento están satisfechas por el momento. El evaporador todavía tiene refrigerante, en parte líquido y en parte vapor. También hay aceite en el refrigerante. Los líquidos en el circuito correrán por gravedad hacia los puntos en los que, cuando el compresor se ponga a trabajar de nuevo, el líquido pasará a él, y podría hacerlo a golpes. El diseño de la tubería debe evitar que el refrigerante líquido y/o el aceite escurran hacia el compresor durante un paro.

Cuando el compresor está arriba del evaporador, no existe el

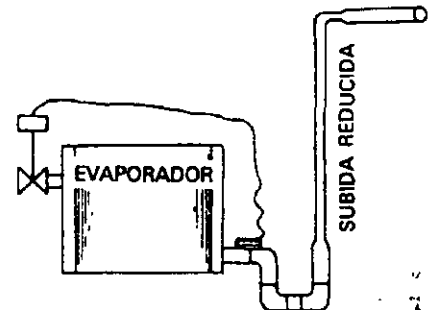


FIGURA R13-6 Trampa y tubo de subida a la succión.

Si el sistema tiene control de capacidad, será necesario instalar una doble subida en el tubo de succión, como se ve en la figura R13-7. Su funcionamiento es semejante al de la doble subida de gas caliente. Cuando se necesita enfriamiento máximo, el sistema trabaja a toda su capacidad y ambas subidas llevan refrigerante y aceite. A carga parcial, cuando disminuye la cantidad de refrigerante que se evapora, la velocidad del gas también disminuye hasta el punto en el que ya no arrastra el aceite hacia arriba por las subidas verticales. La trampa de aceite, que está en la parte inferior de la subida grande se llenará de aceite. Todo el vapor de refrigerante pasará entonces por la subida menor, arrastrando aceite con él. Al aumentar la carga del sistema y pasar más refrigerante por el evaporador, el aumento de presión romperá el sello de aceite de la trampa

Cuando se necesita un gran número de subidas verticales ya sea en los tubos de succión o el de descarga, como se ve en la figura R13-8, se recomienda instalar trampas en la línea aproximadamente a cada 5 m para que el almacenamiento y elevación del aceite se pueda hacer en cantidades más pequeñas.

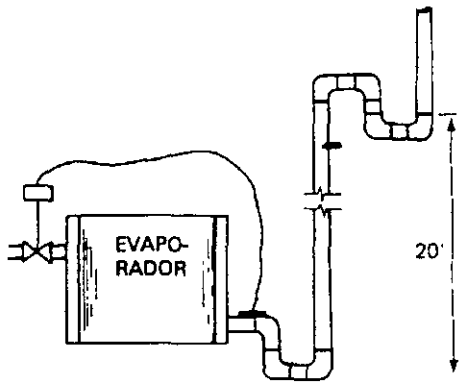


FIGURA R13-8 Trampas múltiples en el tubo de succión.

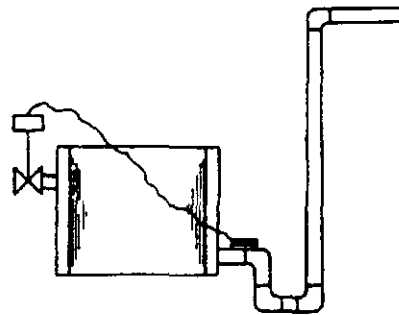


FIGURA 13-10 Ubicación correcta del bulbo de la válvula termostática de expansión.

¿Cómo se dimensionan las tuberías de refrigerante para dar velocidad suficiente pero al mismo tiempo evitar demasiada caída de presión? Para comenzar, se debe determinar la opción y las dimensiones internas del tubo del refrigerante. El tubo de cobre se puede conseguir en tres espesores normales, que se llaman K, L y M. El K es de uso rudo, el L es de uso medio y el M es uso ligero. El K tiene la pared más gruesa, sigue el L, etc. Se recomienda el clase L para trabajos ordinarios en refrigeración, y en este ejemplo es el que se va a usar. La figura R 13-9 es una tabla de diámetros exteriores nominales y sus diámetros interiores correspondientes, para tubo tipo L.

Para comprender cómo evitar los golpes de líquido, primero veremos qué sucede en un sistema sencillo cuando se para el compresor por haberse cumplido con las necesidades de enfriamiento. El evaporador sigue estando lleno de refrigerante, en parte líquido y en parte gaseoso. También habrá algo de aceite. El refrigerante líquido y el aceite drenarán por gravedad hacia los puntos en los cuales, al ponerse a trabajar el compresor de nuevo, el líquido puede arrastrarse hasta él y provocar golpes de líquido. El diseño de la tubería debe evitar que el refrigerante líquido o aceite escurran al compresor durante los paros.

Cuando el compresor se encuentra arriba del evaporador no hay problema. Si el compresor está al mismo nivel o abajo del evaporador, como en la figura R13-10, se debe instalar una subida hasta la parte superior del tubo de succión, como mínimo. Esta vuelta invertida es para evitar que el líquido drene del evaporador hacia el compresor durante un paro. El cárcamo en la parte inferior de la subida facilita el drenado libre del refrigerante líquido alejándolo del bulbo de la válvula termostática de expansión y así permite que ese bulbo sienta el sobrecalentamiento del gas en la succión, en lugar de la temperatura del líquido que se evapora.

FIGURA R13-9
Dimensiones del tubo de cobre tipo L.

DIAMETROS		AREA DE FLUJO	
Exterior, pulg	Interior, pulg	pulg ²	pies ²
1/2	0.430	0.1452	0.001008
3/8	0.545	0.2333	0.001620
1/2	0.666	0.3484	0.002419
3/4	0.785	0.4840	0.003361
1 1/8	1.025	0.8252	0.005730
1 3/8	1.265	1.257	0.008728
1 5/8	1.505	1.779	0.01235
2 1/8	1.985	3.095	0.02149
2 3/8	2.465	4.772	0.03314
3 1/8	2.945	6.812	0.04730
3 3/8	3.425	9.213	0.06398

La figura R13-11 es una gráfica para R-12, publicada por Trane Company, que muestra los tamaños de tubo, velocidad del gas de succión, y la carga en ton de refrigeración a 40 °F en la succión y 105 °F de temperatura de condensación, que son las condiciones normales para expresar las capacidades de los compresores. Para ahorrar tiempo, supondremos que la carga es 5 ton y que la conexión de tubo de succión tiene 2 5/8" DE (véase figura R13-11). Siguiendo la línea vertical hacia arriba partiendo de 5 ton hasta donde interseca la diagonal que represente 2 5 DE.

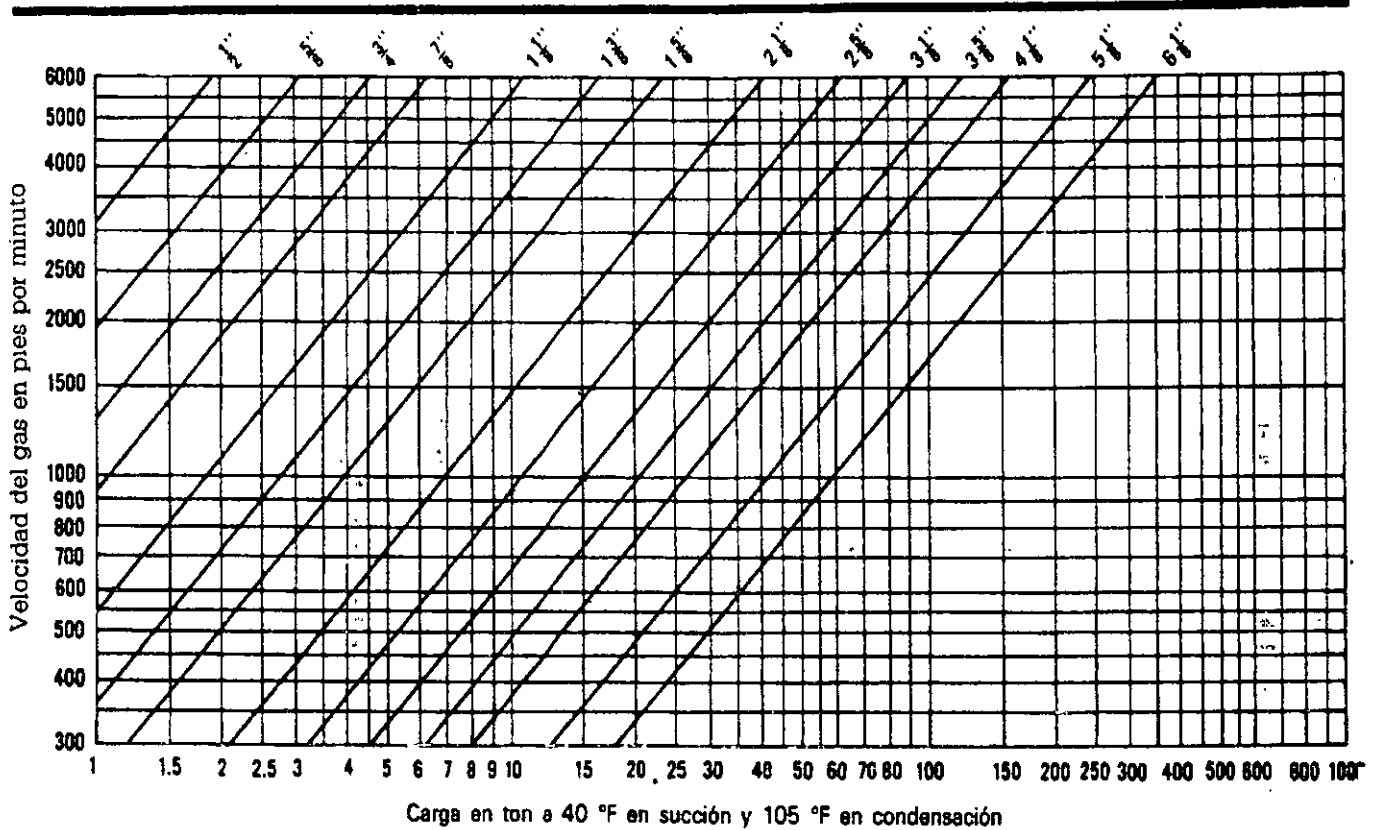
En ese punto recorreremos hacia la izquierda para encontrar la velocidad que es ligeramente menor que 500 pies/min; es obvio que el tubo es demasiado grande. ¿Cuál sería la velocidad a 10 ton con el tubo del mismo diámetro? Sería casi 1000 pies/min, y para 15 ton sería aproximadamente 1500 pies/min.

En la mayor parte de los casos la conexión de succión de la unidad de condensación se ha dimensionado en fábrica, basándose en las condiciones promedio del trabajo. Sin embargo, es importante volver a comprobar la velocidad, porque a veces las condiciones locales necesitan de un aumento o disminución del diámetro. Supongamos que el lector

tiene una carga de 15 ton a 40 °F de succión y 105 °F de temperatura de condensación, empleando R-12. ¿Qué diámetro de tubo dará una velocidad suficiente en tubería horizontal? Moviéndose hacia arriba por la línea vertical de la gráfica, en 15 ton, encuentra usted que para dar un mínimo de 500 pies/min en tramos horizontales se usaría tubo de 3 7/8" DE. En tramos verticales, la velocidad mínima es 1500 pies/min para asegurar el arrastre adecuado del aceite. Por lo tanto, el diámetro máximo del tubo sería 2 5/8" DE.

FIGURA R13-11

a) Velocidades de R-12 gaseoso en tubos de succión. b) Factores de corrección para velocidad de R-12 en tubos de succión.



Diámetros exteriores, tubo de cobre tipo L.

(a)

TEMP. COND.	TEMPERATURA EN LA SUCCION																
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
85	4.18	3.68	3.26	2.89	2.57	2.30	2.06	1.84	1.71	1.49	1.35	1.22	1.10	1.00	0.91	0.83	0.76
90	4.29	3.77	3.34	2.97	2.64	2.35	2.11	1.89	1.75	1.53	1.38	1.25	1.13	1.03	0.93	0.85	0.78
95	4.41	3.88	3.43	3.04	2.71	2.41	2.16	1.93	1.80	1.56	1.41	1.27	1.15	1.05	0.95	0.87	0.79
100	4.52	3.98	3.52	3.12	2.78	2.48	2.21	1.98	1.84	1.60	1.45	1.31	1.18	1.07	0.98	0.89	0.81
105	4.66	4.10	3.63	3.21	2.85	2.54	2.28	2.04	1.89	1.64	1.48	1.34	1.21	1.10	1.00	0.91	0.83
110	4.80	4.22	3.73	3.31	2.94	2.62	2.34	2.09	1.94	1.69	1.52	1.37	1.25	1.13	1.03	0.93	0.85
115	4.95	4.35	3.84	3.40	3.02	2.69	2.40	2.15	2.00	1.74	1.56	1.41	1.28	1.16	1.05	0.96	0.88
120	5.11	4.49	3.97	3.51	3.12	2.77	2.48	2.22	2.06	1.79	1.61	1.45	1.31	1.19	1.08	0.99	0.90
125	5.29	4.64	4.10	3.63	3.22	2.86	2.55	2.28	2.12	1.84	1.66	1.50	1.35	1.23	1.11	1.02	0.92
130	5.48	4.81	4.24	3.75	3.33	2.96	2.64	2.36	2.19	1.90	1.71	1.54	1.39	1.26	1.15	1.04	0.95
135	5.69	4.99	4.40	3.89	3.45	3.06	2.73	2.44	2.26	1.96	1.77	1.59	1.44	1.30	1.18	1.07	0.98
140	5.92	5.18	4.57	4.04	3.59	3.18	2.83	2.52	2.34	2.03	1.83	1.65	1.49	1.35	1.22	1.11	1.01
145	6.16	5.40	4.76	4.20	3.72	3.30	2.94	2.62	2.43	2.10	1.89	1.70	1.54	1.39	1.26	1.15	1.06

Refrigeración y Aire Condicionado

FIGURA R13-12

Capacidades, en ton., de tubos de succión con vapor, del evaporador al compresor.

Longitud equival. en pies	Caída total de presión psi	DIAMETRO EXTERIOR DEL TUBO DE COBRE TIPO L															
		1/2"	3/4"	1"	1 1/8"	1 1/4"	1 3/8"	1 1/2"	1 5/8"	1 3/4"	2"	2 1/4"	2 3/4"	3"	3 1/2"	4"	4 1/2"
10	0.3	0.4	0.7	1.2	1.9	3.7	6.6	10.7	21.0	38.4	61.5	98	130	234	378		
	0.6	0.6	1.1	1.8	2.8	5.6	9.9	15.5	31.7	57.9	99.0	152	190	338	540		
	1.0	0.7	1.4	2.4	3.7	7.4	12.8	20.2	41.3	74.0	118.0	172	242	440	700		
	2.0	1.1	2.1	3.5	5.4	10.7	19.0	30.2	60.4	109.0	167.0	244	349	631	1010		
20	0.3	0.3	0.5	0.9	1.3	2.6	4.6	7.4	15.2	27.4	42.7	65.5	90	152	242		
	0.6	0.4	0.7	1.2	1.9	3.7	6.6	10.7	21.0	38.4	61.5	98	130	234	378		
	1.0	0.5	1.0	1.6	2.5	5.1	8.7	14.1	28.2	51.8	81.8	120.0	180	307	491		
	2.0	0.7	1.4	2.4	3.7	7.4	12.8	20.2	41.3	74.0	118.0	172	242	440	700		

Basado en 40 °F en succión y 105 °F en condensación. Para otras condiciones aplique el factor de corrección de la figura R13-13 a las ton de diseño antes de usar esta tabla
 Nota: Los números en negritas son capacidades máximas recomendadas a la caídas de presión calculadas para reducir al mínimo la penalización por temperatura en el tubo de succión.
 Fuente: Trane Company.

Esta gráfica no tiene exactitud suficiente para dimensionar la tubería de succión, porque se basa en una longitud equivalente de tubo (todas las longitudes de las conexiones más la longitud de los tramos rectos) de 100 pies. Para otras temperaturas de succión y condensación, se aplican los factores de corrección de la figura R13-11 b.

La figura R13-12 presenta la capacidad en toneladas de varios tamaños de tubo y longitudes equivalentes. También se presenta la caída total de presión en psig que se encontrará en condiciones normales. Nótese que están marcadas en negritas la caída de presión de 2 psig y los tonelajes a esa caída. Son los tonelajes máximos que se recomiendan para minimizar la penalización de la temperatura del tubo de succión.

La figura R13-12 se basa en condiciones normales: 40 °F en la succión y temperatura de condensación 105 °F. Para otras condiciones se debe emplear una tabla de factores de corrección (figura R13-13). Para un sistema que trabaje a 30 °F en la succión y 94 °F de condensación, la tabla muestra que la carga en ton debe multiplicarse por un factor de 1.07. A continuación se usa el tonelaje corregido para calcular el diámetro del tubo en la figura R 13-11. En nuestro caso, se usarían 5.35 ton. En el caso de una unidad de acondicionamiento de aire enfriada por aire que trabajara a 45 °F en la succión y 125 °F de condensación, el factor de corrección sería 1.06 y se usarían 5.35 ton de diseño para dimensionar el tubo de succión.

FIGURA R13-13
Factores de corrección para capacidades de tubos de succión para R-12.

TEMP COND.	TEMPERATURA DEL EVAPORADOR																
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
85	2.20	2.04	1.90	1.77	1.66	1.55	1.46	1.36	1.29	1.21	1.13	1.07	1.02	0.97	0.91	0.87	0.82
90	2.25	2.09	1.95	1.81	1.70	1.59	1.50	1.39	1.32	1.23	1.16	1.10	1.04	0.99	0.93	0.89	0.84
95	2.32	2.15	2.00	1.86	1.74	1.63	1.53	1.43	1.35	1.26	1.19	1.12	1.07	1.01	0.95	0.91	0.86
100	2.38	2.21	2.05	1.91	1.79	1.67	1.57	1.47	1.38	1.30	1.22	1.15	1.10	1.04	0.98	0.93	0.88
105	2.45	2.27	2.11	1.96	1.84	1.72	1.62	1.50	1.42	1.33	1.25	1.18	1.12	1.06	1.00	0.95	0.90
110	2.52	2.34	2.17	2.02	1.89	1.76	1.66	1.55	1.46	1.37	1.28	1.21	1.15	1.09	1.03	0.98	0.92
115	2.60	2.41	2.24	2.08	1.95	1.82	1.71	1.59	1.50	1.40	1.32	1.24	1.18	1.12	1.05	1.00	0.95
120	2.69	2.49	2.32	2.14	2.01	1.87	1.76	1.64	1.54	1.44	1.36	1.28	1.21	1.15	1.08	1.03	0.97
125	2.78	2.57	2.39	2.21	2.07	1.93	1.82	1.69	1.59	1.49	1.40	1.31	1.25	1.18	1.11	1.06	1.00
130	2.88	2.66	2.47	2.29	2.14	2.00	1.88	1.74	1.64	1.54	1.44	1.36	1.29	1.22	1.15	1.09	1.03
135	2.99	2.76	2.56	2.37	2.22	2.07	1.94	1.80	1.70	1.59	1.49	1.40	1.33	1.26	1.18	1.12	1.06
140	3.11	2.87	2.66	2.46	2.30	2.14	2.01	1.87	1.76	1.64	1.54	1.45	1.37	1.30	1.22	1.16	1.09
145	3.24	2.99	2.77	2.56	2.40	2.23	2.09	1.94	1.82	1.70	1.59	1.50	1.42	1.34	1.26	1.20	1.13

Multiplique la capacidad requerida por el factor de esta tabla para obtener la capacidad corregida para emplear la figura R13-12.
Fuente Trane Company

Esta descripción se basa en las necesidades de diámetro de tubo de succión de sistemas de un compresor de capacidad única y en materiales suministrados por Trane Company. En una instalación que tenga una amplia variación de cantidades de gas en la succión debidas al control de capacidad del compresor, etapas de compresión, etc., recomendamos usar el manual *Reciprocating Refrigeration* de Trane Company, o consultar la recomendación específica del fabricante del equipo, porque hay algunas diferencias entre las técnicas de diversos fabricantes,

R13-5.2 Sistemas de tubo capilar

El dimensionado del tubo de succión depende de la cantidad de vapor que va a manejar. Por lo tanto, los tubos de succión en sistemas de tubo capilar se dimensionan del mismo modo que los sistemas de válvula termostática de expansión. La diferencia en el diseño de tubo de succión entre los dos sistemas está en el empleo de trampas. No se recomiendan las trampas en instalaciones de tubo capilar, porque sólo agregan resistencia al flujo del refrigerante. Recuerde que la trampa se compone de 3 cambios de dirección de 90° y que cada codo equivale a 5 pies de tubo recto. El agregar una trampa es lo mismo que agregar 15 pies de tubo recto. Prácticamente todos los serpentines de expansión seca que usan tubo capilar tienen alimentación por la parte inferior, lo cual reduce la posibilidad de drenado por gravedad durante los paros del sistema. También, la carga de refrigerante se limita a lo que puede contener el serpentín durante las paradas. Cuando se carga en forma adecuada con refrigerante, el sistema de tubo capilar tiene menos propensión a golpes de líquido. También, como el serpentín se llena con refrigerante cuando se igualan las presiones, el aceite en el serpentín se arrastra hacia la conexión de succión del serpentín en cada paro. Ello evita la acumulación de aceite en él.

Tampoco se necesitan trampas en las subidas verticales debido a las altas velocidades de gas durante el arranque. Al permanecer inactivo, el serpentín de expansión seca, lleno de refrigerante líquido, adquirirá bastante energía calorífica a la presión de equilibrio. Inmediatamente en el arranque del compresor, cuando baja la presión de

succión, se produce una gran cantidad de vapor en el serpentín de expansión seca, que origina velocidades en el tubo de succión mayores que 6000 pies/min. Esa velocidad es suficiente para elevar al aceite en los tubos de succión verticales hasta 65 pies, o 20 metros. No se recomienda hacer instalaciones de sistemas de tubo capilar donde la subida del tubo de succión sea mayor que 20 metros. En esas instalaciones se deben usar válvulas termostáticas de expansión y trampas en el tubo de succión.

R13-5.3 Aislamiento del tubo de succión

El aislamiento del tubo de succión es una cosa absolutamente necesaria. Con ello se elimina lo siguiente:

1. Condensación en el tubo de succión. El agua que se condensa en el tubo de succión puede caer sobre personas, lo cual es indeseable y puede causar daños a techos, pisos, etc.
2. Mucha ganancia de temperatura de succión, ya que los conjuntos de compresor y motor herméticos están enfriados por el gas de la succión. Por lo tanto, mientras menor sea la temperatura del gas que regresa a la succión, mejor será la eliminación de calor del motor, y menor será la temperatura de funcionamiento del mismo. También, cuanto menor sea la temperatura del aceite, mejor será la lubricación y la eliminación de calor de los cojinetes. Con ello se ayuda a tener una vida más larga del compresor.

R13-6 TUBO DE GAS CALIENTE

Para dimensionar y tender tubos de gas caliente, seleccione los que tengan un diámetro lo suficientemente pequeño como para dar una velocidad adecuada para arrastrar hacia el condensador el aceite caliente vaporizado. Por otro lado, el diámetro debe ser lo suficientemente grande como para evitar demasiada caída de presión. En los tubos de succión la caída máxima aconsejable es 2 psig, pero en los de gas caliente es 6 psig.

Si se usa una mayor caída de presión, puede ser demasiada la velocidad del flujo de gas por el tubo, hasta llegar al punto de originar ruido, vibración y una reducción seria en la capacidad del sistema; y al mismo tiempo un aumento en el costo de operación por la mayor presión de descarga del compresor que se necesita.

En la figura R13-14 se presentan las capacidades en toneladas de tubos de gas caliente con R-22, en condiciones normales. La unidad de 5 ton que se usa en el ejemplo en la descripción de los tubos de succión necesitaría un tubo de 7/8" DE si la longitud equivalente total fuera 100 pies. Sin embargo, si la longitud equivalente total fueran 20 pies, se podría usar un tubo de 5/8" DE. Como en el cálculo de tamaños de tubo de succión, cuando se encuentran otras condiciones que no sean las normales, se debe hacer un ajuste.

La figura R13-15 muestra los factores de corrección que se deben emplear cuando las condiciones no son las normales. En el ejemplo de la unidad de aire acondicionado que trabaja a 45 °F en la succión y 125 °F en la condensación, el factor de corrección es 0.95. Multiplique las 5 ton originales por 0.95, para obtener una capacidad corregida de diseño de 4.75 ton.

Si la longitud equivalente total del tubo de gas caliente fuera 0.75 pies a condiciones normales, el tamaño del tubo sería 7/8" DE. Corregido para las condiciones reales, sería 3/4" DE. En las unidades de condensación, el tubo de gas caliente, del compresor al condensador, en general es muy corto y dimensionado en fábrica. Sólo cuando se trata de sistemas armados en campo, o cuando se convierten las unidades a enfriamiento por aire por adición de un condensador remoto tiene aplicación la descripción que hemos dado.

Cuando se tienen sistemas construidos en campo con mayores capacidades, se aplican reglas especiales para el tendido de varios tubos de gas caliente. Sobre este tema, Trane Company ha publicado su manual *Reciprocating Refrigeration*. También puede usted consultar lo especificado por el fabricante acerca del equipo determinado, cuando haga esas instalaciones.

R13-6.1 Aislamiento del tubo de gas caliente

En las unidades de paquete y las de condensación donde es corto el tubo de gas caliente entre el compresor y el condensador, no se debe usar aislamiento en ese tubo. En los condensadores remotos, si se espera que la unidad trabaje a temperaturas bajas del ambiente, es posible alcanzar la temperatura de condensación en la descarga de

R13-7 TUBO DE LÍQUIDO

Los tubos de líquido no presentan problema desde el punto de vista de acarreo de aceite, porque el refrigerante líquido y el aceite se mezclan con facilidad y el aceite se arrastra también fácilmente por el tubo. Sin embargo, los tubos de líquido son críticos desde el punto de vista de caída de presión, tanto la debida al diámetro del tubo, como en el caso de un tubo de subida, el arrastre del aceite hacia arriba.

FIGURA R13-15
Factores de corrección para capacidades en ton de tubo de gas de descarga para R-22.

TEMP. COND.	TEMPERATURA DE SATURACION EN EL EVAPORADOR, °F																
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
85	1.21	1.20	1.19	1.18	1.17	1.16	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11	1.11	1.10	1.09	1.08	1.08	1.07
90	1.18	1.17	1.16	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11	1.10	1.10	1.09	1.08	1.07	1.07	1.06	1.05	1.05
95	1.16	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07	1.07	1.06	1.05	1.04	1.04	1.03	1.02
100	1.14	1.13	1.12	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.05	1.04	1.03	1.02	1.02	1.01	1.00
105	1.13	1.12	1.11	1.09	1.08	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.02	1.01	1.00	0.99	0.99
110	1.12	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.99	0.98	0.97
115	1.11	1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	1.01	1.00	0.99	0.98	0.98	0.97	0.96
120	1.10	1.09	1.08	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.97	0.96	0.95
125	1.10	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.97	0.96	0.95	0.94
130	1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.02	1.01	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.95	0.94
135	1.10	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.94
140	1.10	1.09	1.08	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93
145	1.12	1.10	1.09	1.07	1.06	1.05	1.04	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	0.94

Aplicar a la figura R13-14.
Fuente: Trane Company.

R13-7.1 Caída de presión

En la tabla de tonelajes de capacidad de tubos de líquido de la figura R13-16, notará usted que la caída máxima de presión debida al diámetro de la tubería es 4 psig. Con esta tabla para el ejemplo anterior del sistema de 5 ton a condiciones normales, el tubo más pequeño que aparece es 1/2" DE y tiene una capacidad de 7 ton con 3 psig de caída de presión para 20 pies equivalentes de longitud.

Para limitar la cantidad de refrigerante en el sistema, la mayor parte de los fabricantes usan tubos de líquido de 3/8" y hasta de 1/4" DE en los sistemas remotos. Esto varía con el tonelaje y la longitud del tubo. *No trate de cambiar diámetro de tubería de líquido de lo que digan las especificaciones originales*, porque con ello afectará seriamente el rendimiento y la vida del equipo. Algunos sistemas también dependen de la caída de presión en el tubo de líquido que se suma a la del tubo capilar. En esos casos, son importantes tanto el diámetro como la longitud del tubo de líquido para tener eficiencia máxima. *No trate de cambiar alguno de ellos.*

La figura R13-17 es una tabla de los factores de corrección para R-12 cuando se debe dimensionar la tubería de líquido para condiciones distintas de las normales. Para el sistema que trabaja a 45 °F de succión y 125 °F de condensación, el factor de corrección sería 1.06. Bajando por la columna de 45 °F de temperatura de evaporador, al cruzar el renglón de 125 °F de condensación, aparece 1.06. La carga de 5 ton debe multiplicarse por 1.06 para obtener 5.3 ton, la capacidad base para diseño del tubo de líquido.

La figura R13-18 lista la capacidad de línea que lleve R-22. Esta tabla se usa del mismo modo que la figura R13-6. La figura R13-19 es la tabla de factor de corrección para la línea de líquido R-22 en condiciones que no sean las estándar.

R13-7.2 Subidas verticales

Los tubos de líquido pueden presentar un problema si por diseño se tiene un cambio de temperatura radical, o caída de presión, porque el refrigerante que sale del condensador permanece líquido sólo si su temperatura de condensación es mayor que su temperatura sensible. Si hay una caída de presión (caída de punto de ebullición) o si se invierte un aumento de la temperatura sensible (el punto de ebullición cayendo abajo de la temperatura sensible, o la temperatura sensible subiendo sobre el punto de ebullición), se tendría una preexpansión del líquido antes de que pasara por el dispositivo de reducción de presión. El vapor formado se llama *gas de preexpansión instantánea*. Como se describió antes, este gas en la tubería de líquido es muy indeseable, porque desplaza líquido en el orificio de la válvula de expansión, reduciendo su capacidad. También afecta mucho la capacidad de los tubos capilares, porque es mucho menor la capacidad para conducir vapor que para conducir líquido. El líquido que sale del condensador se encuentra normalmente a un punto de ebullición mayor que la temperatura del aire ambiente. Sin embargo, como se tienen pérdidas por fricción y estáticas, aun en tubos correctamente dimensionados, la pérdida estática es la causa más frecuente de formación de gas de preexpansión instantánea.

Por ejemplo, una columna vertical de R-22 líquido a 100 °F y 210.6 psig ejerce, debido a su peso, una presión aproximada de 0.50 psi por cada pie de altura de la columna. El R-12 ejerce 0.55 psi por pie de altura. Por lo tanto, la presión en el fondo de una columna de 10 pies de R-22 es R13-7.3 5 psi mayor que la que hay en la parte superior. A la inversa, por cada 10 pies que sube el R-22 en un tubo vertical, la presión de la parte superior de la columna baja 5 psi.

Supongamos que el R-22 líquido sale del condensador en condiciones normales de 105 °F de condensación con 3 °F de subenfriamiento. La presión que sale del condensador sería 210.765 psig. Por lo tanto, teniendo en cuenta los 3 °F de subenfriamiento, el líquido sale del condensador a 102 °F. Si el tubo de subida de líquido tiene 30 pies de altura, la presión en la parte superior será 15 psi menor debido al peso del refrigerante, o sea $210.765 - 15 = 195.765$ psig. A esto hay que restar la caída por fricción en el tubo de 6 psig, si es que está bien dimensionado, para llegar a una presión final de 189.765 psig. El punto de ebullición a esta presión es 97.86 °F. Como el líquido salió del condensador a 102 °F, se evaporará el líquido suficiente para enfriar al restante a los 97.86 °F. Para evitar la formación de gas en esta subida, se necesita un subenfriamiento de líquido que sale del condensador igual a 8 °F o más, en lugar de los 3 °F, para compensar la subida y la caída de presión en el tubo.

De nuevo, supongamos que se aplican las mismas condiciones a una unidad normal de aire acondicionado que trabaja a una eficiencia máxima con 19 °F de subenfriamiento. En lugar de dejar el condensador a 102 °F, el líquido lo abandonaría a 86 °F. Nuevamente, suponiendo una caída de presión en el tubo de 6 psig, ya que está bien dimensionado, los 30 pies de subida vertical no producirían gas de evaporación instantánea. La subida vertical puede aumentar a 105 pies antes de que se presente esa evaporación.

Lo anterior demuestra el valor de una cantidad adecuada de subenfriamiento. No sólo da latitud o flexibilidad al diseñador al proyectar el tubo de líquido, sino que un subenfriamiento adecuado produce la capacidad máxima del sistema al costo mínimo de operación.

FIGURA R13-17
Factores de corrección para capacidades de tubo de R-12 líquido.

TEMP. COND.	TEMPERATURA EN EL EVAPORADOR, °F																
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
85	1.06	1.05	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.90
90	1.08	1.07	1.06	1.05	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.92
95	1.11	1.10	1.09	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.95	0.94
100	1.14	1.13	1.12	1.10	1.09	1.08	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96
105	1.18	1.16	1.15	1.13	1.12	1.11	1.09	1.08	1.07	1.06	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98
110	1.21	1.20	1.18	1.17	1.15	1.14	1.12	1.11	1.10	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01
115	1.25	1.23	1.22	1.20	1.19	1.17	1.16	1.14	1.13	1.11	1.10	1.09	1.08	1.06	1.05	1.04	1.03
120	1.29	1.27	1.26	1.24	1.22	1.21	1.19	1.18	1.16	1.15	1.13	1.12	1.11	1.09	1.08	1.07	1.06
125	1.34	1.32	1.30	1.28	1.26	1.25	1.23	1.21	1.20	1.18	1.17	1.15	1.14	1.13	1.11	1.10	1.09
130	1.39	1.36	1.34	1.32	1.31	1.29	1.27	1.25	1.24	1.22	1.20	1.19	1.17	1.16	1.15	1.13	1.12
135	1.44	1.42	1.39	1.37	1.35	1.33	1.31	1.29	1.28	1.26	1.24	1.23	1.21	1.20	1.18	1.17	1.15
140	1.50	1.47	1.45	1.42	1.40	1.38	1.36	1.34	1.32	1.30	1.29	1.27	1.25	1.24	1.22	1.21	1.19
145	1.56	1.53	1.51	1.48	1.46	1.44	1.41	1.39	1.37	1.35	1.33	1.31	1.30	1.28	1.26	1.25	1.23

Multiplique la capacidad necesaria por el factor de esta tabla para obtener la capacidad corregida para emplear la figura R13-16
Fuente: Trane Company.

R13-7.3- Aislamiento del tubo de líquido

En forma normal, no se usa aislamiento en el tubo de líquido debido a que mientras mayor sea la pérdida de calor en él, menor será la temperatura del líquido que entra al dispositivo reductor de presión, y menor será el gas de evaporación instantánea que se produzca. Sin embargo, cuando se instala en un ambiente más alto de lo normal, como cuando lleva refrigerante líquido a un evaporador o a un clima ubicado en un desván, la ganancia de temperatura del líquido podría producir temperaturas mayores que la de condensación, si ello fuera posible. Como no es posible que la temperatura sensible de un líquido sea mayor que el punto de ebullición, se lleva a cabo evaporación de líquido y se produce preexpansión. Se necesita aislamiento tanto en el tubo de succión como en el de líquido.

Otra causa muy común de preexpansión es tender el tubo de líquido sobre el techo de una construcción, sobre asfalto que se calienta por el sol. Los tubos de refrigerante deben estar despegados al menos 45 cm de esos techos para reducir al mínimo los efectos del sol.

FIGURA R13-19

Factores de corrección para capacidades de tubo de líquido con R-22.

TEMP. COND.	TEMPERATURA EN LA SUCCION																
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
85	1.01	1.00	0.99	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.95	0.94	0.93	0.93	0.92	0.91	0.91	0.90	0.90
90	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.99	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	0.94	0.94	0.93	0.92	0.92
95	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.97	0.96	0.95	0.95	0.94
100	1.09	1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00	1.00	0.99	0.98	0.98	0.97	0.96
105	1.13	1.12	1.11	1.09	1.08	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.02	1.01	1.00	0.99	0.99
110	1.16	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.03	1.02	1.01
115	1.20	1.18	1.17	1.16	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06	1.06	1.05	1.04
120	1.24	1.22	1.21	1.20	1.19	1.17	1.16	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11	1.10	1.09	1.09	1.08	1.07
125	1.28	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.20	1.19	1.18	1.17	1.16	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11	1.10
130	1.33	1.31	1.30	1.28	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.19	1.18	1.17	1.16	1.15	1.15	1.14
135	1.38	1.36	1.35	1.33	1.32	1.30	1.29	1.28	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.20	1.19	1.19	1.18
140	1.43	1.42	1.40	1.38	1.37	1.35	1.34	1.32	1.31	1.30	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22
145	1.50	1.48	1.46	1.44	1.43	1.41	1.39	1.38	1.36	1.35	1.33	1.32	1.31	1.30	1.28	1.27	1.26

Aplicable a la figura R13-11
Fuente Trane Company

R13-8 TUBO DE DRENADO DEL CONDENSADOR

El tubo entre el condensador y un receptor de líquido, que se llama tubo de drenado del condensador, se debe dimensionar con cuidado. Aunque casi es imposible sobredimensionarlo (es deseable tener 0 psig de pérdidas), se debe evitar subdimensionarlo o tener un tubo demasiado largo. Un tubo subdimensionado o demasiado largo puede restringir el flujo del refrigerante a la válvula termostática de expansión hasta el punto de que algo se queda en el condensador, con lo cual se reduce la superficie efectiva de éste y su capacidad. Esto hace que suba la caída de presión, disminuyendo la capacidad general del sistema. Al mismo tiempo, aumentan las necesidades de energía y los costos de operación.

Para tener un funcionamiento adecuado, debe ser lo más corta posible la longitud del tubo entre el condensador y el receptor, de preferencia no mayor de 18 pulg o 45 cm. La parte superior del receptor debe estar a nivel, o abajo, del fondo del condensador. Con ello se elimina la necesidad de forzar de subida al líquido para que entre al receptor.

Esas reglas se aplican a instalaciones normales de receptor. Cuando hay requisitos especiales de control de capacidad, funcionamiento a bajas temperaturas ambiente, etc., consulte el manual *Reciprocating Refrigeration* de Trane Company, o el material que suministre el fabricante del equipo.

R13-8.1 Aislamiento del tubo de drenado del condensador

A excepción de aplicaciones muy especiales, no se aísla este tubo.

PROBLEMAS

- R13-1. La tubería que conecta los cuatro componentes principales del sistema tiene dos funciones principales. ¿Cuáles son?
- R13-2. ¿Cuáles son las cinco reglas básicas para la práctica correcta de dimensionamiento de tuberías.
- R13-3. El vapor de refrigerante, ¿es un buen o un mal medio de arrastre del aceite?
- R13-4. Las velocidades mínimas de gas por tubos horizontales y verticales de succión son _____ y _____.
- R13-5. ¿Cuáles son las caídas de presión máximas recomendadas en el tubo de succión para sistemas que usen R-12, R-22 y R-504?
- R13-6. Se necesitan trampas en el tubo de succión en todos los serpentines de expansión seca que usan válvulas termostáticas de expansión. ¿Cierto o falso?
- R13-7. ¿En qué caso se necesitan trampas adicionales en el tubo de succión?
- R13-8. ¿En qué casos se necesitan sistemas de trampas y subidas dobles?
- R13-9. Se deben usar también las trampas en sistemas con tubo capilar. ¿Cierto o falso?
- R13-10. El aislamiento del tubo de succión es una necesidad absoluta. ¿Cierto o falso?
- R13-11. La caída máxima de presión permisible en los tubos de gas caliente es _____ psig.
- R13-12. ¿Se necesita aislamiento para el tubo de gas caliente?
- R13-13. ¿Cuál es la caída de presión máxima permisible en el tubo de líquido?
- R13-14. Definir "gas de preexpansión instantánea".
- R13-15. ¿Cuál es la causa del gas de preexpansión instantánea?
- R13-16. ¿Cuándo se necesita aislamiento en el tubo de líquido?



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



600

...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

ACCESORIOS

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

R14-1 GENERALIDADES

Se usó antes el término accesorio para indicar un separador de aceite, que es uno de los muchos dispositivos que se emplean en trabajos de refrigeración. Un accesorio de refrigeración es un artículo o dispositivo que agrega comodidad o eficacia al sistema. Los artículos esenciales del sistema básico de refrigeración son el compresor, condensador, dispositivo de medición y evaporador. Un accesorio da al sistema determinadas capacidades que le permiten llegar a un grado de eficiencia que es impráctico o virtualmente imposible con los componentes básicos disponibles en el comercio. Esos accesorios tienen muchas formas y tamaños, y desempeñan muchas funciones, pero su objeto principal es dar comodidad o eficacia al sistema de refrigeración.

A continuación presentamos una lista de accesorios comunes (hay otros, pero son tan especializados o se usan tan poco que no están en la lista).

Separador de aceite	Indicador de humedad
Silenciador	Válvula de agua
Cambiador de calor	Válvula solenoide
Colador-secador	Válvula de retención
Acumulador en la succión	Regulador de presión de evaporador
Calentadores de cárter	Válvula de alivio
Mirilla	Tapones fusible

R14-2 SEPARADOR DE ACEITE

El objeto del separador de aceite (figura R14-1) es reducir la cantidad del mismo en circulación por el sistema y con ello aumentar la eficiencia. Todos los sistemas de refrigeración tienen algo de aceite que pasa por ellos. En algunos casos la cantidad en circulación puede afectar las características de transferencia de calor del evaporador, crear falso accionamiento del flotador, o aun afectar la operación de la válvula de expansión. En esos casos, el separador de aceite puede mejorar la eficiencia del evaporador o reducir problemas con el flotador o la válvula reduciendo el aceite que circula dentro del sistema.

Los sistemas con tuberías mal dimensionadas o con trampas no regresan aceite al compresor con mucha frecuencia, y con ello crean problemas de lubricación de éste. La inserción de un separador de aceite a esos sistemas no corregirá dichos problemas. Un separador no es 100% eficiente y deja pasar algo de aceite. La instalación de un separador de aceite en un sistema que tiene trampas tan sólo demorará el problema; en ningún caso lo resuelve.

En el separador que se muestra en la figura, la mezcla caliente de gas y aceite del compresor entra en el lado izquierdo y pasa hacia abajo y afuera por el tubo perforado. La mezcla pega contra la rejilla en la que normalmente se separa el aceite del gas. El aceite escurre hacia abajo por la rejilla y pasa al pequeño cárcamo del fondo del separador.

El gas pasa por la rejilla y deja al separador en el lado superior derecho. Cuando sube el nivel de aceite en el cárcamo, la válvula de flotador sube y el aceite regresa al cárter pasando por un orificio.

El separador se instala normalmente en el tubo de descarga tan cerca del compresor como se pueda. El tubo de retorno de aceite va directamente al cárter. La construcción interna del separador varía mucho; sin embargo, su aspecto externo y su colocación en el sistema hacen que sea relativamente fácil su identificación.

Cuando se usa un separador de aceite se deben tener ciertas precauciones. Un separador frío condensa refrigerante gaseoso al estado líquido que, si se permite que regrese al cárter del compresor, puede dañarlo. También se debe tener cuidado de mantener limpio el orificio del flotador, porque se puede obstruir con cualquier lodo que pueda salir por la descarga del compresor. Si el flotador se atorara estando abierto, pasaría gas caliente al cárter. Si se atorara estando cerrado, no regresaría aceite al compresor.

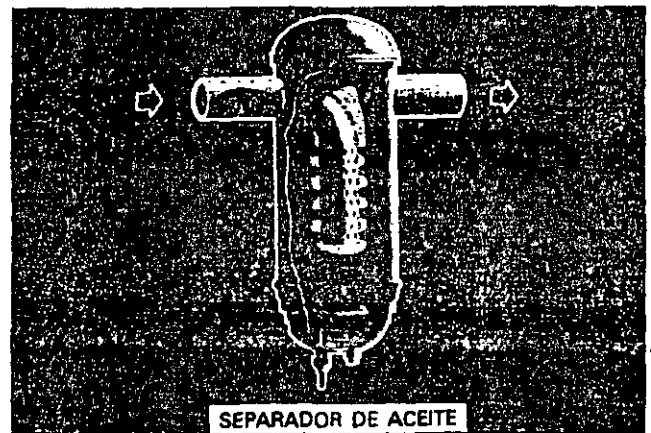


FIGURA R14-1 Separador de aceite. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

R14-3 SILENCIADOR

El objeto del silenciador o mofle (figura R14-2) es amortiguar o eliminar pulsaciones de gas caliente provocadas por los compresores alternativos. Cualquier compresor alternativo crea algo de pulsaciones de gas caliente. Aunque hacen grandes esfuerzos para reducir al mínimo las pulsaciones en el diseño del sistema y del compresor, esas pulsaciones pueden ser lo suficientemente severas como para crear dos problemas estrechamente relacionados. El primero es el ruido, el cual, aunque es molesto para los usuarios del equipo, no necesariamente tiene efectos perjudiciales sobre el sistema. El segundo problema es la vibración, que puede ocasionar ruptura de tubería. Con frecuencia estos dos problemas se dan en forma simultánea.

La figura es un buen ejemplo de la construcción de un mofle. Está diseñado para eliminar las pulsaciones de gas permitiéndoles que se disipen dentro del mismo silenciador. Las pulsaciones impulsan al gas caliente a través de los agujeros en el tubo para que pasen a las cámaras, donde se absorben.

El silenciador se intercala en el tubo de descarga lo más cerca del compresor que se pueda. En los compresores herméticos soldados el silenciador se encuentra con frecuencia dentro de la caja misma del compresor. Como en general está dentro de la caja, el mofle es una trampa natural. Con facilidad detiene al aceite y puede también atrapar refrigerante líquido. El silenciador se debe instalar ya sea en flujo descendente o en un tubo horizontal.

La selección del tamaño y ubicación correctos del silenciador puede ser un difícil problema de ingeniería. La selección inadecuada en el campo de un silenciador a veces originará un aumento en lugar de una disminución de vibración.

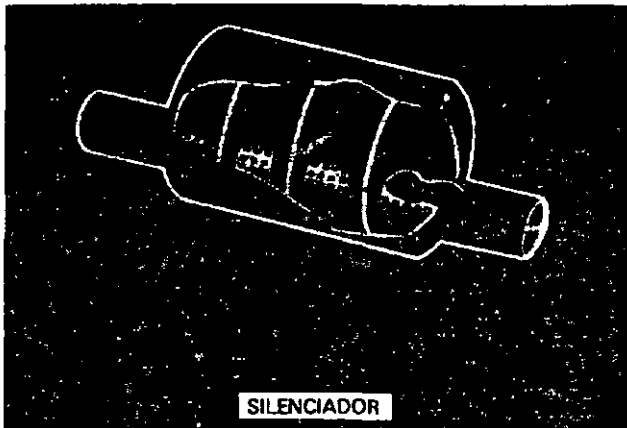


FIGURA R14-2 Silenciador. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

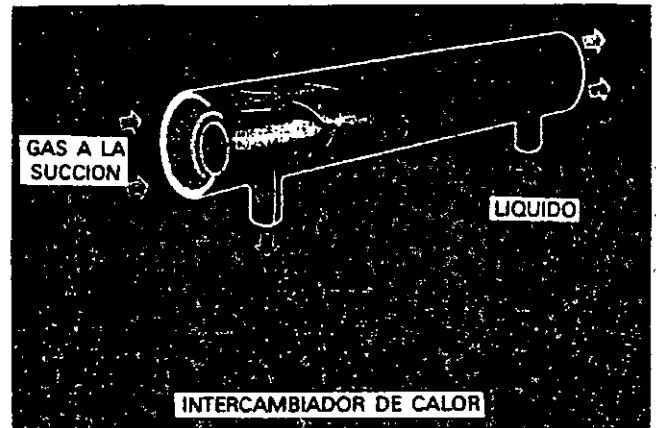


FIGURA R14-3 Intercambiador de calor. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

R14-4 CAMBIADOR DE CALOR

El cambiador de calor (figura R14-3) es un dispositivo que se usa para pasar calor del refrigerante líquido al gas de succión. El cambiador tiene dos objetos principales. El primero es reducir la temperatura o subenfriar al refrigerante líquido que va del condensador al dispositivo de medición. Esta reducción de temperatura es necesaria en los sistemas que tienen grandes caídas de presión, para evitar la evaporación en el tubo de líquido. Estas caídas de presión se pueden originar por ser demasiado largas las tuberías, o prolongadas las subidas del tubo.

El segundo objeto del cambiador es asegurar que esté seco el gas de succión que va al compresor. En los sistemas que tienen fluctuaciones rápidas de la carga, no es raro encontrar que el líquido "se escurra" desde el evaporador. El cambiador de calor permite ajustes menores de sobrecalentamiento, porque algo de arrastre líquido no necesariamente es peligroso.

El cambiador de calor de tubo triple muestra el principio de intercambio. Es un dispositivo a contracorriente en el que el líquido tibio entra al lado derecho y el gas húmedo o frío por la izquierda. Como el líquido se encuentra a una temperatura mayor que la del gas, el calor saldrá del líquido y pasará al gas. Con ello se subenfriará el líquido y se reduce la evaporación instantánea, al mismo tiempo que se sobrecalienta el gas para evitar la inundación. Hay otros tipos de cambiadores de calor, como el de tubo doble y el de envolvente y tubos.

El lugar del cambiador de calor (figura R 14-4) depende del uso que se le dé. Si el cambiador se usa con objeto de subenfriar el líquido, se instala tan cerca del condensador como lo permita la tubería. Un cambiador de calor que se use como protección contra los golpes de líquido se debe instalar en el tubo de succión bastante cerca del evaporador. Como los tubos tanto de líquido como de succión se deben llevar al cambiador de calor, la distribución del equipo puede tener más efecto sobre la posición del cambiador que los otros dos factores.

Aunque los cambiadores de calor sirven para muchos fines, se debe tener cuidado al usarlos, en especial con los compresores herméticos. Los motores de compresores herméticos se enfrían mediante gas de succión, y con frecuencia

tienen límites máximos definidos de temperatura del gas en la succión. Como los cambiadores de calor tienden a aumentar la temperatura del gas de succión, su uso indiscriminado en el campo, sin la investigación adecuada, puede ser peligroso

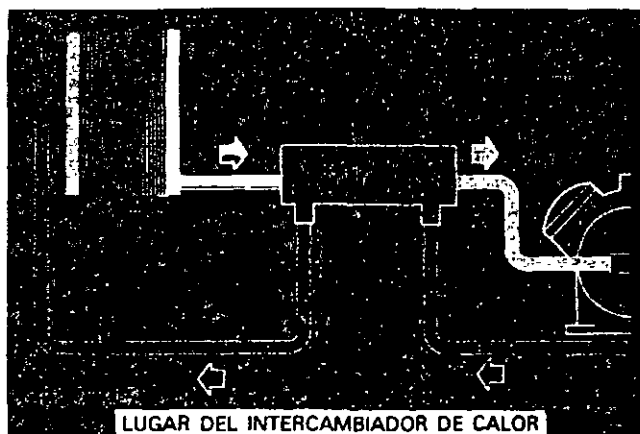


FIGURA R14-4 Ubicación del intercambiador de calor. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)



FIGURA R14-5 Colador-secador. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

R14-5 COLADOR-SECADOR

Ya se han descrito los peligros de la humedad dentro de un sistema de refrigeración. Tan sólo repetiremos que no debe haber nada de humedad, en especial en aquellos sistemas que usan refrigerantes de hidrocarburos halogenados. Sin embargo, si entra humedad al sistema de refrigeración, se debe eliminar. Un método de eliminarla es el empleo del colador-secador que se muestra en la figura R14-5. Este accesorio consiste en un cascarón a través del que pasa el refrigerante líquido. Dentro del cascarón se encuentra un material que se llama desecante, o desecador. Al pasar el refrigerante cargado de humedad por el secador, éste elimina una parte de la humedad. En cada paso por el secador se elimina más humedad hasta que el refrigerante está suficientemente seco, o hasta que el secador haya alcanzado su capacidad de saturación de humedad. Cuando esto sucede, se debe remplazar el secador.

El colador-secador también efectúa una segunda función, al filtrar y detener cualquier partícula sólida en el refrigerante líquido que pasa. Esas partículas las filtra el núcleo del desecador.

El colador-secador se encuentra casi siempre en el tubo de líquido del sistema de refrigeración, como en la figura R14-6. Debido a que el volumen del líquido es mucho menor que el del gas, se puede usar un secador más pequeño. Esto, desde luego, resulta en menor costo. También, el dispositivo de medición queda protegido contra partículas sólidas cuando el colador está en ese lugar.

Se deben hacer resaltar dos hechos importantes concernientes a los secadores. El primero es que se deben remplazar cuando el agente secador está saturado. El segundo es que ocasionan algo de caída de presión; por lo tanto, se deben dimensionar en forma correcta para evitar demasiada caída de presión, con la evaporación instantánea resultante.

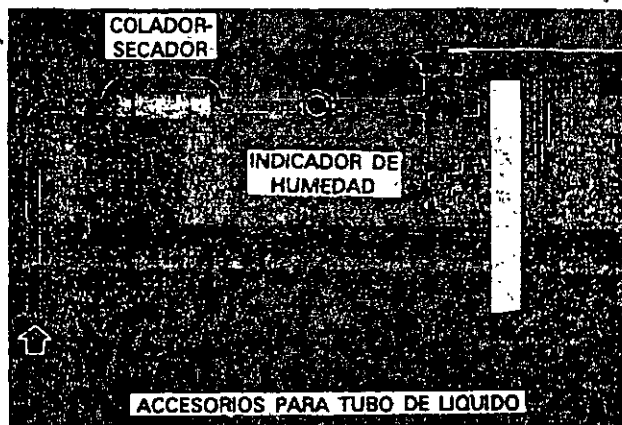


FIGURA R14-6 Accesorios en tubería de líquido. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

R14-6 ACUMULADOR DE SUCCION

El acumulador de succión (figura R14-7) es un dispositivo sencillo que efectúa una función muy útil. En algunos evaporadores, la acción del dispositivo de medición no es lo suficientemente rápida como para seguir el paso a los cambios de carga. También, los tubos capilares no están diseñados para "cerrar" a cargas ligeras del evaporador. En ambos casos, algo de líquido sale a veces del evaporador, por el tubo de succión. Este líquido podría dañar al

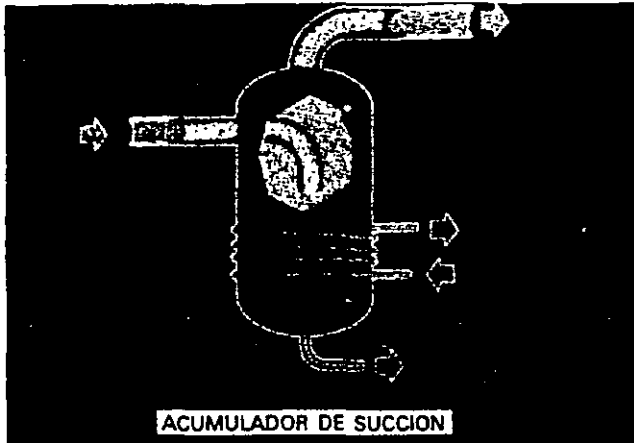


FIGURA R14-7 Acumulador de succión. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)



FIGURA R14-9 Calentadores de cárter. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

compresor. El acumulador no es más que una trampa para atrapar este líquido antes que pueda alcanzar al compresor. Este líquido sobrante se hierve o evapora en la trampa y regresa al compresor en estado gaseoso.

A veces las limitaciones de espacio determinan que se use todo el evaporador para hervir líquido. Si es así, el acumulador de succión se puede usar con ventaja, porque permite el uso completo del evaporador sin temor de pasar líquido al compresor. Su construcción no es complicada. Consiste en un recipiente para reunir y evaporar refrigerante líquido. El empleo de la tubería de líquido para obtener calor y evaporarlo, o el tubo de regreso de aceite, son particularidades opcionales.

El acumulador de succión se encuentra, por lo general, bastante cercano al evaporador de donde proviene el líquido (figura R14-8). A veces se puede encontrar en el tubo principal de succión en un sistema de varios evaporadores, y con ello protege contra golpes de líquido procedentes de todos los evaporadores.

El acumulador de succión debe tener las dimensiones correctas, porque de lo contrario se puede llenar de líquido y originar daños al compresor. También debe haber medios de retorno de aceite; esto es esencial, ya que es una trampa natural de aceite. El acumulador de succión se usa principalmente en el equipo de paquete que tenga tu capilar.

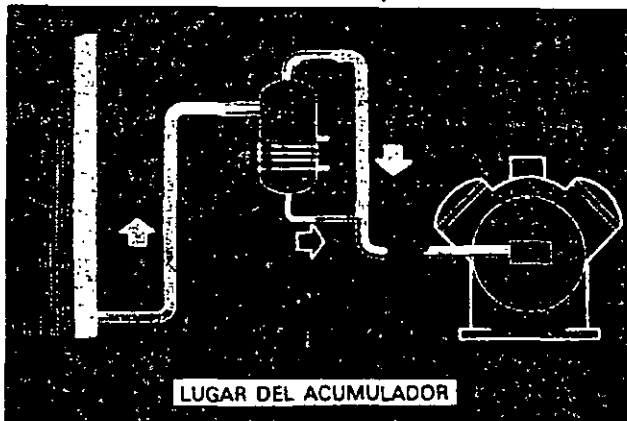


FIGURA R14-8 Ubicación del acumulador. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

R14-7 CALENTADOR DE CARTER

Este calentador (figura R14-9) se usa para evitar la acumulación de refrigerante líquido en el cárter del compresor durante las paradas. Debido a la afinidad que tiene el refrigerante hacia el aceite, el refrigerante puede pasar al cárter durante las paradas. La condensación del refrigerante en ese lugar también se puede llevar a cabo cuando la temperatura del compresor sea menor que la del resto del sistema.

Si se acumula refrigerante en el cárter, una reducción de la presión de succión al arranque lo evaporará o hará hervir. Esta ebullición hace que espumee la mezcla de aceite y refrigerante, y algo de esa espuma sale del cárter y pasa al cilindro. Allí puede crear golpes de líquido, que dañan las

válvulas. El refrigerante reduce también el valor lubricante del aceite.

La acumulación de líquido en el cárter durante los paros se puede reducir al mínimo manteniendo más caliente el cárter que el resto del sistema. El calentador del cárter se diseña con este objeto. La figura R14-9 muestra tres calentadores diseñados para tres aplicaciones distintas. El calentador de la izquierda se fija al fondo del cárter, el del centro se introduce en el mismo, y el de la derecha está diseñado para envolverlo.

Los compresores que trabajan bien en sistemas de baja temperatura tanto del sistema como exterior, o en aplicaciones de bombas térmicas en las que se tiene aceite frío, con seguridad se embarcan de fábrica con calentador en el cárter. O bien, el compresor tiene una salida roscada taponada en la que se puede introducir un calentador durante la instalación.

R14-8 MIRILLA

La mirilla (figura R14-10) en un sistema de refrigeración permite que el instalador o el técnico de servicio observen el estado del refrigerante en determinado punto. Consiste en una abertura en la tubería de líquido del sistema, cubierta con un vidrio. Con frecuencia se usa un vidrio a cada lado del tubo para asegurar la iluminación.

Cuando el tubo está completamente lleno de refrigerante líquido, casi no hay obstrucción a través de la mirilla. Sin embargo, si hay algo de gas, se verá de inmediato en forma de burbujas que pasan por la mirilla. Se debe hacer notar que en una mirilla de este tipo también parecerá clara cuando sólo haya gas en ella.

A primera vista, el indicador de humedad (figura R 14-10) puede parecer como una simple mirilla, lo cual es natural ya que el indicador es parte de la misma. Dentro del vidrio, pero expuesto al refrigerante líquido, se tiene un punto pequeño de color, como se ve en la figura R14-1 1. Este punto es el indicador de humedad. Tiene composición química especial que cambia de color dependiendo de la cantidad de humedad en el refrigerante. Cuando la cantidad de humedad está dentro de los límites establecidos por el fabricante, el punto será de un color. Sin embargo, si hay demasiada humedad, cambia el color del punto. Cuando un técnico de mantenimiento o de servicio vea que ha cambiado el color del punto, sabe que se deben tomar medidas para eliminar la humedad del sistema antes de que se presenten daños. El indicador de humedad no es exacto, a menos que esté completamente lleno de refrigerante líquido.

Dependiendo del objeto para el que se les usen, la mirilla o el indicador de humedad pueden estar en más de un sitio. Si la mirilla se va a usar como ayuda para determinar si el sistema está cargado en forma correcta, se coloca en el condensador o en la salida del recibidor. Si se va a usar para comprobar que no haya gas de evaporación instantánea antes que el líquido entre al dispositivo medidor, se localiza inmediatamente antes de éste, como se muestra.



FIGURA R14-10 Mirilla. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

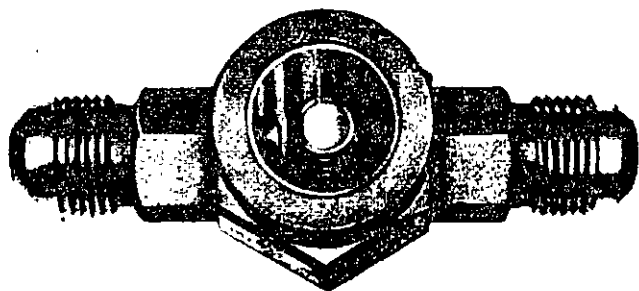


FIGURA R14-11 Mirilla e indicador de líquido. (Cortesía de Sporlan Valve Company.)

R14-9 VALVULA REGULADORA DE AGUA

La válvula de agua (figura R14-12) está diseñada para controlar la presión diferencial a través del flujo de la misma cuando el condensador es enfriado por agua. El gas del condensador entra a la válvula en la parte inferior y ejerce una presión sobre el fuelle. Cuando la presión aumenta, abre la válvula para permitir que fluya más agua. Cuando la presión disminuye se contrae el fuelle, y cierra la válvula. Se ajustan el flujo y la presión correctos en el condensador haciendo variar la tensión del resorte en la cabeza de la válvula.

Su instalación es sencilla, pero se debe tener

cuidado que sea correcta la dirección del flujo a través de la válvula.

Esta válvula en general no ocasiona problemas. Todo lo que se puede necesitar es un cambio ocasional de asiento.

R14-10 VÁLVULA

La válvula solenoide se puede usar para controlar el flujo de un gas o de un líquido. Se usa con frecuencia en tubos de refrigerante líquido para controlar el flujo de éste que va al evaporador. A veces se usa en los tubos de succión para aislar los evaporadores en sistemas de varios evaporadores y dos temperaturas. Otro empleo importante de la válvula solenoide es como piloto de una válvula mucho mayor.

Las válvulas solenoides, como la de la figura R14-13 se usan de muchos modos para controlar el flujo de líquido: pero una de las formas más comunes es como válvula de tubo de refrigerante líquido. En este caso se usa la válvula solenoide para detener el flujo de líquido al evaporador cuando se han cumplido los requisitos de refrigeración. Cuando se necesita más refrigeración, la válvula solenoide abre y el líquido pasa al evaporador.

El principio de funcionamiento de una válvula solenoide es sencillo. Una bobina se coloca alrededor de un tubo que contiene un émbolo móvil. Cuando pasa corriente a través del conductor se crea un campo magnético. Este jala hacia arriba al émbolo, hacia adentro del tubo. Al subir el émbolo, abre una válvula y permite que pase el líquido.

La válvula de la figura R14-13 es una válvula normalmente cerrada, porque lo está cuando no hay flujo de corriente. Las válvulas solenoides también se fabrican en el tipo normalmente abierto. Estas válvulas cierran sólo cuando se energiza la bobina.

La válvula solenoide es un dispositivo extremadamente confiable, cuando lo instala el fabricante. Una mala instalación, como por ejemplo no colocar derecha la válvula, o poner mal el cableado y torcer el cuerpo de la válvula debido a demasiado calor durante el latonado, puede hacer que una válvula solenoide sea fuente de problemas constantes. Por lo tanto, lo más importante para este dispositivo es una instalación adecuada.

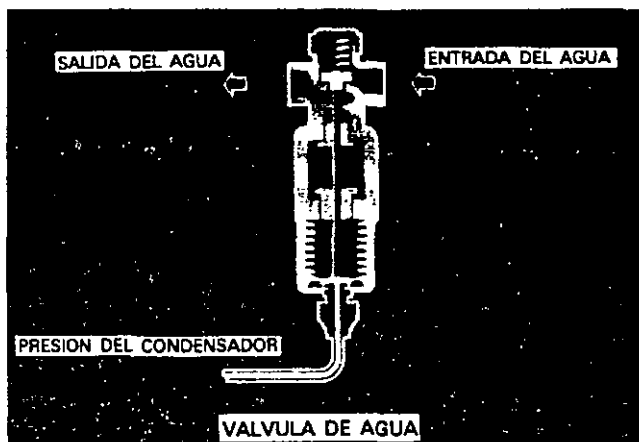


FIGURA R14-12; Válvula de agua. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

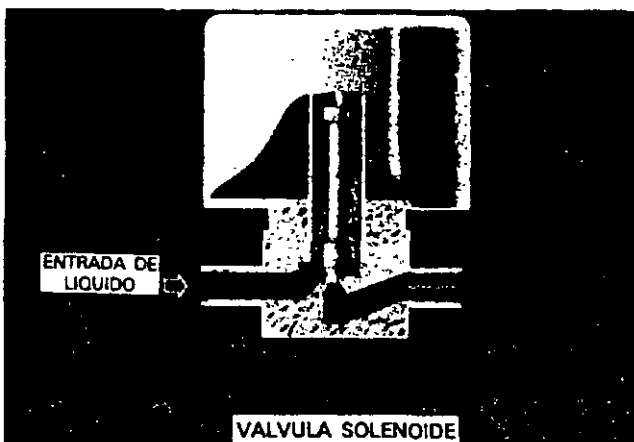


FIGURA R14-13 Válvula solenoide. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

R14-11 VALVULA DE RETENCIÓN

La válvula de retención (figura R14-14) se diseña para permitir el flujo de líquido o gas sólo en una dirección. Cuando el líquido pasa en la dirección de la flecha, la fuerza levanta la compuerta de su asiento, permitiendo el flujo. Cuando el fluido trata de pasar en dirección opuesta, la compuerta cierra y detiene el flujo. Este dispositivo es útil para evitar el regreso de líquido al compresor a través del tubo de descarga durante los paros. También se encuentra en los sistemas de ciclo inverso y con frecuencia se intercala en los tubos de succión en sistemas de dos temperaturas, para evitar la igualación de presiones durante un paro.

La válvula de retención tiene muchos usos y se considera que es un dispositivo razonablemente libre de problemas. Sin embargo, debido a su naturaleza, crea una caída de presión en el tubo en el que se use. Por lo tanto, no se debe instalar en forma indiscriminada.

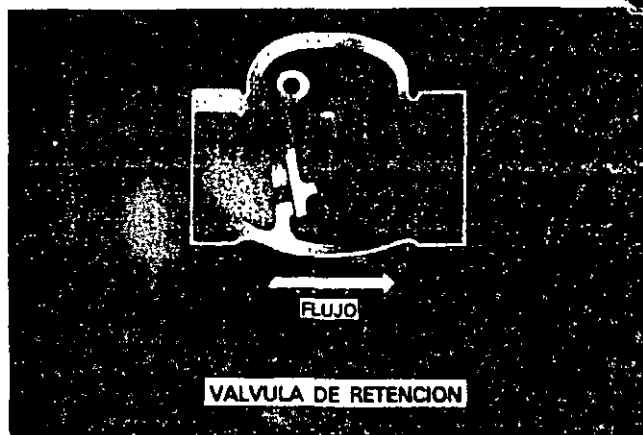


FIGURA R14-14 Válvula de retención. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

R14-12 REGULADOR DE PRESION DEL EVAPORADOR

Este regulador se llama con frecuencia *regulador de contrapresión*. Se diseña para mantener una presión o temperatura constante en el evaporador, independientemente de qué tan baja esté la presión de la succión del compresor. Siempre se encuentra en el tubo de succión tan cerca del evaporador como sea posible.

La figura R14-15 es un ejemplo de válvula de contrapresión o regulador de presión de evaporador. Esa válvula se diseña para mantener una presión o temperatura constante en el evaporador, independientemente de la presión de succión del compresor. La presión del evaporador entra por la conexión de la izquierda. Cuando sube la presión del evaporador, aumenta la presión bajo el fuelle. Esa presión supera la tensión del resorte y levanta el émbolo de la válvula separándolo de su asiento. Con ello se permite que los gases del evaporador pasen al tubo de succión. Al abandonar

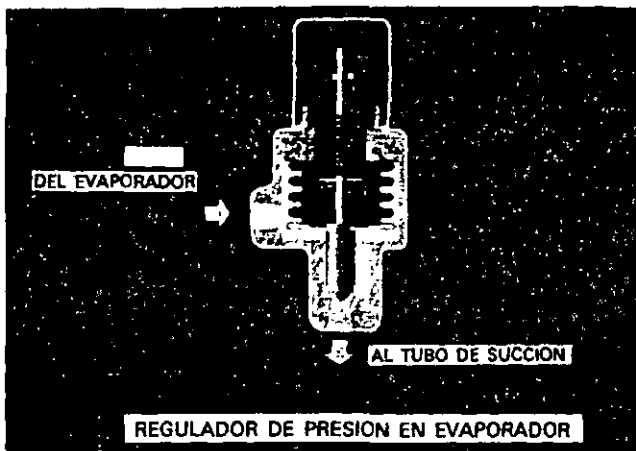


FIGURA R14-15 Regulador de presión en evaporador.
(Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

por la conexión piloto hacia abajo, a la superficie superior del pistón, creando la fuerza suficiente para hacer bajar al pistón y abrir la válvula. Al disminuir la presión en el piloto externo, la fuerza del resorte de ajuste hace que cierre la válvula y cierra la conexión piloto. La presión del gas en la parte superior del émbolo se sangra por el orificio del pistón, y el resorte principal empuja al pistón hacia arriba, cerrando la válvula. La presión para accionar esa válvula se debe tomar del evaporador, porque da mejor eficiencia que la del tubo de succión.

El tercer tipo de regulador de presión de evaporador es la *válvula de acción instantánea*, o *válvula de dos temperaturas* (figura R14-17). Esta válvula funciona con el mismo principio que las dos válvulas que se acaban de mencionar. Sin embargo, se diseña el accionamiento mecánico de tal modo que la válvula se abra o se cierre por completo.

El gas a la presión del evaporador pasa por el orificio del cuerpo al fuelle. Al aumentar la presión, el fuelle se expande y mueve hacia arriba al dedo en forma de diamante. Al moverse hacia arriba, el dedo, las ruedas con tensión de resorte cabalgan sobre el dedo hasta llegar a la máxima anchura de éste. Si se sigue inclinando el dedo, las ruedas pasan por el punto de máxima anchura y la presión del resorte tiende a unirlos. Esta fuerza hace que las ruedas cabalguen hacia abajo de la pendiente del diamante para empujar al émbolo de la válvula hacia abajo, y abrir la válvula. Esta permanecerá abierta hasta que la presión del evaporador se reduzca lo suficiente como para dejar que el punto de máxima anchura del dedo caiga atrás de las ruedas, y en este caso, la tensión del resorte hace que se junten las ruedas y levanta el émbolo cerrando la válvula.

La válvula se usa en aplicaciones de dos temperaturas en las que hay dos o más evaporadores trabajando con el mismo compresor. La válvula de dos temperaturas siempre se coloca en el tubo de succión del evaporador de la mayor temperatura. Se ajusta de tal modo que mantenga una presión promedio en el evaporador, o temperatura, mayor que la que tiene el evaporador directamente conectado a la succión del compresor.

La característica más importante de la válvula de acción instantánea es que no mantiene una presión constante. Como la válvula está completamente abierta o completamente cerrada, conecta y desconecta al evaporador igual que si estuviera conectado en forma directa con su unidad individual de condensación, controlado por un control de presión o de temperatura. En casos en que el escarchamiento sea problema, la temperatura alta del evaporador se puede ajustar de tal modo que quede arriba de la temperatura de congelación, y con ello se obtiene desescarchado automático.

los gases el evaporador la presión en éste se reduce. Cuando baja la presión bajo el fuelle la tensión del resorte cierra la válvula. La presión de operación de la válvula se puede regular cambiando la tensión del resorte.

Este tipo de válvula es útil cuando es importante el control de temperatura y humedad. Asegura que el evaporador no enfríe abajo de determinada temperatura especificada. También se usa cuando hay dos o más evaporadores en el sistema trabajando a distintas temperaturas.

Otro tipo de válvula de contrapresión que se usa con frecuencia en los sistemas más grandes es la operada por piloto de la figura R14-16. Aunque trabaja siguiendo el mismo principio que la válvula que describimos antes, el punto de control no se encuentra en la misma válvula. En este control, la presión de control entra por la conexión del piloto externo. Al aumentar la presión, empuja la válvula piloto de presión alejándola de su asiento. Con ello se permite que pase el gas

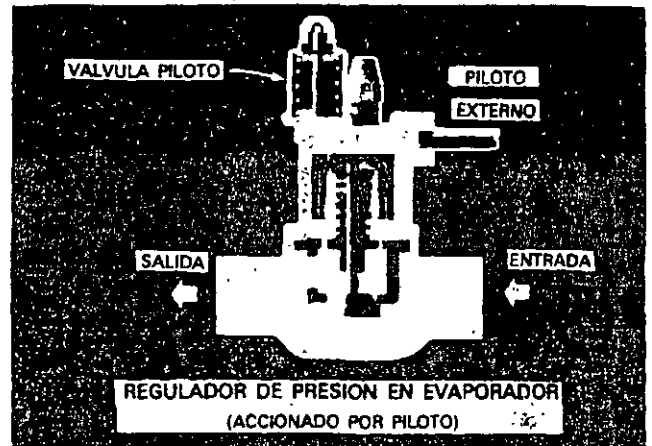


FIGURA R14-16 Regulador de presión en evaporador.
Accionamiento por piloto. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

R14-13 VALVULA DE ALIVIO

La válvula de alivio se diseña para proteger al sistema contra presiones del refrigerante lo suficientemente altas como para ocasionar daños físicos. La válvula que se ve en la figura R14-18 se mantiene cerrada mediante un resorte. Esta válvula cierra en forma automática cuando se ha reducido la presión hasta valores dentro de límites requeridos, permanecerá cerrada hasta que haya la presión suficientemente alta como para necesitar de alivio. Si la válvula abre, naturalmente que habrá una pérdida de refrigerante, por lo que después se debe verificar el sistema. Como estas válvulas se necesitan instalar con frecuencia por ley, muchas veces tienen algún tipo de sello para que no las puedan accionar personas que no estén autorizadas a hacerlo.

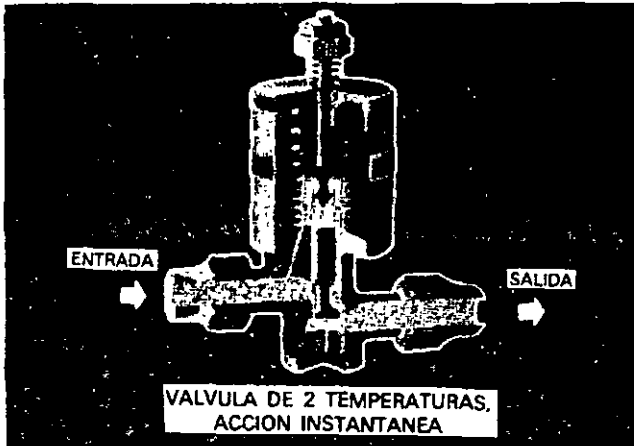


FIGURA R14-17 Válvula de dos temperaturas. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

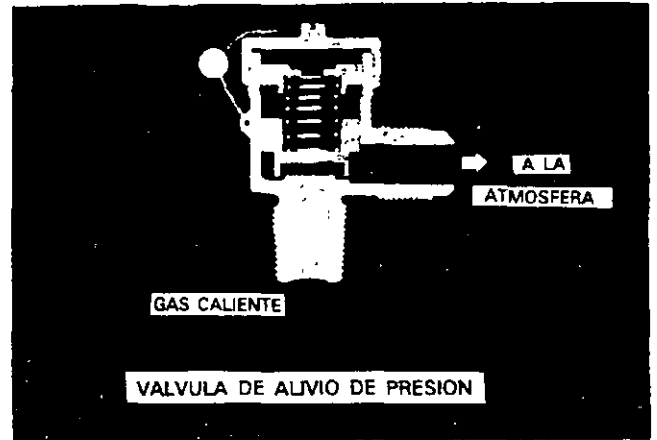


FIGURA R14-18 Válvula de alivio de presión (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

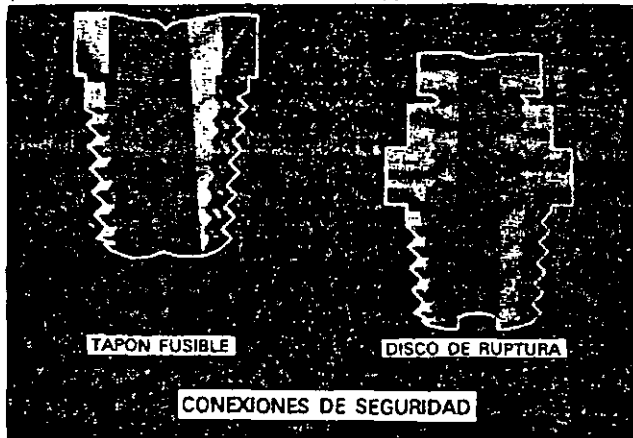


FIGURA R14-19 Conexiones de seguridad. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

R14-14 CONEXIONES DE SEGURIDAD

El tapón fusible o el disco de ruptura, que se ven en la figura R14-19, en realidad no son controles, sino dispositivos de seguridad diseñados para proteger al sistema contra presiones muy altas. La conexión de tapón fusible de la izquierda contiene un núcleo de metal suave con bajo punto de ebullición. En caso de incendio, el metal blando se fundiría permitiendo que escapara el gas a la atmósfera antes que se acumulen presiones peligrosas.

La conexión de disco de ruptura del lado derecho de la figura R14-19 se diseña para el mismo objeto que la del tapón fusible, pero de distinta manera. El disco de ruptura consiste en un trozo delgado metálico que debe romperse a una presión inferior a la que pudiera originar condiciones peligrosas.

Muchos tanques, como por ejemplo de condensadores enfriados por agua y recipientes, tienen instalados de fábrica tapones fusibles o discos de ruptura, ya que esos sistemas están en interiores, donde hay personas. A los sistemas

enfriados por aire no se les coloca normalmente lo anterior. Las conexiones de seguridad se instalan en o cerca del condensador externo, para descargar al exterior.

PROBLEMAS

- R14-1. Un separador de aceite remediará todos los problemas de retorno de aceite, ¿Cierto o falso?
- R14-2. A veces los silenciadores se pueden necesitar. ¿En qué tipo de compresor?
- R14-3. Los silenciadores se deben instalar sólo en dos posiciones. Dar el nombre de ellas.
- R14-4. Dar el nombre de los dos objetivos principales de un intercambiador de calor.
- R14-5. ¿Cuáles son los dos objetivos que se persiguen al instalar un colador-secador?
- R14-6. Dar el nombre de dos tipos de coladores-secadores.
- R14-7. ¿Cuál es el *objeto principal* de un acumulador?
- R14-8. Dar el nombre de tres tipos de calentadores de cárter tipo resistencia.
- R14-9. ¿Cuál es el objeto de un calentador de cárter?
- R14-10. Un indicador de humedad revela la presencia de agua en el sistema al cambiar de _____.
- R14-11. ¿Qué controla la válvula de regulación de agua?
- R14-12. Una válvula solenoide se puede instalar en cualquier lugar conveniente. ¿Cierto o falso?
- R14-13. Un regulador de contrapresión se usa para (escoja una opción):
a) Proteger al compresor contra una presión de succión demasiado baja.
b) Regular la presión diferencial.
c) Evitar que la temperatura de funcionamiento del serpentín suba demasiado.
d) Evitar que la temperatura de funcionamiento del serpentín sea demasiado baja.
- R14-14. ¿Cuál es la diferencia entre un regulador de contrapresión y un regulador de presión de evaporador?
- R14-15. ¿Cuál es el objeto de instalar una válvula de alivio?
- R14-16. ¿Cuál es el objeto de instalar un tapón fusible?
- R14-17. ¿Cuál es la diferencia de funcionamiento entre una válvula de alivio de presión y un tapón fusible?
- R14-18. ¿Cuál es la diferencia entre una válvula de alivio de presión y un disco de ruptura?



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN

R15-1 GENERALIDADES

El ciclo de refrigeración mecánico que se ha visto antes, se basa en el empleo de un compresor como fuente de energía para hacer pasar calor de un lugar a otro. Hay un método diferente de mover el calor, o refrigerar, que se llama *ciclo de refrigeración por absorción*.

Los enfriadores de líquidos por absorción, como el que se ve en la figura R15-1, emplean calor como fuente de energía. Los medios de calentamiento normales son vapor o agua caliente, y se producen en fuentes diversas como por ejemplo.

1. Calentadores de agua que sólo se usen en invierno.
2. Calentadores nuevos que se instalen para calefacción y acondicionamiento de aire.
3. Vapor de baja presión o agua caliente que se usen en una planta industrial para procesos
4. Calor de desecho recuperado de los gases de escape de motores de combustión o turbinas de gas
5. Vapor de baja presión de escape de turbinas de vapor.

El uso de calor de desecho para hacer funcionar el enfriador por absorción da como resultado un sistema muy barato en su adquisición y funcionamiento. Ya hay sistemas que usan energía solar para calentar agua. Los resultados de esas aplicaciones pueden hacer que haya aún más interés en el uso de equipos de absorción como parte de métodos de conservación de energía.

Otras ventajas son niveles de ruido y vibración muy bajos en comparación con los sistemas mecánicos, lo que los hace ideales para instalación en casi cualquier parte de una construcción, o en el techo. Se dispone de unidades comerciales que van de 25 hasta más de 1000 ton. Las unidades de aire acondicionado por absorción para residencias se consiguen entre los límites de 3 a 10 ton.

R15-2 FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento del sistema de absorción depende de dos factores: un refrigerante (agua) que hierve o se evapora a una temperatura inferior que la del líquido que se esté enfriando, y un absorbente (bromuro de litio) que tiene una gran afinidad por el refrigerante.

El refrigerante (agua) en una bandeja abierta hierve o se evapora a 212 °F (100 °C) a la presión del nivel del mar (14.7 psia) cuando se le aplica calor. Si se coloca una tapa hermética a la bandeja podemos hacer que aumenten la presión y la temperatura de ebullición. Si, por otro lado, creamos vacío en el recipiente hermético con agua, la evaporación se llevará a cabo a una presión y temperatura menores (consulte de nuevo el capítulo R3). Todo lo que tenemos que hacer es remplazar la bandeja cerrada con un enfriador de absorción y la temperatura deseada en el evaporador determinará el vacío que se debe mantener.

Como absorbente se podrían usar muchas sales. La sal común de mesa (cloruro de sodio) es un absorbente. Usted sabe lo que sucede con un salero cuando el clima es húmedo; se tapa porque la sal ha absorbido humedad del aire.

El cloruro de calcio es otra sal, que se usa con frecuencia en caminos de terracería o canchas de arcilla para tenis, para hacer que se asiente el polvo. El cloruro de calcio absorbe humedad del aire, la cual mantiene húmedas las superficies de la carretera o de la cancha.

El bromuro de litio también es una sal y cuando está seca es de forma cristalizada. Se llevaron a cabo pruebas con muchas sales antes de seleccionar al bromuro de litio como el que posee las mejores características generales para empleo en heladeras de gran capacidad por absorción.

Para este empleo, los cristales de bromuro de litio se disuelven en agua y el nombre de la mezcla obtenida es *solución de bromuro de litio*. Las cantidades de bromuro de litio y de agua se expresan en peso, y no en volumen. La concentración de la solución se expresa en porcentaje de bromuro de litio en la solución total. Una concentración de 65% quiere decir que el 65% del peso total es bromuro de litio.

El absorbente (bromuro de litio) sirve como vehículo para absorber y transportar al refrigerante (agua) de una parte del sistema en donde no se le necesita a otra en la que se puede recuperar para usarse de nuevo.

EJEMPLO

Por cada 100 lb de solución al 65% hay 65 lb de bromuro de litio y 35 lb de agua.

$$100 \text{ lb (solución)} \times 65/100 = 65 \text{ lb de bromuro de litio}$$
$$100 \text{ lb (solución)} - 65 \text{ lb de bromuro de litio} = 35 \text{ lb de agua}$$

R15-3 CONJUNTO

El enfriador de líquidos por absorción, que se ve en la figura R15-1, consiste en dos recipientes principales. El recipiente superior contiene al generador y condensador y se mantiene a un vacío aproximado de un décimo de la presión atmosférica (1.470 psia).

El recipiente inferior contiene al evaporador y absorbedor y se mantiene a un vacío aproximado de un centésimo de la presión atmosférica (0.147 psia).

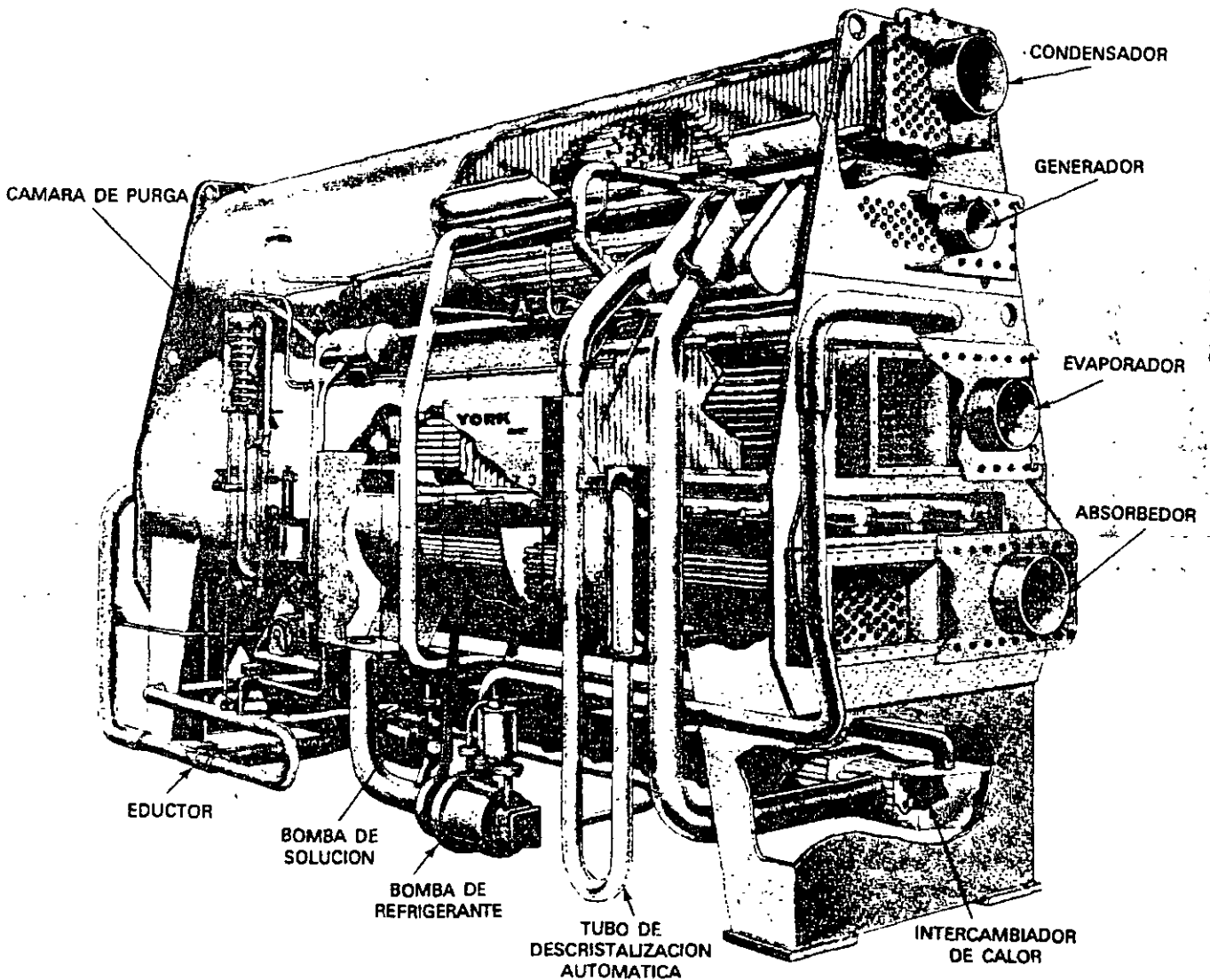


FIGURA R15-1 Enfriador de líquido por absorción. (Cortesía de Borg-Warner Air Conditioning, Inc.)

R15-4 COMPONENTES

Todos los enfriadores por absorción tienen cuatro componentes básicos de intercambio de calor los cuales, cuando están correctamente balanceados, enfriarán un líquido a la temperatura deseada. Los componentes son:

1. Evaporador
2. Absorbedor o absorsor
3. Generador
4. Condensador

Además, hay componentes auxiliares que ayudan a los cuatro componentes básicos a llevar a cabo sus funciones respectivas. En forma normal son:

1. Un intercambiador de calor
2. Dos bombas de líquido
3. Una unidad de purga
4. Una bomba de vacío
5. Un dispositivo automático de descristalización
6. Una válvula de control de solución
7. Una válvula de vapor o agua caliente
8. Un eyector o educor
9. Un centro de control

Todo esto parece bastante complicado, hasta que se examinan uno por uno.

En esta descripción se mencionan determinadas temperaturas y presiones para permitir una mejor comprensión del trabajo que efectúa cada parte del sistema. Estas condiciones del sistema son aproximadas y pueden variar en el caso de otras temperaturas de agua fría que sale, temperaturas a las cuales se enfría el agua, condiciones de vapor, etc.

R15-4.1 Evaporador

El objeto del evaporador es enfriar un líquido para uso en un sistema de refrigeración o aire acondicionado. Supongamos una aplicación típica (véase figura R15-2). El agua entra al evaporador a 56 °F (13 °C) y se debe enfriar a 44 °F (7 °C) Para lograr lo anterior el recipiente inferior se mantiene a una presión de 6 mm Hg (0.117 psia). Bajo esas condiciones el refrigerante, agua, se evaporará a 39 °F (4°C) y con ello se obtiene una diferencia de temperaturas lo suficientemente grande como para enfriar al agua a 44 °F (7 °C). Como el refrigerante (agua) puede evaporarse con más facilidad si se desintegra en gotas pequeñas, se usa un sistema de recirculación con bomba. El refrigerante (agua) entra a la parte superior del recipiente inferior, y se evapora parte de ella al entrar en contacto con los tubos relativamente calientes, y el líquido que no se evapora se junta bajo los tubos del evaporador. Una bomba hace recircular este refrigerante, pasando por un cabezal de toberas sobre los tubos del evaporador. Este uso emplea al máximo el refrigerante y mejora la transferencia de calor manteniendo mojada siempre la superficie de tubos.

R15-4.2 Absorbedor

El vapor de refrigerante que se forma en el evaporador pasa a través de eliminadores, que separan cualquier arrastre de refrigerante líquido. El bromuro de litio puede absorber mejor vapor de agua si se incrementa su superficie; por lo tanto, se usa una bomba para hacer circular la solución del fondo del absorbedor a un cabezal de toberas en la parte superior de éste (véase figura R15-3). El vapores absorbido por la solución de bromuro de litio, que pasa por el exterior de los tubos del absorbedor. La mezcla de bromuro de litio y agua refrigerante se llama *solución diluida*. El calor que se genera en este proceso se llama *calor de absorción*, o de hidratación. Se elimina por el agua del condensador que pasa por los tubos del absorbedor.

R15-4.3 Generador

La solución diluida del fondo del absorbedor se bombea al generador que está en el recipiente superior. La solución diluida pasa por el exterior de los tubos calientes del generador. El vapor o el agua caliente en el interior de los tubos eleva la temperatura de la solución hasta alcanzar el punto de ebullición, y evapora una parte del refrigerante. Una vez más hay dos sustancias, una solución concentrada de bromuro de litio y vapor de agua refrigerante (véase figura R15-4). El vapor de refrigerante pasa a la sección de condensación y la solución concentrada de bromuro de litio regresa al absorbedor, para ser reusada.

R15-4.4 Condensador

El vapor de refrigerante desprendido en el generador pasa por eliminadores para quitarle cualquier solución de bromuro de litio que haya sido arrastrada. Se mantiene una presión de 70 mm Hg (1.346 psia) en el recipiente superior, lo cual hace que el refrigerante se condense a 112 °F sobre los tubos del condensador (véase figura R15-5). Se usa agua en el condensador, la cual después de pasar por los tubos del absorbedor va al interior de los tubos del condensador. El refrigerador condensado fluye por gravedad y por diferencia de presiones a través de un orificio al evaporador. Esta agua, y la que recircula la bomba de refrigerante, se distribuye sobre los tubos del evaporador para completar el ciclo del refrigerante.

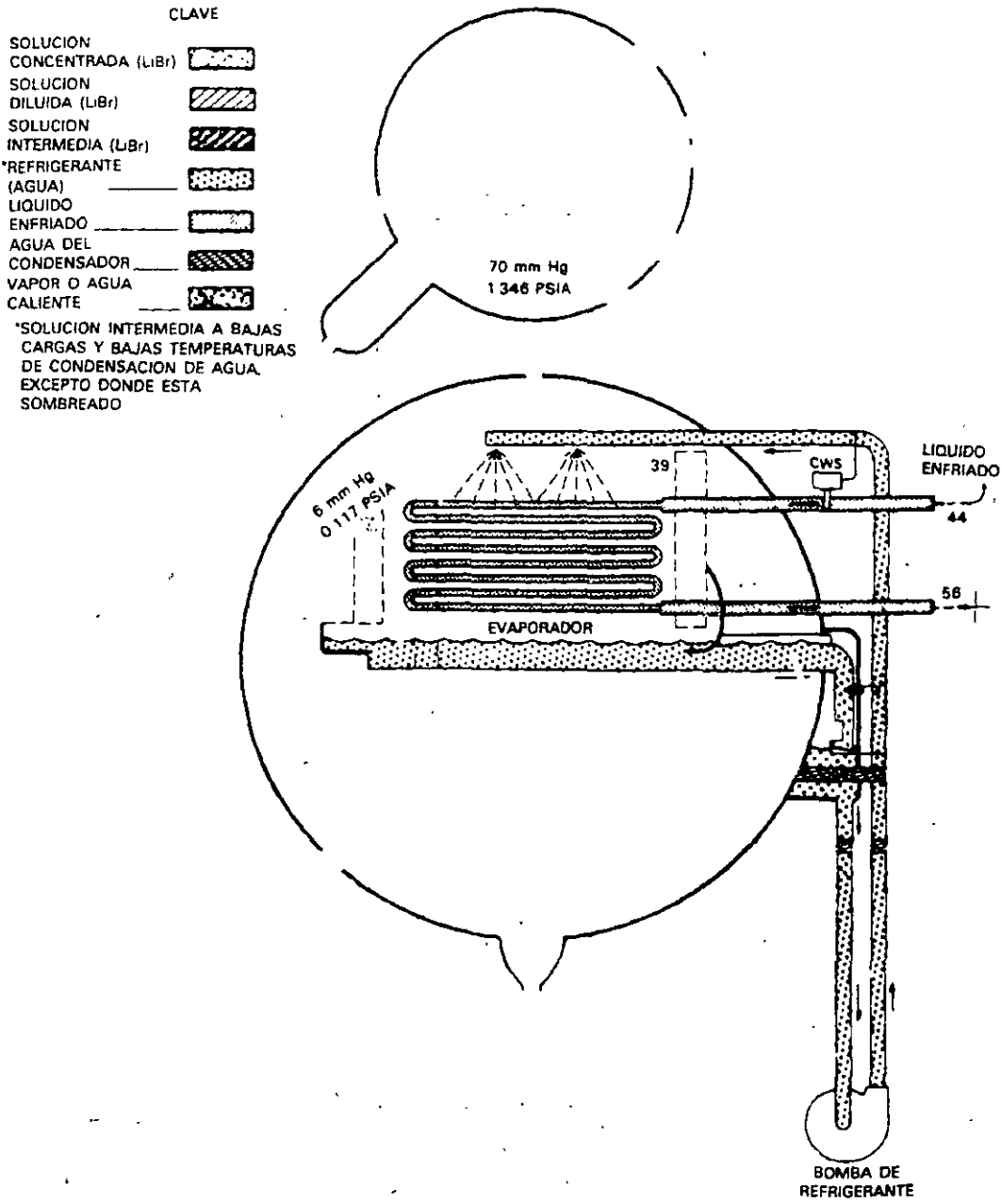


FIGURA R15-2 (Cortesía de Borg-Warner Air Conditioning, Inc.)

R15-5 ACCESORIOS

R15-5.1 Intercambiador de calor

Para hacer más eficiente al ciclo de absorción, se agregan normalmente algunos artículos accesorios; el primero es un *intercambiador de calor* en el tubo entre el absorbedor y el generador (véase figura R15-6). El intercambiador de calor pone en contacto la solución caliente y concentrada de bromuro de litio que viene del generador, con la solución relativamente fría, diluida, que sale del absorbedor.

La solución diluida sale del absorbedor a una temperatura de 102 °F (38 °C) y la solución concentrada de bromuro de litio está a 214 °F (101 °C) al salir del generador.

El intercalar un intercambiador de calor mejora la eficiencia del ciclo reduciendo la cantidad de vapor o agua caliente que necesita el generador. El efecto del intercambiador de calor sobre ambas soluciones se ve con las temperaturas de la figura R15-6.

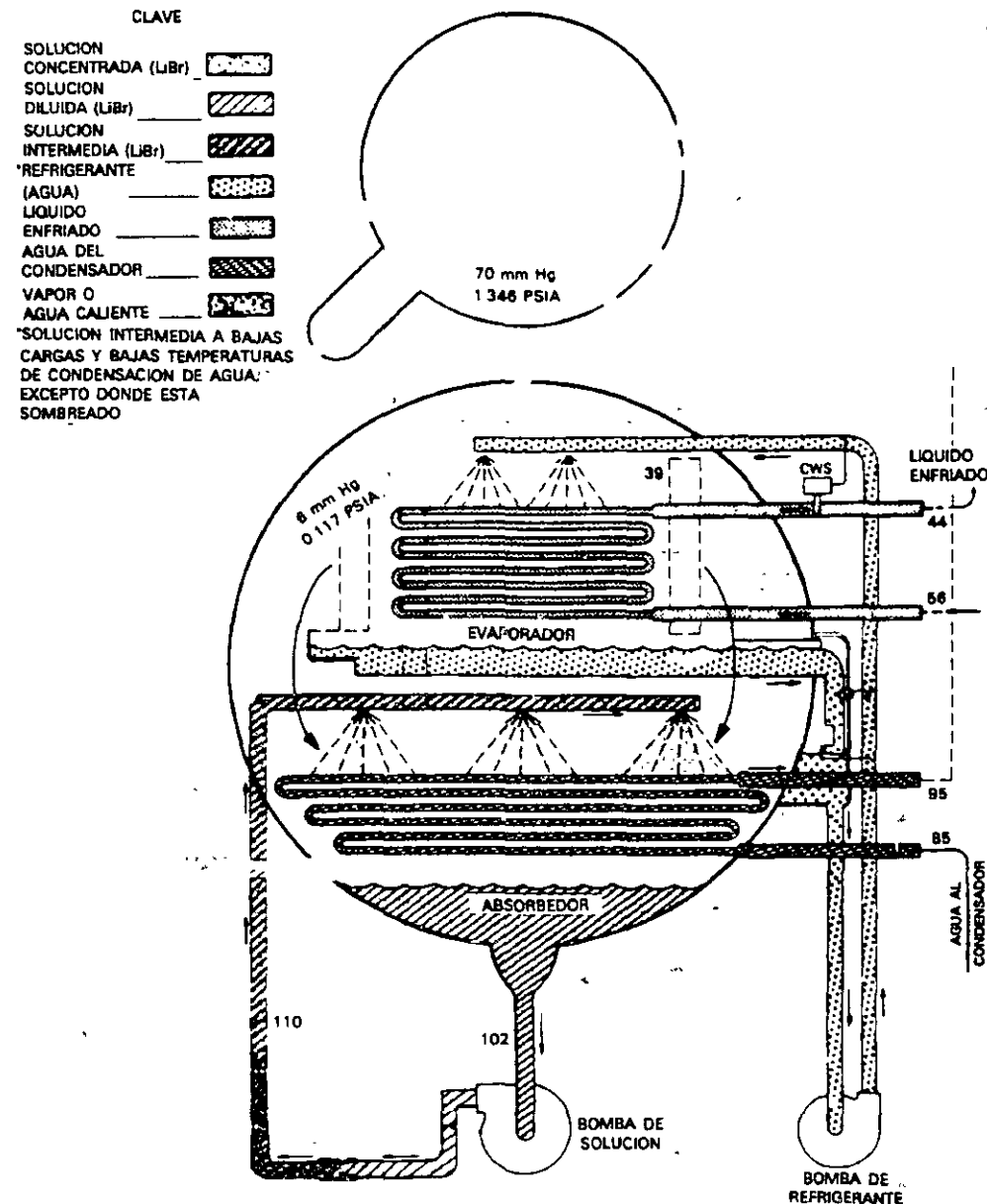


FIGURA R15-3 (Cortesía de Borg-Warner Air Conditioning, Inc.)

R15-5.2 Eductor

Un segundo accesorio es el *eductor*, que provoca la circulación del bromuro de litio sobre los tubos del absorbedor (véase figura R 15-6). Con ello se aumenta la eficiencia de absorción de vapor de agua. Una parte de la solución diluida que sale de la bomba de solución al fondo de absorbedor se pasa por el eductor; que induce la mezcla de solución diluida concentrada con solución diluida del cárcano. Esta mezcla se lleva a los cabezales de aspersión sobre el haz de tubos de absorción.

R15-5.3 Tubo de descristalización automática

Un tercer accesorio es el tubo de descristalización automática, diseñado para evitar la cristalización de la solución de bromuro de litio. Se puede presentar la cristalización cuando la solución de bromuro de litio se concentra demasiado (véase figura R15-7).

Si se parase el enfriador por absorción a causa de una falla prolongada de corriente, las temperaturas del refrigerante y de la solución de bromuro de litio alcanzarían finalmente la temperatura ambiente, y es posible que con ello cristalicen la solución concentrada del generador, intercambiador de calor y tubos de conexión. Al restablecer la corriente, el calor del vapor o del agua caliente aumenta la temperatura de la solución concentrada en el generador, haciendo que se licue (o sea, que se disuelvan los cristales). Sin embargo, la solución concentrada en las tuberías y en el intercambiador de calor permanecerá en forma de cristales, y se necesita agregarle calor para licuarla.

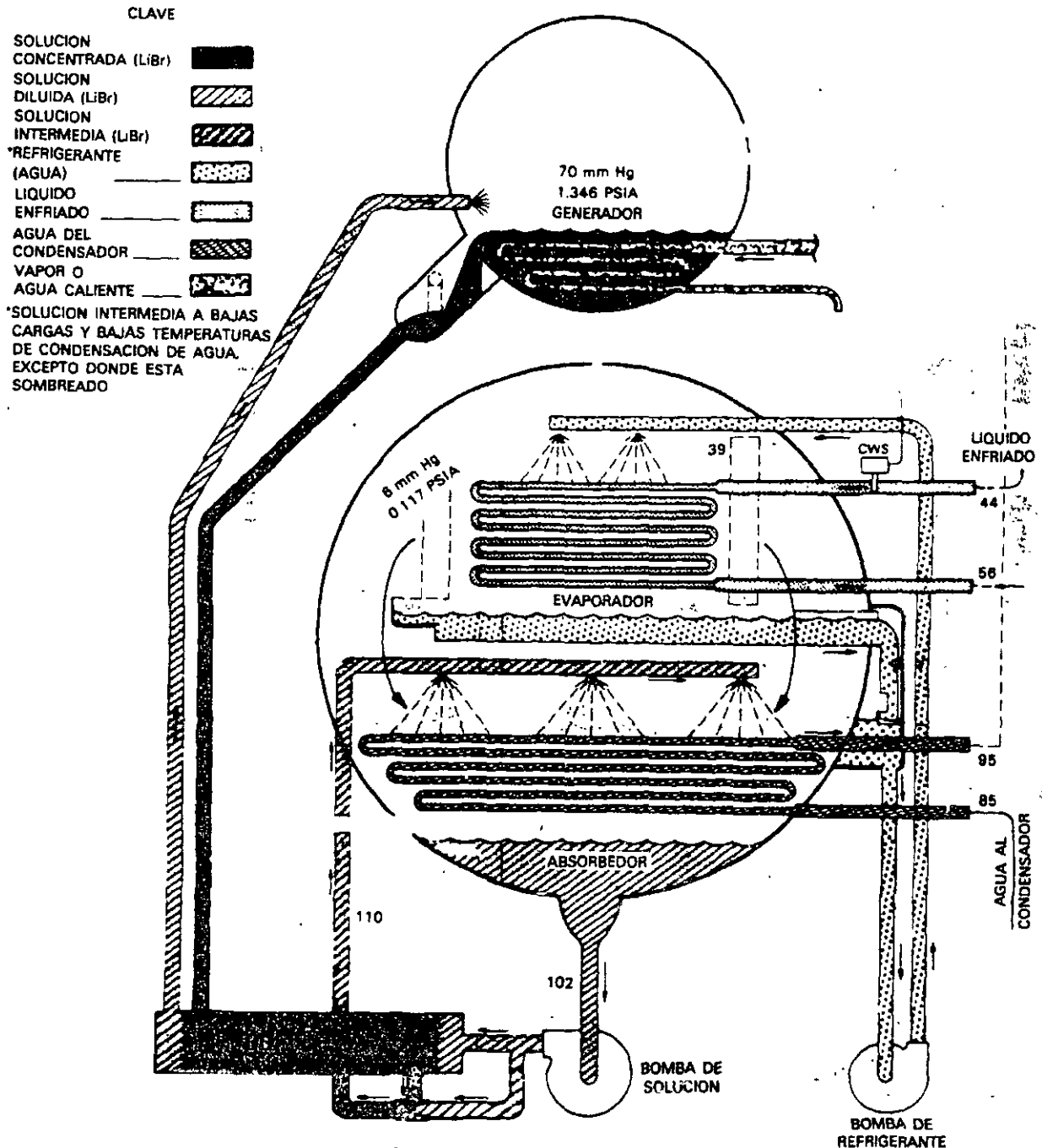


FIGURA R15-4 (Cortesía de Borg-Warner Air Conditioning, Inc.)

La solución líquida que sale del generador regresará por el tubo del lado del intercambiador de calor, del lado del generador, hasta que derrame al tubo de descristalización automática para pasar después al absorbedor. La temperatura de la solución en el absorbedor aumentará a unos 214 °F (101 °C) en lugar de a 102 °F (39 °C) Entonces ' bomba de solución manejará solución concentrada a 214 °F que pasa por el intercambiador de calor.

Este calor adicional licuará la solución en los tubos del mismo.

Cuando el flujo del generador al absorbedor se normaliza, cesará el flujo a través del tubo de descristalización automática y el sistema regresará al funcionamiento normal.

En operación normal, el tubo de descristalización automática está diseñado para tener un sello entre los recipientes superior e inferior, y evitar que se igualen las presiones.

Para mantener el tubo de descristalización listo para usarse siempre, pasa por él una pequeña cantidad de solución diluida en forma continua.

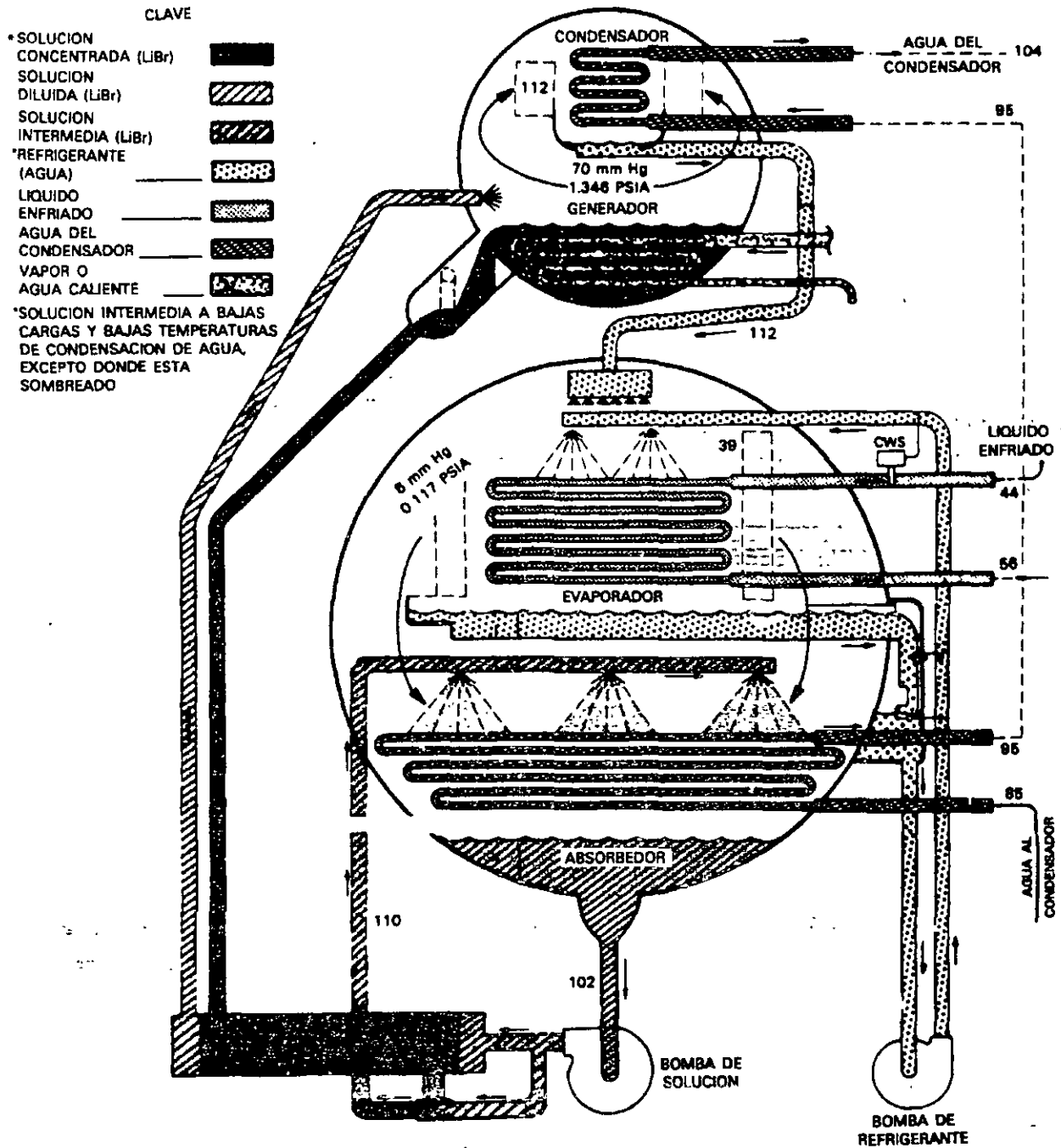


FIGURA R15-5 (Cortesía de Borg-Warner Air Conditioning, Inc.)

R15-5.4 Sistema de purga

Un cuarto accesorio es el sistema de purga, que está diseñado para eliminar gases no condensables. Estos gases se acumulan en la cámara de purga, enfriada por agua, y se eliminan poniendo a trabajar en forma periódica un compresor para purga, con motor eléctrico. La operación manual de la unidad de purga asegura que el operador conozca la cantidad de no condensables en el sistema. Si la purga fuera automática, la unidad podría tener una gran fuga que pudiera pasar desapercibida hasta que ocasionara grandes daños

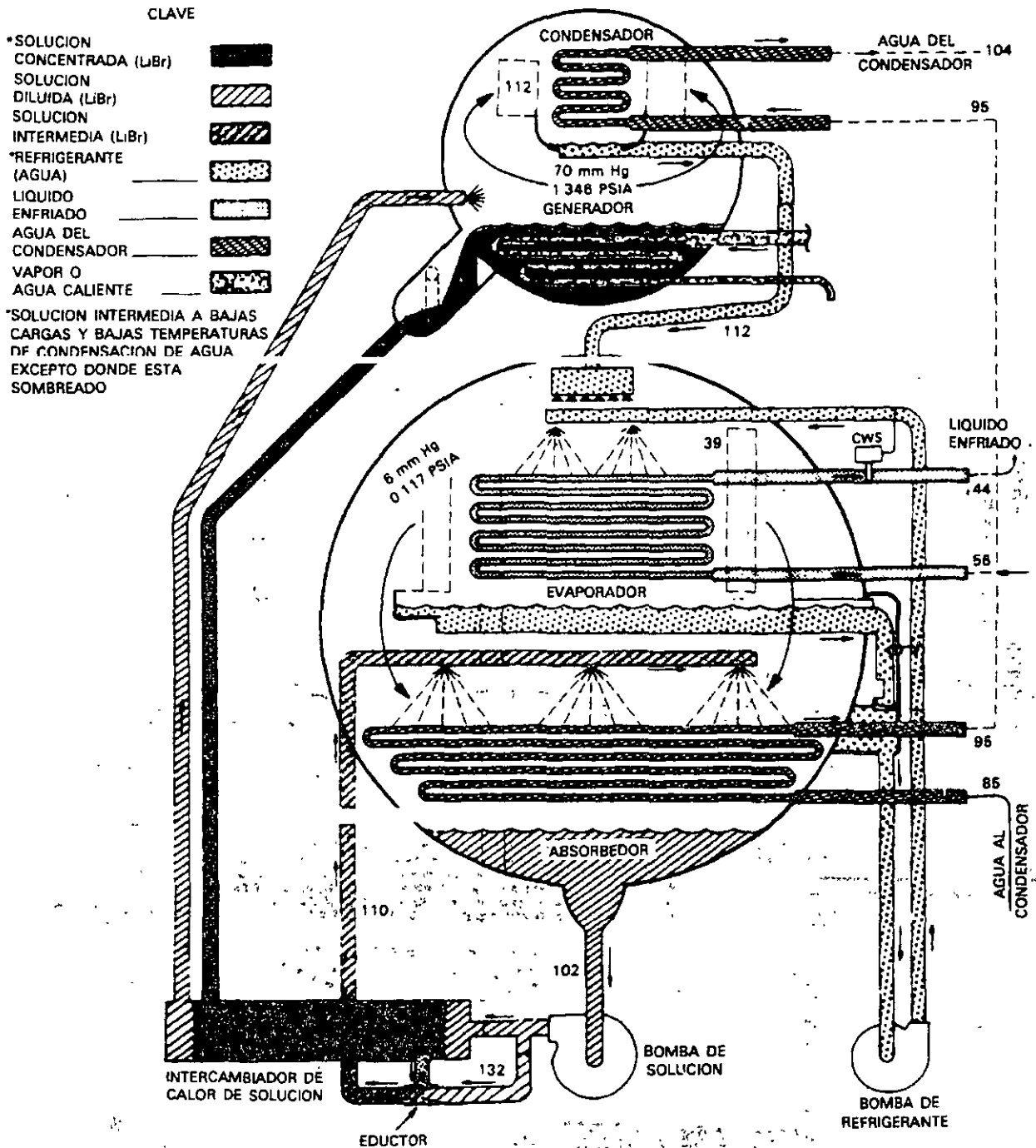


FIGURA R15-6 (Cortesía de Borg-Warner Air Conditioning, Inc.)

R15-5.5 Válvula de control

El funcionamiento del enfriador por absorción se controla mediante un quinto accesorio, la *válvula de control de vapor o agua caliente* (véase figura R15-7). Esa válvula modula para controlar el flujo a los tubos del generador. La acción de un elemento sensor en el tubo de agua helada que sale del evaporador. De este modo la energía que se suministra al generador sólo es la cantidad necesaria para producir una cantidad suficiente de refrigerante y mantener temperatura de agua helada en el sistema.

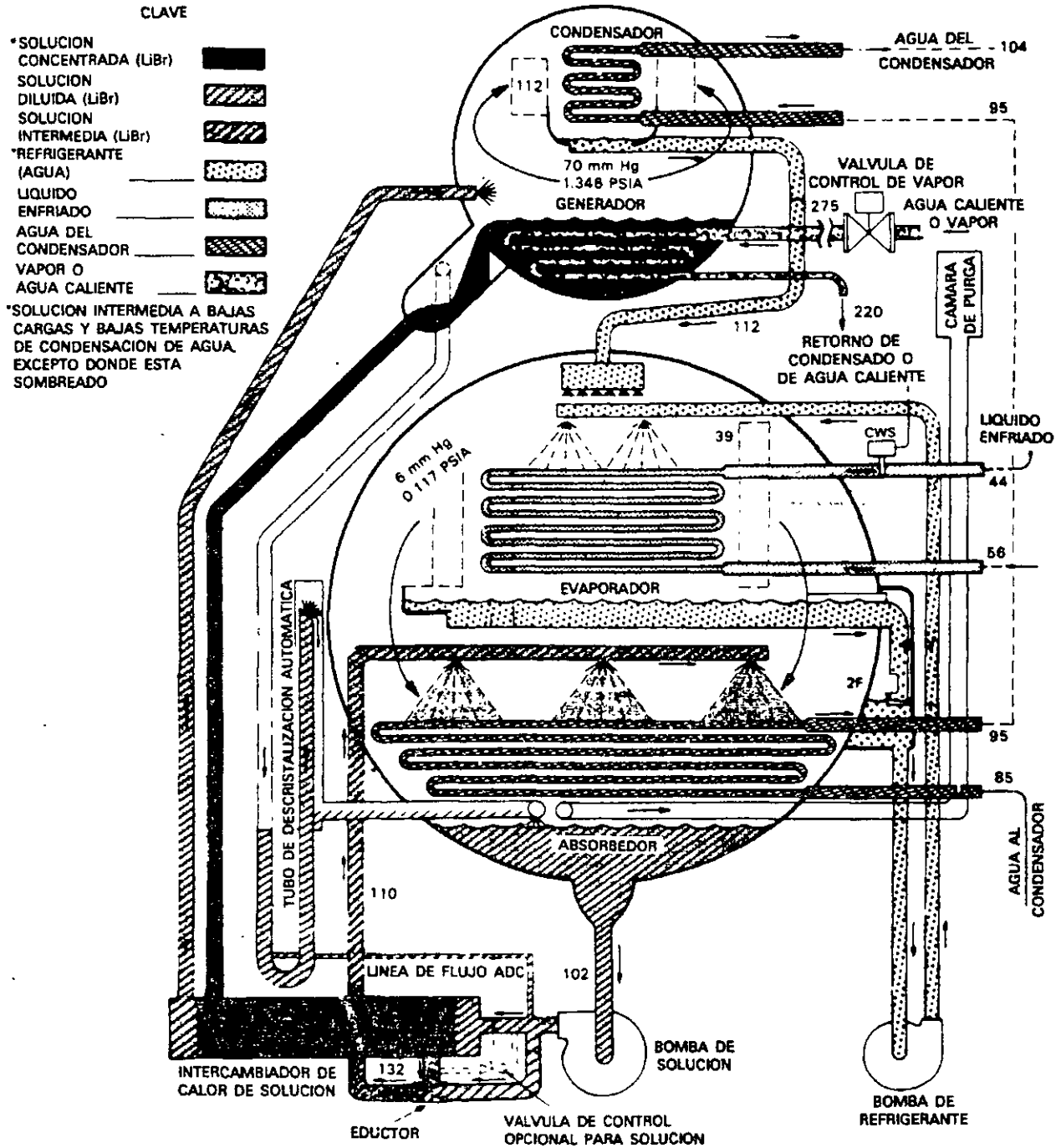


FIGURA R15-7 (Cortesía de Borg-Warner Air Conditioning, Inc.)

R15-5.6 Válvula de solución

El sistema básico comprende al evaporador, absorbedor, generador y condensador, así como al intercambiador de calor, tubo de des cristalización, eductor, unidad de purga y válvula de control, todos los cuales son equipo normal de la mayor parte de las unidades. Todos ellos se necesitan para tener una operación eficiente de la unidad. Un accesorio opcional valioso es la *válvula de control de solución* (véase figura R15-7). Está diseñada para dar un funcionamiento más económico.

Bajo condiciones normales, a plena carga, 12 lb de solución diluida de bromuro de litio van al generador por cada libra de refrigerante que hierve. Al 25% de carga, si no hay válvula de solución, siguen circulando 12 lb de solución al generador, pero sólo se evapora $\frac{1}{4}$ lb del refrigerante.

Al agregar una válvula de solución se restringe el flujo de solución diluida al generador, de acuerdo con las condiciones de carga reducida. La válvula de solución está accionada por un elemento sensor en la caja de salida del generador, y mantiene una temperatura constante de solución concentrada, independiente de la carga. La válvula de solución aumenta mucho la eficiencia del sistema a carga parcial.

PROBLEMAS

R15-1. Las unidades de refrigeración por absorción emplean _____ como fuente de energía.

R15-2. En el equipo de absorción, ¿son los niveles de ruido y vibración mayores o menores que en los sistemas convencionales de refrigeración?

R15-3. ¿Qué refrigerante se usa en las unidades de absorción?

R15-4. El absorbente más común es _____.

R15-5. Dar los nombres de los cuatro componentes principales de un enfriador por absorción.

R15-6. El absorbedor, ¿contiene al evaporador, o al condensador?

R15-7. El condensador está dentro de _____.

R15-8. La función de la unidad de purga es eliminar gases _____.

R15-9. La operación de la unidad de purga, normalmente, ¿es manual o automática?

R15-10. La válvula de control modula el flujo de vapor o de agua caliente al generador. ¿Cierto o falso?



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

ELECTRICIDAD BÁSICA

**EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA**

R16-1 GENERALIDADES

El tema de electricidad necesitaría de varios libros para describir aun los aspectos básicos. Sin embargo, en los capítulos siguientes la describiremos como se aplica en la industria de refrigeración, calefacción y aire acondicionado.

R16-2 LA TEORIA ELECTRONICA

Toda materia está compuesta de átomos, que son los componentes más pequeños o básicos de las moléculas. A su vez, los átomos están compuestos de un núcleo denso y pesado que contiene *protones* y a veces *neutrones*, rodeados de partículas más ligeras que se llaman *electrones*. El protón lleva una carga eléctrica positiva (+), el electrón lleva carga eléctrica negativa (-) y el neutrón, si lo hay, no lleva carga. La atracción entre los protones con carga positiva del núcleo y los electrones con carga negativa que los rodea, tiende a mantenerlos unidos en lo que se llama *átomo* (véase figura R 16-1). El número de protones del núcleo determina el tipo de elemento. El átomo de hidrógeno, que se ve en la figura R16-1a, es el más pequeño, y tiene un protón en el núcleo y un electrón describiendo una órbita a su alrededor. El cobre (figura R 16- 1b), por otro lado, tiene 29 protones y 34 neutrones.

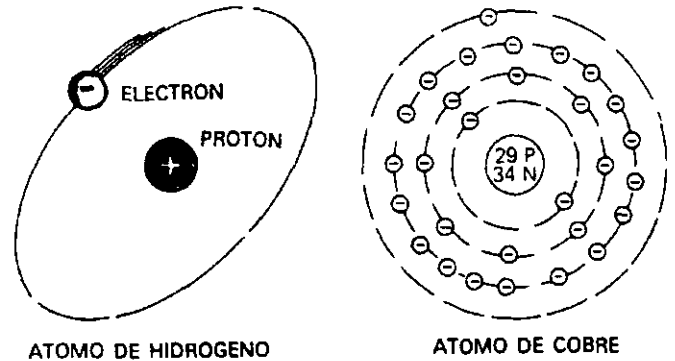


FIGURA R16-1 a) Atomo de hidrógeno. b) Atomo de cobre.

Regresando a la definición de cargas positivas o negativas, una carga positiva no indica un exceso de protones, indica que hay falta de electrones. Así, los términos *negativo* y *positivo*, quieren decir tan sólo que intervienen más o menos electrones.

Los materiales que se cargan con electricidad estática pueden atraerse o repelerse entre sí. La atracción se lleva a cabo entre cargas de signo distinto, porque el exceso de electrones de una carga negativa busca carga positiva, la cual a su vez tiene una deficiencia de electrones (figura R16-2). Las cargas de signo distinto (+y -) se atraen entre sí. Las cargas de signo igual, -y -, o +y +, se repelen entre sí.

La *electricidad estática* se entiende cuando los electrones están sin movimiento, pero tienen potencial de moverse. La *electricidad dinámica* es electrones en movimiento. Al movimiento de electrones se le llama *corriente eléctrica*.

Antes de que la teoría electrónica fuera aceptada como la base del comportamiento eléctrico, se pensaba que la corriente pasaba de lo positivo a lo negativo. Hoy se ha determinado que la corriente, o flujo de electrones, en realidad va de lo negativo a lo positivo.

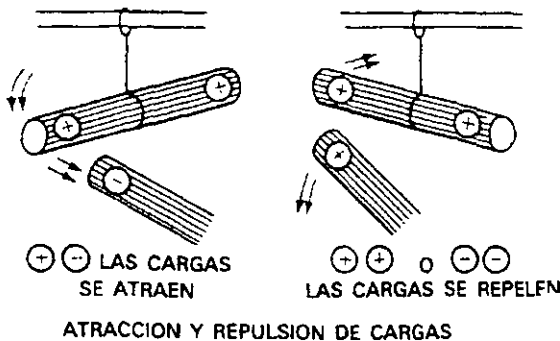


FIGURA R16-2 Atracción y repulsión de las cargas

R16-3 FUENTES DE ENERGIA ELECTRICA

Se define la energía como la capacidad de producir trabajo, y como la energía no se puede crear ni destruir, se debe convertir de una de sus formas en otra. Las fuentes de energía eléctrica pueden ser:

1. Acción química
2. Fricción
3. Calor
4. Acción de la luz
5. Presión
6. Acción mecánica

7. Acción nuclear
8. Magnetismo

R16-3.1 Acción química

El primer ejemplo de la conversión de acción química en energía eléctrica es el acumulador común que usamos en nuestros automóviles, o las pilas de las lámparas sordas, instrumentos de prueba, equipos de comunicación, radios, calculadoras, etc. Las pilas se dividen en dos tipos: recargables, o tipo *secundario*, y las de un solo uso, o de tipo *primario*, como las de las linternas, instrumentos de prueba, etc.

Los acumuladores recargables fueron el primer tipo de pilas recargables que se desarrolló y usan una caja de hule duro o plástico, no porosa, con una solución de ácido sulfúrico y agua. A esta solución se le llama *electrolito*. En ella se suspenden placas de plomo esponjoso y peróxido de plomo. Esas placas se llaman *electrodos*. La acción química de la solución de ácido sulfúrico y agua, el electrolito, hace que los electrones salgan del electrodo de peróxido de plomo y lo dejen con faltante de electrones. Con ello se crea una carga positiva en el electrodo.

Los electrones libres se depositan entonces en el electrodo de plomo esponjoso. Esto provoca un exceso de electrones libres en ese electrodo y éste adquiere carga negativa en comparación con la carga positiva en la placa de peróxido de plomo. Se desarrolla entonces una diferencia de voltaje, o potencial, entre las placas

La figura R 16-3 muestra un acumulador de plomo de dos placas con un circuito externo que consiste en un foco controlado por un interruptor. Estando abierto el interruptor, no existe circuito eléctrico y por lo tanto no hay paso de electricidad. Cuando se cierra el interruptor, se completa la trayectoria eléctrica. La electricidad (o sea, los electrones libres) pasa del electrodo de plomo esponjoso de carga negativa, al electrodo de peróxido de plomo con carga positiva pasando por el circuito eléctrico y la carga, que es el foco. En el foco, la energía eléctrica pasa a energía térmica, haciendo que brille el filamento, y se emita luz.

Las reacciones químicas entre los electrodos y el electrolito siguen. Esas reacciones suministran electrones libres, en forma constante, al electrodo negativo y los sacan del electrodo positivo. Así continúa pasando la energía eléctrica por el circuito. Como el flujo eléctrico es constantemente en una dirección, del electrodo negativo al electrodo positivo a través del circuito y la carga conectados, a este tipo de energía eléctrica se le llama *corriente directa* (cd).

La energía eléctrica se puede tomar del acumulador sólo mientras exista un suministro de electrones libres en el electrodo positivo. La remoción de electrones transforma, en forma gradual, al electrodo, de peróxido de plomo a sulfato de plomo. Cuando el electrodo se ha transformado por completo en sulfato de plomo, se detiene la acción y el acumulador está "muerto".

Antes de morir por completo el acumulador, es posible "recargarlo" con una fuente externa de corriente. Esta podría ser el alternador y los diodos del automóvil, o un cargador de acumuladores, o hasta otro acumulador cargado. Al empleo de otro acumulador se le llama "puentear" el acumulador. Para recargarlo, se impulsa la energía eléctrica de regreso a través del acumulador, y los electrones regresan del electrodo negativo al positivo a través del electrolito. Así, se restauran el peróxido de plomo del electrodo positivo y el plomo esponjoso del electrodo negativo. El acumulador está en su estado original y todavía se puede recargar.

La capacidad que tienen los acumuladores de almacenar energía en forma química para usarse en forma de energía eléctrica cuando se desea es lo que da significado al nombre "acumulador". Recuérdese que no hay "energía eléctrica" en los acumuladores; sólo se trata de energía química que se convierte en energía eléctrica cuando se desea.

Una celda única puede producir sólo 1.5 V de electricidad, y por lo tanto se combinan dos o más celdas para tener mayor voltaje o potencial. Al conjunto de las celdas se le llama *batería*. Un acumulador de motocicleta de 6 V tiene cuatro celdas, ya que $4 \text{ celdas} \times 1.5 \text{ V por celda} = 6 \text{ V}$. Un acumulador de auto de 12 V tiene ocho celdas: $8 \text{ celdas} \times 1.5 \text{ V por celda} = 12 \text{ V}$.

A diferencia del acumulador, que es recargable, las pilas o baterías que se usan en lámparas sordas e instrumentos de prueba son del tipo desechable. La figura R16-4 muestra la construcción de una "pila seca" desechable. Se llama *seca* porque el electrolito está en forma de pasta, y no es líquido como en el caso del acumulador de plomo. La acción es la misma, porque los electrones libres se retiran del electrodo positivo (barra de carbón) y pasan al electrodo negativo (caja de zinc) cuando hay demanda de energía eléctrica. Esta acción continúa hasta que todos los electrones libres dejan la barra de carbón y queda muerta la pila.

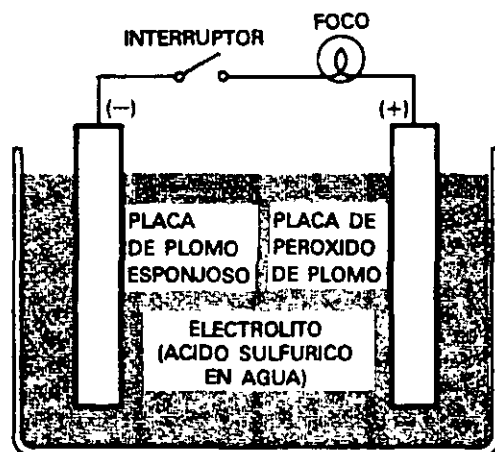


FIGURA R16-3 Celda de un acumulador de plomo. (Cortesía de American Gas Association.)

Débedo a la gran pérdida de energía en forma de calor, al igual que a la formación de gases durante el proceso de carga, se produce una temperatura lo suficientemente alta como para producir ebullición de la pasta, y puede obreenir una explosión debida a la presión inducida. Cuando la pila se marca explícitamente como no recargable, no e debe recargar, porque puede ser extremadamente peligroso.

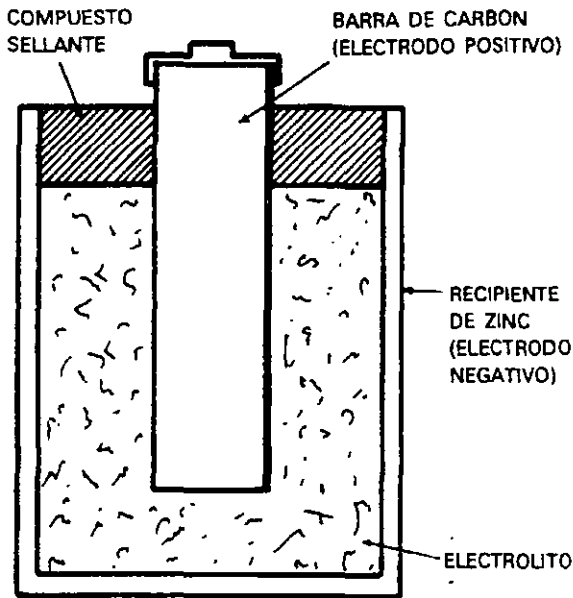
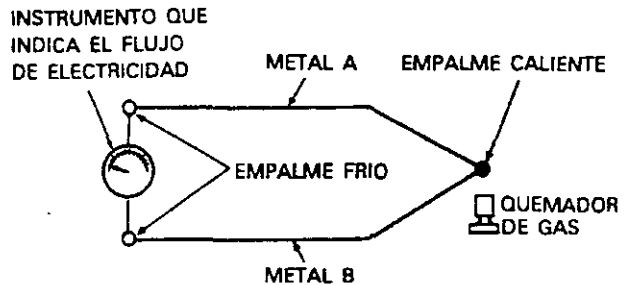
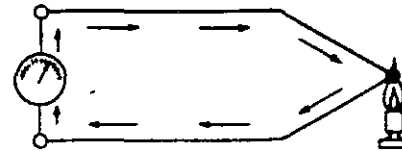


FIGURA R16-4 Esquema de una pila seca (Cortesía de American Gas Association.)



A. NO SE CALIENTA EL EMPALME CALIENTE: NO SE PRODUCE ELECTRICIDAD



B. SE CALIENTA EL EMPALME CALIENTE: PASA ELECTRICIDAD POR EL CIRCUITO

FIGURA R16-5 Efecto termoeléctrico. (Cortesía de American Gas Association.)

R16-3.2
Acción del calor

Cuando se unen por fusión dos conductores de distintos materiales en uno de sus extremos y se crea una diferencia de temperaturas entre ambos extremos calentando los extremos unidos, se crea un voltaje (potencial) eléctrico entre los extremos libres. A los extremos que se calientan se les llama *empalme caliente*, y a los extremos fríos, *empalme frío*. Mientras mayor sea la diferencia de temperaturas entre los empalmes, mayor será el voltaje. A este efecto se le llama *efecto termoeléctrico* (termo = temperatura), y a un par único de conductores que se usa para este fin se le llama *termopar*. La figura R16-5 muestra el efecto termoeléctrico en un termopar calentado. El voltaje que produce un solo termopar es muy pequeño, de 0.15 a 0.35 V, pero hasta a este voltaje pequeño el termopar ha sido un dispositivo importante en el desarrollo de la industria de los gases.

Un termopar se puede usar como dispositivo de medición de temperaturas muy sensible, debido al hecho que el voltaje que se desarrolla depende de la ΔT entre los empalmes caliente y frío. También, las diversas combinaciones de metales producen distintos voltajes a una temperatura dada; o bien, a la inversa, el mismo voltaje a una diversidad de temperaturas. Así, se pueden preparar tablas para el empleo de un solo instrumento, como un voltímetro calibrado en escala de temperaturas, para indicar los diversos límites de temperatura empleando las combinaciones adecuadas de metales.

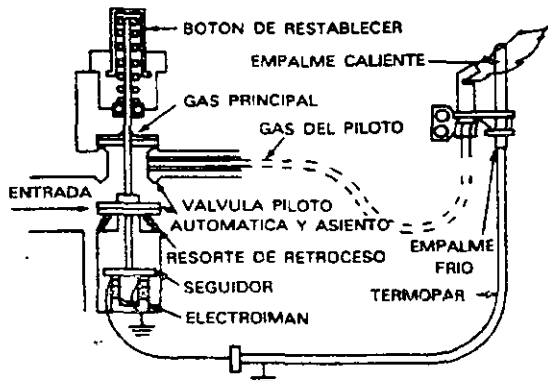


FIGURA R16-6 Empleo del termopar en el piloto automático. (Cortesía de American Gas Association.)

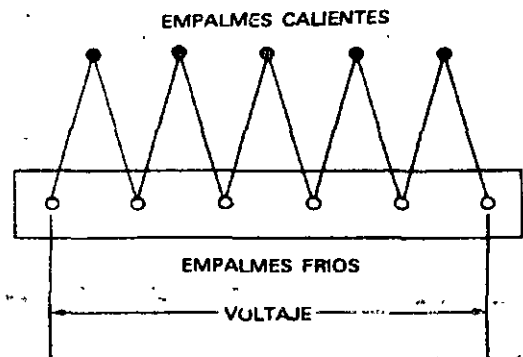


FIGURA R16-7 Una termopila está formada por muchos termopares conectados entre sí para que el efecto eléctrico sea aditivo. (Cortesía de American Gas Association.)

De importancia mayor todavía para la industria de los gases es el empleo muy difundido de termopares en los controles de gas, como por ejemplo los dispositivos automáticos piloto de seguridad. La figura R16-6 muestra el empleo de un termopar en un dispositivo piloto automático. El empalme caliente del termopar lo calienta la flama de un piloto de gas. El empalme frío se mantiene así mediante algo del aire de combustión que entra después al quemador principal, después de haber pasado por el cuerpo del termopar. Así es como se mantiene la diferencia de temperaturas entre los empalmes caliente y frío.

No obstante que sólo se producen 0.15 a 0.35 V en el termopar, ese voltaje es adecuado como para producir el suficiente flujo de electricidad a través del electroimán para sujetar al seguidor entre las caras polares del imán. Así, la válvula piloto de seguridad se mantiene abierta siempre y cuando la flama piloto siga "calentando el empalme caliente". Si por algún motivo la parte caliente de la flama del piloto deja al empalme caliente, sea porque no hay suficiente gas del piloto, o que haya demasiado gas, o que haya demasiada corriente de aire que sopla la flama, a aleja y la apaga, se enfría el empalme caliente. La salida del termopar baja y el flujo de corriente también hasta que el poder del electroimán es menor que la fuerza del resorte. Se fuerza al seguidor a que deje los polos del electroimán y cierra la válvula de seguridad del gas.

En aquellas aplicaciones en las que se necesita mayor voltaje de termopar, se puede aumentar empleando varios termopares en el mismo dispositivo que se calienta. La figura R 16-7 muestra cinco termopares conectados en serie para producir un voltaje de salida cinco veces mayor que la salida de un solo par. Este arreglo se usa en los sistemas de control "autogeneradores" en los que la válvula de gas está controlada por un termostato que usa la corriente de la termopila, y no se necesita fuente externa de corriente. Los termopares y las termopilas se describirán con mayor detalle en capítulos siguientes. Para tener una descripción completa de controles para gas, se sugiere al lector que consulte el material publicado por la American Gas Association y la Gas Appliance Manufacturers Association (Catálogo XHO175).

R16-3.3 Acción de la luz

La luz es energía y cuando choca con la superficie de una sustancia desprende electrones libres del material (electrodo positivo), que pasan al material de respaldo (electrodo negativo) creando un voltaje eléctrico. Esta celda, que se llama celda fotovoltaica, se conecta en serie y en paralelo con muchas celdas más, para producir corriente directa a partir de la energía solar.

Estas celdas se usan poco en sistemas de control ambiental. La fotocelda de un quemador de petróleo a veces se usa como ejemplo de estas celdas. Sin embargo, no produce potencial eléctrico. La presencia de luz afecta sólo la resistencia eléctrica de la celda y con ello afecta su capacidad de conducir corriente eléctrica. Esta propiedad se usa entonces en el control de un quemador de petróleo para accionar el dispositivo de cierre de seguridad.

Otro ejemplo muy común de cambio de resistencia es el empleo de una fotocelda para controlar relevadores, que a su vez controlan el alumbrado de una zona, encendiendo las luces en forma automática en el crepúsculo y apagándolas al amanecer.

R16-3.4 Presión

Si determinados materiales, como por ejemplo el cuarzo o el titanato de bario, se comprimen en ciertas direcciones, se desplazan los electrones en el material y crean una diferencia de voltaje entre las dos superficies del material. A esto se le llama efecto piezoeléctrico (efecto presión-electrónico) y a los materiales que tienen esta propiedad se les llama materiales piezoeléctricos.

La cantidad de voltaje que se desarrolla depende del cambio de presión y del tiempo en que sucede ese cambio. La mayor presión aplicada en el tiempo más corto posible es lo que produce el voltaje máximo. Así, un crecimiento uniforme, gradual, de presión, en mucho tiempo, no producirá efecto piezoeléctrico. Pero una compresión rápida o un golpe en el material producirán voltajes suficientes como para producir una chispa entre los conductores que parten de las superficies del material. Estos materiales piezoeléctricos se usan en las estufas de campaña y en lámparas, así como en los encendedores de piloto manuales "sin cerillos".

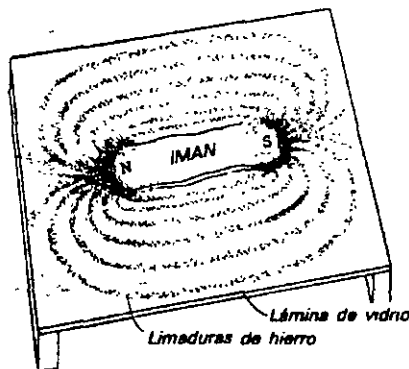


FIGURA R16-8 Imán y limaduras de hierro

R16-3.5 Acción nuclear

La acción nuclear no produce energía eléctrica útil en forma

directa, pero empleando conversión de energías se pasa a energía térmica, que a su vez produce energía mecánica. Esta energía mecánica se convierte en energía eléctrica mediante el empleo de procesos electromecánicos.

R16-3.6 Acción mecánica

Se producen grandes cantidades de energía eléctrica, mediante el proceso electromecánico, para satisfacer las necesidades residenciales, comerciales e industriales. La energía mecánica se convierte en energía eléctrica empleando unidades rotatorias llamadas generadores, que a su vez están impulsadas por diversos medios, como por ejemplo turbinas de vapor en las plantas termoeléctricas, turbinas hidráulicas en las plantas hidroeléctricas, o mediante motores de combustión interna, alternativos y rotatorios que emplean combustibles fósiles. En las plantas termoeléctricas se produce vapor mediante el quemado de combustibles fósiles o nucleares, y el vapor es el que mueve las turbinas. De este modo, la energía mecánica de la combinación turbina y generador se convierte en energía eléctrica.

R16-3.7 Magnetismo

Se hizo notar anteriormente que los objetos con cargas iguales se repelen entre sí, y con cargas diferentes se atraen. El lector recordará sus estudios de física, que un imán natural está rodeado de un campo de fuerzas. El experimento clásico es colocar un imán de barra bajo una hoja de papel o un vidrio, sobre los que descansan limaduras de hierro (figura R16-8). Las limaduras se alinean a lo largo de las líneas de fuerza que parten de un extremo del imán y regresan al otro. A un extremo se le llama *polo norte (N)*, y al otro *polo sur (S)*.

Ahora bien, si tomamos a este imán de barra y lo pasamos dentro de una bobina de alambre de cobre, como se ve en la figura R16-9, observaremos, con un galvanómetro sensible, el desarrollo de una corriente cuando el alambre de cobre, que es conductor, corta el campo de fuerzas del imán.

En la posición a, el movimiento del imán es hacia abajo y la aguja del galvanómetro se mueve hacia la derecha. Cuando el imán está en reposo (posición b), no se desarrolla corriente. Cuando el imán se mueve en dirección hacia arriba (posición c), la corriente pasa de nuevo, pero en la dirección opuesta a la que tenía en la posición a.

Este fenómeno es fundamental en toda generación eléctrica y en los motores. Cuando un conductor eléctrico corta un campo magnético, se establece una fuerza electromotriz entre los extremos del conductor. Después describiremos los principios del electromagnetismo, aplicados a generadores y motores.

R16-4 CIRCUITO ELECTRICO SENCILLO

Con una fuente de energía eléctrica potencial ya establecida, pasaremos a examinar un circuito eléctrico sencillo. El término *circuito* se debe tomar en forma literal, ya que a menos que la electricidad pueda seguir una trayectoria completa de la fuente a la carga y de regreso a la fuente, no llevará a cabo ningún trabajo, como por ejemplo encender un foco o hacer trabajar un motor. Los dos conductores en la parte inferior de la figura R16-10, marcados L1 y L2, conectan a la fuente de electricidad en este circuito.

La electricidad pasa de y hacia la fuente, a través del interruptor y por el foco (carga). Decimos que pasa electricidad. Esta idea difundida de una corriente eléctrica como flujo de electrones refleja el intento de hacer comprensibles los fenómenos eléctricos por comparación directa con una corriente de agua. Nótese el término *corriente*, que de nuevo se introduce en nuestra descripción. Para nuestros fines, es suficiente decir que cuando los electrones pasan por un material, tenemos electricidad.

Para que pase la electricidad debe haber, en la fuente, una acumulación de electrones lo suficientemente grande como para crear una presión o fuerza eléctrica. Esta acumulación de electrones se puede lograr con medios químicos, como en un acumulador, magnéticos, como en un generador, o mediante calor, como en un termopar. El

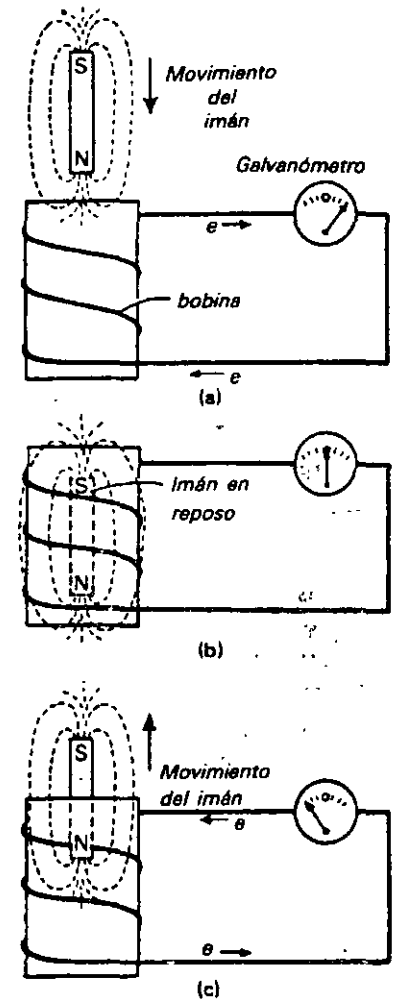


FIGURA R16-9

término adecuado para la presión eléctrica es la *fuerza electromotriz* (fem). Como la unidad de medida de la fem es el volt, la palabra *voltaje* es sinónimo de fuerza electromotriz para fines prácticos.

Como para todo movimiento, al movimiento de electrones a través de un material se le opone una fricción. Dependiendo del material esta oposición al flujo de electrones, que se llama *resistencia*, puede ser grande, moderada o baja.

Por ejemplo, el cobre ofrece baja resistencia al flujo de electrones: por lo tanto este metal es, con mucho, el conductor eléctrico que se usa con más frecuencia, sea en la forma de alambres pequeños, cables grandes, o barras de distribución gigantescas. El aluminio también es buen conductor y se usa cada vez más en trabajos eléctricos. El tungsteno, que se usa en los filamentos de los focos incandescentes, ofrece una resistencia muy alta al flujo de electrones.

La unidad de medida de resistencia eléctrica es el *ohm*. Dispositivos o, como los focos, con *alta resistencia*, se llaman *resistores* y se representan por una línea quebrada en los diagrama, eléctricos.

Si la resistencia total de un circuito es lo suficientemente grande como para evitar cualquier flujo de electrones a determinada fem, no puede pasar corriente alguna. Cuando el voltaje es lo suficientemente alto como para vencer la resistencia, los electrones pasan por el conductor y el resistor. Para fines prácticos, nos interesa conocer cuántos electrones pasan por determinado punto en un circuito durante un tiempo dado. Esta

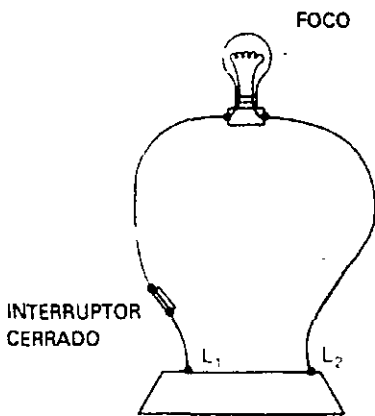


FIGURA R16-10 Circuito eléctrico sencillo

rapidez de flujo de electrones se llama *corriente*.

La unidad de medida de la corriente es el *ampere*, que muchas veces se le representa por *amp*.

Resumiendo:

- La fuerza electromotriz se expresa en volts.
- La resistencia eléctrica se expresa en ohms.
- La corriente, que es la rapidez de flujo eléctrico, se expresa en amperes.

Aplicamos esta información al circuito eléctrico sencillo de la figura R16-11. Un voltímetro indica que la fuerza electromotriz es 120 V; un amperímetro indica que la corriente es 0.6 A. Es obvio que la fem es suficiente para hacer que pase la corriente a través de la resistencia total que ofrecen los conductores y el foco. La resistencia total se puede medir con un óhmetro, o se puede calcular con facilidad; más adelante se describirán estos cálculos.

Con la misma corriente pasando por los conductores de alambre, el interruptor y el foco, ¿por qué es que todos ellos no se calientan lo suficiente y emiten luz? Recordemos que las distintas sustancias ofrecen distintas resistencias al paso de los electrones. Dicho de otro modo, un alambre de cobre y un alambre de tungsteno del mismo diámetro y longitud pueden pasar ambos 0.6 A bajo una presión de 120 V. Pero los electrones deben trabajar más para pasar por el tungsteno, de alta resistencia, que por el cobre, de baja resistencia. En este caso, el trabajo mayor ocasiona calor y luz.

Un óhmetro mostrará que la resistencia de los conductores de cobre es prácticamente cero; la resistencia de un foco de 25 W es unos 570 Ω , cuándo está encendido. Es obvio que la corriente puede pasar más fácilmente a través del cobre que a través del filamento de tungsteno del foco.

Si el resistor (foco) no estuviera en el circuito, y sólo estuviera conectado alambre de cobre a la fem, pasaría demasiada corriente (demasiados amperes) y el alambre de cobre se sobrecalentaría y quemaría, o se quemaría un fusible; las razones de ello se explicarán más adelante. Tendríamos, de hecho, un cortocircuito.

Se tiene un corto cuando la corriente toma una trayectoria por accidente, que no pasa por las cargas normales del circuito, y hace que la resistencia total baje casi hasta cero. Si L1 y L2 estuvieran desnudos y se tocaran por accidente, por ejemplo, o si se instalara un puente de alambre de cobre antes del resistor, como se ve en la figura R16-12, la corriente tomaría el camino de mínima resistencia y nunca llegaría al foco. Como la resistencia del alambre de cobre es baja, pasarían tantos amperes que pronto se sobrecalentaría el cobre, altamente conductor.

Se tiene un *circuito abierto* cuando, por cualquier motivo, se rompe la trayectoria del flujo de corriente. Si se tira del interruptor se abre el circuito. Un alambre roto o un filamento roto en el foco tienen el mismo efecto.

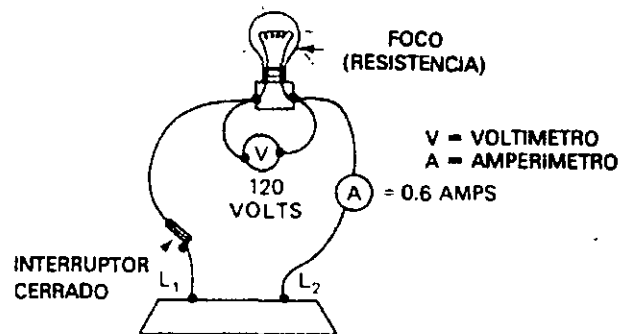


FIGURA R16-11

Aunque algunas sustancias son no conductoras en sentido práctico, se puede hacer que la corriente pase por cualquier material si se aplica la suficiente fem (voltaje). Así, si el interruptor estuviera abierto y se aplicara más y más voltaje por L_1 y L_2 , en determinado punto saltaría una chispa a través de los contactos abiertos del interruptor, y con ello se sabría que la corriente ha pasado por el espacio de aire. Aunque en forma normal el aire es no conductor, pasará por la corriente si el voltaje es lo suficientemente elevado. Se puede hacer que rayos artificiales recorran cientos de pies a través del aire.

Se dice que un circuito se *cierra* cuando se hacen todos los contactos necesarios para permitir un flujo normal de corriente a través de conductores y cargas. El término no se debe malinterpretar como que el circuito se cierra al paso de la corriente, como cuando una válvula cierra el flujo de agua. El circuito de la figura R16-10 está cerrado, y la corriente pasa a través de contactos adecuados y conductores y carga conectados en forma adecuada.

R16-5 LEY DE OHM

La relación, en realidad la interdependencia, entre la fuerza electromotriz, resistencia y corriente se indica claramente en la definición formal de un volt: es la fuerza electromotriz necesaria para hacer que pase 1 ampere de corriente a través de una resistencia de 1 ohm.

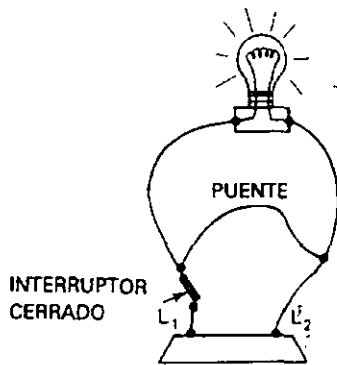


FIGURA R16-12

Esta relación se expresa con mayor claridad aún en la *ley de Ohm*, que recibe el apellido del científico alemán Georg Simon Ohm, quien desarrolló estas relaciones matemáticas al principio del siglo XIX. Enunciada de manera práctica, la ley de Ohm establece que mientras mayor sea la fem, mayor será la corriente; mientras mayor sea la resistencia, menor será la corriente.

En forma matemática, la relación se enuncia: I es igual a E entre R .

siendo I el símbolo de corriente en amperes, E el símbolo de fem en volts, y R el símbolo de resistencia en ohms

Supongamos que, en el circuito sencillo de la figura R16-13, el símbolo de resistencia representa una plancha eléctrica, y no un foco como era en nuestra descripción anterior. Con un óhmetro determinamos que la resistencia es 15Ω . Acatando lo que dice la compañía eléctrica, o empleando un voltímetro, determinamos que el voltaje es 120 V. ¿Cuántos amperes tomará la plancha?

$$I = E/R$$

Si se sustituye la plancha con un foco de 100 W, veremos que la resistencia del foco sería del orden de 145Ω . Con la misma fem, ¿cuántos amperes tomará el foco de luz?

$$I = E/R = 120/15 = 8 \text{ A}$$

Es obvio que mientras menor sea la resistencia, a un voltaje dado, mayor será la corriente que pasa. Teóricamente, cuando la resistencia tiende a cero, la corriente tiende a infinito.

Si, en nuestro circuito sencillo, hacemos un corto para sacar la resistencia del circuito, la acción de los 120V será casi contra cero resistencia y pasarán cientos de amperes hasta que un fusible o un conductor quemados abran el circuito. Supongamos que el conductor en nuestro circuito tiene una resistencia de 0.2Ω . El flujo de corriente será

$$I = E/R = 120/0.2 = 600 \text{ A}$$

La fórmula básica de E entre R puede modificarse, o reagruparse, para calcular cualquiera de los factores si se conocen los otros dos. Por ejemplo, se usó un voltamperímetro para medir 1000 A a sólo 2 V. ¿Cuál es la resistencia?

$$R = E/I = 2/1000 = 0.002 \Omega$$

Regresando a la plancha eléctrica, supongamos que las indicaciones fueron 120 V y 8 A. ¿Cuál es R ?

$$R = E/I = 120/8 = 15 \Omega$$

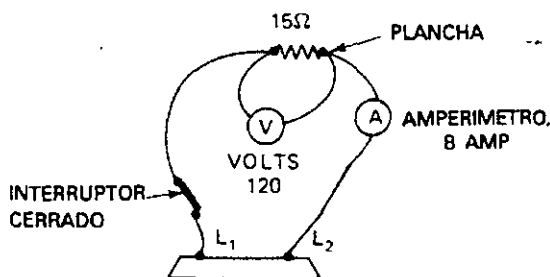


FIGURA R16-13

Se puede reorganizar la fórmula de otro modo: $E = IR$. En el ejemplo del foco de 100 W, supongamos que hemos medido la resistencia y la corriente, pero que no tenemos voltímetro. ¿Cuál es la fem en volts? (La corriente era 0.8 A y la resistencia 145Ω.)

$$E = IR = 0.83 \times 145 = 120 \text{ V}$$

Hablando en términos eléctricos, el voltaje que usa cada resistencia en un circuito se llama *caída de voltaje* o *caída IR* a través de esa resistencia.

Hay varios trucos "útiles" para recordar la fórmula de la ley de Ohm y sus rearrreglos. No recomendamos estas ayudas mnemotécnicas. Si se usa la ley de Ohm con la frecuencia suficiente, el técnico de servicio no tiene necesidad de una ayuda de memoria. Ningún técnico de refrigeración se confía en su memoria al hacer un cálculo en el que intervenga una fórmula ya casi olvidada; tiene que buscarla.

En realidad, la mayor dificultad reside en recordar las transposiciones, porque el enunciado de la ley "I es igual a E entre R" da la primera fórmula,

$$I = E / R$$

Para determinar cómo reagrupar, se sustituyen números sencillos en la fórmula básica. Por ejemplo, sustituimos 4 en lugar de I, 8 en lugar de E y 2 en lugar de R. Entonces:

$$4 = 8/2$$

De esta ecuación es fácil determinar que 8 será igual a 2 por 4, y que 2 será igual a 8 entre 4.

Entonces, la ley de Ohm nos permite determinar matemáticamente el tercer factor cuando se conocen dos cualesquiera, ya sea midiendo o por referencia a una hoja de especificaciones.

Aunque es teóricamente posible obtener un número mayor y hasta ¡limitado de amperes para cualquier fuente de voltaje, a medida que la resistencia tiende a cero, las consideraciones prácticas, como por ejemplo el calor necesario para encender el foco u operar la plancha, limitan la corriente a un valor que los conductores pueden conducir con seguridad, así como los componentes del circuito en la línea.

A continuación presentamos algunas informaciones prácticas que llevamos hasta ahora:

1. Un foco de 100 W fabricado para 120 V brillará mucho a 240 V durante unos pocos segundos y después se quemará. La resistencia del filamento se tomó en consideración al diseñar su longitud y diámetro; para hacer compatible con 120 V. A 240 V esta misma resistencia pasa el doble de corriente, que es más de la que está diseñada para conducir. El filamento se sobrecalienta y quema, abriendo el circuito.

2. Para un material dado, la resistencia aumenta a medida que la longitud del conductor aumenta. Esto explica la caída de voltaje, la caída IR, en las líneas largas y extensiones. En un contacto de pared, una plancha eléctrica puede tomar 9 A a 120 V. Al final de una extensión casera de 3.60 m toma 8 A a 105 V. En las zonas rurales no es raro que el cliente más alejado de un transformador de poste tenga bajo voltaje debido a la caída de voltaje desde el transformador hasta su hogar, a través de la línea tan larga.°

Idealmente, la caída IR se debe mantener a menos del 3% del voltaje nominal. Es común tener una caída de 5%; una caída de más del 10% puede originar desperfectos y fallas en los motores, relevadores y dispositivos eléctricos semejantes.

3 Para determinado material, la resistencia aumenta a medida que disminuye el diámetro del conductor. Un circuito de foco en un hogar puede necesitar alambre N°14. Si instala un acondicionador central de aire, o una estufa eléctrica, debe usted usar conductor N2 8 en ese circuito. (El diámetro de los conductores es mayor a medida que su número o designación es menor.) Un conductor de diámetro mayor puede conducir más amperes (de 45 a 60 amperes en el caso de una estufa) que el conductor de diámetro menor (15 A en un circuito de alumbrado) sin sobrecalentarse. Después describiremos más detenidamente los tamaños de conductores.

1 N. del T.: En realidad interviene también la caída de voltaje debida a la capacitancia entre los conductores. Esta caída puede ser bastante mayor que la caída de voltaje, dependiendo del grosor de los conductores. Esta caída por capacitancia se presenta en la *corriente alterna*, que es la de uso normal en nuestros sistemas eléctricos.

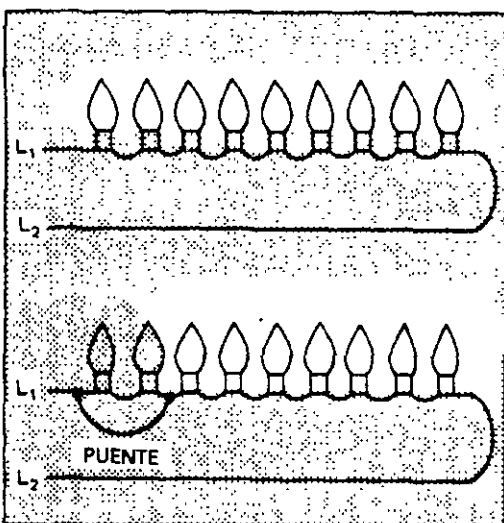


FIGURA R16-14 Circuito en serie.

R16-6 CIRCUITOS EN SERIE

Cuando se coloca más que un dispositivo de resistencia en un circuito, la corriente puede pasar por más de una trayectoria en su camino desde y hasta la fuente de fem. Dependiendo de cómo se diseñe la trayectoria, el circuito será de una de las tres categorías siguientes:

1. En serie
2. En paralelo
3. En serie-paralelo.

El más sencillo de comprender es el circuito en serie. La mayoría de nosotros lo conocemos bien en forma de las series de focos para árboles de Navidad. Cuando uno de ellos se quema, todos se apagan, porque se abrió el circuito. Podemos ver por qué todos se apagan si examinamos la figura R16-14.

Para ir desde y hacia la fuente de fem, la corriente debe pasar por cada resistencia sucesivamente. Los resistores en serie se conectan extremo a extremo a través de una fuente de voltaje. Si se quita un foco, se detendrá la corriente porque el circuito ya no es completo. Si se coloca un puente rodeando al o a los focos fundidos, los restantes encenderán.

Esta detención de corriente puede ser útil. Por ejemplo, todos los interruptores deben estar en serie con los dispositivos que controlan. Los dispositivos de protección, como fusibles y protectores de sobrecarga, están cableados en serie para que el equipo no pueda trabajar cuando el dispositivo de seguridad abre eléctricamente por cualquier motivo.

En la figura R 16-15, tomada de un diagrama eléctrico de una unidad de refrigeración, la protección de sobrecarga del motor del ventilador (OL) está en serie con el suministro de corriente. En caso de que el protector abra debido a demasiada corriente o a sobrecalentamiento, no puede llegar electricidad alguna a los devanados del motor del ventilador. *B* y *BR* son claves de color para los cables. ¿Qué hay acerca del voltaje, amperaje y resistencia en un circuito en serie? Recuerde que el voltaje se puede tomar entre dos puntos cualesquiera en un conductor o resistor y que la cantidad de voltaje usada entre dos puntos cualesquiera se llama *caída de voltaje*.

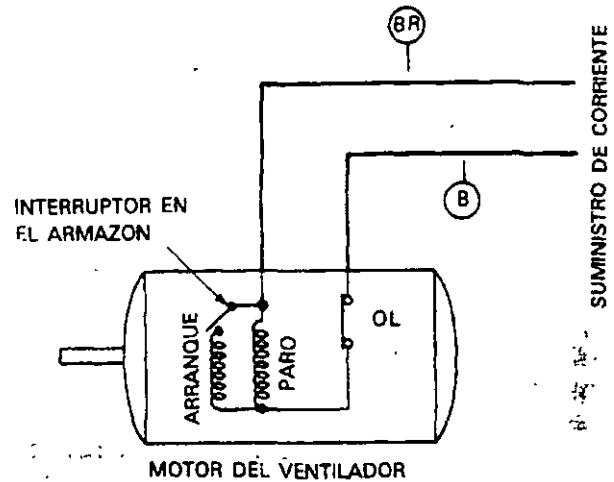
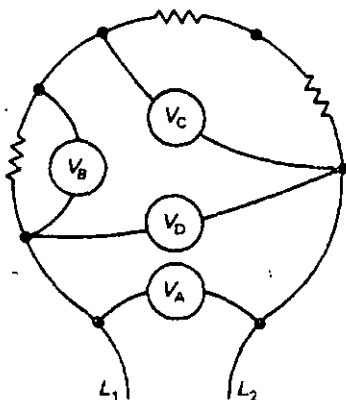


FIGURA R16-15 Motor de un ventilador.

Si se conectan tres resistencias iguales, como por ejemplo tres focos de 25 W, como en la figura R 16-16, el voltaje indicado por un medidor en *VA* será el voltaje de suministro, 120 V. Un voltímetro en los extremos de una sola resistencia, *VB*, indicará 40 V. *VC* entre dos focos de 25 W, indicará 80 V, y *VD*, a través de las tres resistencias, indicará de nuevo 120 V. No se toma en cuenta la resistencia despreciable de los conductores



$$V_b + V_c = V_d$$

$$V_d = V_b \text{ (LA RESISTENCIA DEL CONDUCTOR ES MUY PEQUEÑA)}$$

FIGURA R16-16 Resistencias en serie.

total aplicado.

El efecto práctico de la caída de voltaje en un circuito en serie se puede ver en la figura R16-17, que es un circuito sencillo con un motor diseñado para trabajar a 120 V. Un foco de 25 W conectado en serie con el motor causa la suficiente caída de voltaje como para evitar que se ponga en marcha el motor. Las mediciones reales en el circuito de la figura mostraron una caída de voltaje de 95 V a través del foco; por lo tanto, sólo quedan 28 V de suministro. Veintiocho volts no son suficientes para hacer trabajar un dispositivo diseñado para aplicación en 120 V.

Si se conectan en serie un foco de 25 W y uno de 75 W, el de 25 W brilla casi con toda su intensidad, y tiene una caída de 110 V, mientras que el de 75 W toma los 10 V restantes, sin siquiera un poco de brillo.

Entonces, en un circuito en serie, la caída de voltaje a través de cada resistencia sólo es parte del voltaje total y depende del valor de cada resistencia. La suma de esas caídas *IR* individuales siempre es igual al voltaje

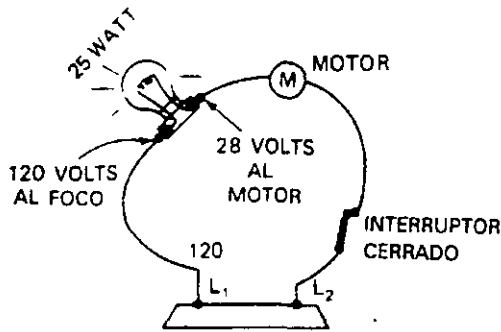


FIGURA R16-17 Diagrama de conexión en serie de un foco de 25 W y un motor

razonamientos, se puede ver por qué un solo foco de 25 W brilla mucho a 120 V, pero tres de 25 W sólo comienzan a brillar apenas,

La descripción anterior ha indicado claramente que la corriente, los amperes tomados, es la misma en todas las partes de un circuito en serie. Un amperímetro conectado en cualquier del circuito indicará la misma corriente (A) que en cualquier otro punto. En la figura R16-18, A1 es igual a A2, e igual a A3, independientemente de cuáles sean los valores de las resistencias individuales en ohms.

En un circuito en serie, la resistencia total al flujo de corriente es la suma de todas las resistencias individuales. El circuito completo se puede tratar como un solo circuito en los cálculos con la ley de Ohm. Por ejemplo, si un foco de 75 W con 194 Ω de resistencia y uno de 25 W con 570 Ω de resistencia se conectan en serie, la resistencia total del circuito es 194 + 570 = 764 Ω

Para todo el circuito

$$I = E/R = 764/120 = 0.16 \text{ A}$$

Así, pasarán 0.16 A por cada resistor. Esta corriente es suficiente como para calentar el filamento del foco de 25 W, pero no lo suficiente como para calentar al del foco de 75 W del ejemplo anterior. Empleando este mismo método y

R16-7 CIRCUITOS EN PARALELO

Así como se puede describir un circuito en serie como aquél en el que los resistores están conectados extremo con extremo, un circuito en paralelo se define como aquel en el que los resistores se conectan lado a lado entre las terminales de la fuente de voltaje.

Los tres focos de la figura R16-19 están conectados en paralelo; es un dibujo convencional de ese circuito, que muestra claramente el arreglo lado a lado de las resistencias.

El cableado de las compañías eléctricas a las casas habitación y a la mayor parte de las instalaciones comerciales es en paralelo. Las "series" más modernas de foquitos para árboles de Navidad, las que no se apagan cuando un foco falla, están en paralelo.

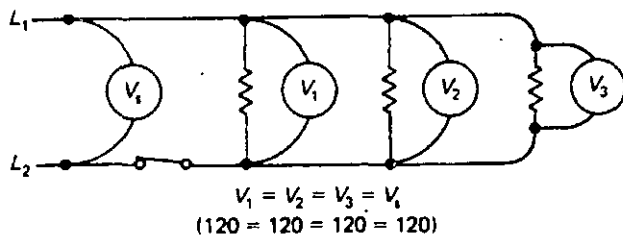


FIGURA R16-19 Resistencias en paralelo.

La caída de voltaje a través de cada resistencia en un circuito en paralelo es la misma y cada caída IR es igual a la caída de la fuente. Un voltímetro entre los extremos de cada uno de los resistores indicará 120 V, lo mismo que directamente entre L1 y L2. Matemáticamente, V1 es igual a V2, e igual a V3 e igual a V.

Otro circuito en paralelo aparece en la figura R16-20. Este diagrama indica que los electrones (e) de la fuente de poder pueden pasar a través de más de una trayectoria en su camino desde y hacia la fuente de fem. Toda la corriente debe pasar en L1 y L2, pero el flujo total de electrones se divide entre las tres resistencias. Si la resistencia en cada dispositivo es igual, el flujo de corriente por cada una de ellas será igual, Si las resistencias no son iguales, la corriente que pasa por cada una de ellas no será igual. En ambos casos, la corriente total será la suma de las corrientes individuales en cada ramal del circuito en paralelo.

Supongamos, por ejemplo, el circuito de una sala en una casa, con fusibles para 15 A (figura R16-21). Todos los artículos eléctricos están en paralelo al conectarse a los contactos de pared. Hay tres focos, un televisor y un acondicionador de aire trabajando en forma simultánea. Supongamos que los focos, todos, toman 1.5 A, la TV 1 A, y el aire acondicionado toma 7.5 A.

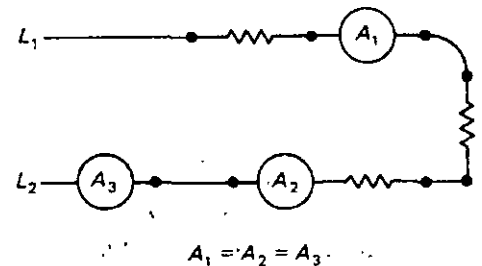


FIGURA R16-18

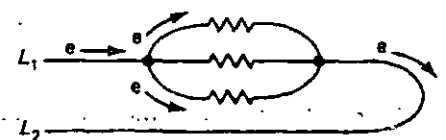


FIGURA R16-20 Resistencias en paralelo.

Conectemos una plancha de 10 A para que el ama de casa pueda planchar mientras ve la TV en la sala con aire acondicionado. El fusible de 15 A se abrirá porque la carga será de 20 A.

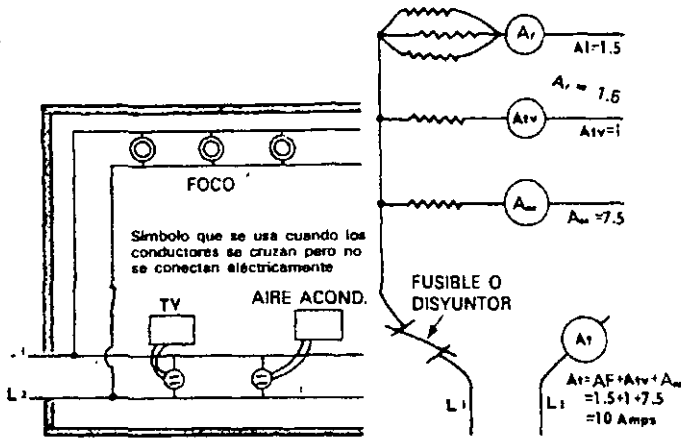


FIGURA R16-21 Combinación de circuitos en paralelo

con 23Ω (figura R16-22). Empleando la ley de Ohm como en un circuito en serie, sumáramos las resistencias y dividiríamos el resultado entre el voltaje para obtener los amperes:

$$I = E/R = 120/33 = 3.6 \text{ A}$$

Sin embargo, las mediciones reales indican que el tostador toma 5 A y la plancha 11 A, un total de 16 A. Empleando la ley de Ohm reagrupada,

$$R = E/I = 120/16 = 7.5 \Omega$$

7.5 Ohms es la resistencia total real de este circuito, y este valor óhmico es menor que el mínimo de las resistencias individuales, que es 10Ω.

La fórmula para calcular la resistencia total en un circuito en paralelo

$$1/RT = 1/R1 + 1/R2 + 1/R3 + \dots$$

En nuestro ejemplo,

$$1/RT = 1/23 + 1/10$$

En general, la forma más fácil de cálculo es convertir las fracciones a decimales (dividir 1 entre 23 y 1 entre 10):

$$1/RT = 0.043 + .010 = 0.143$$

$$0.143 RT = 1$$

$$RT = 0.143/1 = 7 \text{ ohms}$$

Los siete ohms se aproximan a los 7.5Ω que obtuvimos mediante cálculos a partir de los amperes y volts medidos en campo.

La RT calculada se puede usar en cualquier cálculo que emplee la ley de Ohm.

Resumen: En un circuito en paralelo:

- El voltaje a través de cada resistor es el mismo, y es igual al voltaje aplicado.
- El amperaje total se divide entre las ramas paralelas en el circuito y los amperajes en cada rama son distintos.
- La resistencia total siempre es menor que la resistencia de valor más bajo.

R16-8 COMPARACION DE CICUITOS EN SERIE Y EN PARALELO

No hay circuito "mejor". No tiene sentido entrar en polémica acerca de cuál tipo de circuito, en serie o en paralelo, es el más útil, ya que cada uno de ellos es indispensable en la tecnología moderna.

En realidad, en todos los circuitos eléctricos, excepto en los más sencillos, se emplean ambos tipos en lo que de modo lógico se llama *circuito en serie-paralelo*. En una vitrina refrigerada, el voltaje de suministro se usa para hacer trabajar al compresor, los ventiladores, al circuito de alumbrado y los calentadores de desescarchamiento. Dependiendo del diseño del fabricante, cada componente se puede conectar para trabajar en forma independiente, o junto con uno o

Cada ramal del circuito toma su parte de la corriente total, pero todos los electrones deben provenir de, y regresar a la fuente de fem, pasando por el fusible del circuito. Un amperímetro conectado en AT indicará esta corriente total hacia todos los electrodomésticos del circuito. Recuerde que la corriente que pasa por los ramales de un circuito en paralelo sólo es igual si las resistencias en las diversas ramas tienen el mismo valor en ohms.

La resistencia total, en un circuito en paralelo, no es la suma de las resistencias individuales. En lugar de ello, la resistencia total en un circuito en paralelo siempre es menor que la del resistor con resistencia más pequeña.

Supongamos un circuito en paralelo con dos aparatos: una plancha de 10Ω de resistencia y un tostador

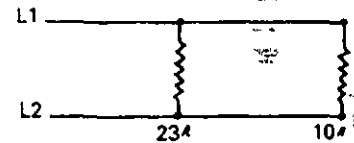


FIGURA R16-22 Resistencias en paralelo de distinto valor

más de los otros. De hecho, la selección se hace empleando en forma adecuada los circuitos en serie y en paralelo, ya sea aislados o en combinación.

R16-9 DIRECTA Y ALTERNA

Toda la información que hemos presentado hasta aquí es válida tanto para la corriente directa como para la alterna, cuando esta última sólo tiene cargas de resistencia en sus circuitos. El motivo de esto último se explicará después; se debe a resistencias añadidas que se encuentran en los campos magnéticos, que se llama *reactancia inductiva*.

El resto de esta descripción, que trata de cosas tales como transformadores, distribución de energía, solenoides, relevadores y motores, necesitará de la comprensión de la diferencia entre los circuitos de corriente alterna y directa, y de las diferencias en el comportamiento de los dos. Además, la mayor parte del material restante pertenece a la corriente directa.

Como se definió antes, se dice que la electricidad pasa siempre que los electrones se mueven a través de un conductor. Si los electrones siempre se mueven en la misma dirección por el conductor, se trata de corriente directa (cd). Si los electrones se mueven alternadamente primero en una dirección y después en la dirección opuesta por el conductor, se trata de corriente alterna (ca).

La corriente eléctrica que produce la acción química, como en un acumulador siempre es cd. Esto es también el caso de la corriente que producen los termopares. La corriente alterna o directa se puede obtener por acción mecánica a partir del vapor de turbogeneradores de plantas hidroeléctricas.

R16-10 INDUCTANCIA, CAPACITANCIA Y REACTANCIA

Se afirmó antes que la descripción que dimos de la ley de Ohm y de otros factores hasta ese punto sólo eran válidos para circuitos de corriente tanto directa como alterna, cuando estos últimos sólo tienen cargas tipo resistencia óhmica. Los lectores más perceptivos habrán notado que el término *resistencia* sólo se aplicó a cosas tales como focos incandescentes y elementos de calefacción, pero un término como *valor óhmico*, se usa para indicar la oposición al flujo de corriente que ofrecen los motores u otros dispositivos de inducción.

Un óhmetro aplicado a las terminales de un motor pequeño de polos sombreados puede indicar que la resistencia de los devanados del motor y sus terminales es de unos 35Ω. Usando la ley de Ohm para un voltaje de línea de 120-V, se obtiene

$$I = E/R = 120/35 = 3.4 \text{ A}$$

Un motor pequeño como este no toma 3.4 A. De hecho, la medición en campo con un amperímetro de gancho casi no indica nada, es claro que la corriente es menor de 1 A.

La resistencia pura de una bobina de solenoide se midió y el resultado fue 4Ω. A 120 V, esto necesitaría de 30 A, en teoría. En el funcionamiento real la bobina toma 11.5 A.

Es obvio que debe haber algo más que la sola resistencia óhmica que se opone al paso de la corriente en estos casos. La mayor oposición se debe a la *inductancia*. En una descripción posterior acerca de la división de fase para permitir el arranque de un motor de fase partida, se verá que tan sólo creando más inductancia en una bobina que en otra, disminuye la corriente en la primera lo suficiente en comparación de la segunda como para obtener el corrimiento de polos magnéticos necesario para obtener un par de arranque.

Es difícil en este punto no complicar mucho las cosas para el principiante y para aquellos que sólo necesitan una idea; más que una comprensión completa, de lo que sigue. Aún las explicaciones simplificadas de los circuitos de corriente alterna necesitan más matemáticas de lo que es adecuado en una descripción en este nivel.

Por ahora, es suficiente decir que en los circuitos de corriente alterna se combinan varios factores para afectar el flujo de corriente de uno u otro modo; en los circuitos de corriente directa sólo se encuentra uno con resistencias puras.

La *reactancia inductiva* es la oposición al paso de la corriente que ofrecen los aparatos de inducción. Como la inductancia sólo puede afectar al flujo cuando la corriente varía (los cambios de corriente generan una fem inducida) no se tiene en los circuitos de cd, excepto cuando se cierra y se abre el circuito.

Si un circuito de ca sólo tiene resistencia pura, la corriente sube y baja al mismo tiempo que el voltaje, y se dice que las dos ondas están *en fase* entre sí, como se ve en la figura R16-23.

Aunque sólo es teóricamente posible, si un circuito de ca sólo tuviera inductancia pura, la corriente opuesta *retrasa* al voltaje un cuarto de ciclo completo, o sea 90° como se ve en la figura R16-24. En este caso, se dice que voltaje y la corriente están desfasados 90°. La unidad de medición de inductancia es el *henry*, y el símbolo de ésta es L.

En un circuito práctico que tenga reactancia inductiva y resistencia, la onda de corriente se retrasará a la de voltaje en una cantidad comprendida entre 0° y 90° . Si la resistencia y la reactancia inductiva son iguales, se producirá un ángulo de fase de 45° .

Al igual que la reactancia inductiva se opone a cualquier cambio en un circuito de ca, la *capacitancia* se opone a cualquier cambio de voltaje. De nuevo, este fenómeno afecta los circuitos de cd sólo cuando se conecta o se desconecta la corriente. Cuando aumenta el voltaje, la capacitancia trata de detenerlo.

Los aparatos eléctricos que se usan para agregar capacitancia a una línea son, desde luego, los *capacitores* corrientes, que con frecuencia se llaman *condensadores*, especialmente en el campo electrónico y automotriz.

La acción real de una capacitancia en un circuito es almacenar una carga, y aumentar la carga cuando aumenta el voltaje y descargarse si baja el voltaje.

La capacitancia también ofrece una oposición al flujo de corriente, lo que se llama *reactancia capacitiva*, pero ésta *disminuye* cuando *aumenta* la capacitancia u oposición al cambio de voltaje.

Como resultado, en un circuito teórico que sólo tuviera capacitancia pura sin resistencia, el voltaje sólo puede existir *después* que pasa la corriente. En ese circuito teórico, la onda de corriente precede a la de voltaje 90° como se ve en la figura R16-25. La unidad de medida de la capacitancia es el *farad*, y el símbolo de ésta es C. Es más práctico el *microfaradio*, un millonésimo de farad.

En un circuito práctico que contenga resistencia y capacitancia, el ángulo de fase es de 0 y 90° y la corriente siempre adelanta al voltaje. Esto es exactamente lo opuesto a lo que ocurre en un circuito inductivo en que la corriente se retrasa al voltaje.

El hecho de que inductancia y capacitancia tengan efectos opuestos en un circuito es la explicación del uso de capacitores en motores o en las líneas de suministro para mejorar el factor de potencia, cosa que describiremos después.

Entonces, en un circuito de corriente alterna, la oposición total al paso de la corriente, que ofrecen la resistencia, la reactancia inductiva y la reactancia capacitiva se llama *impedancia*, cuyo símbolo es Z, y se mide en ohms. El término *oposición total* no es sinónimo de la suma aritmética de los componentes; hemos pasado por alto las matemáticas que intervienen en la conversión de henries y de farads a ohms, y el cálculo del efecto total de inductancias y capacitancias variables.

Z, después de haberla determinado, se puede sustituir por R en el enunciado normal de la ley de Ohm:

$$I = E/R \text{ o bien } I = E/Z$$

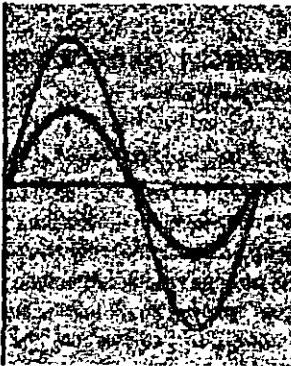


FIGURA R16-23 Ondas senoidales de voltaje y amperaje para carga resistiva.

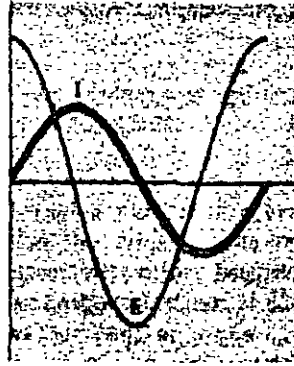


FIGURA R16-24 Ondas senoidales de voltaje y amperaje para carga inductiva pura.

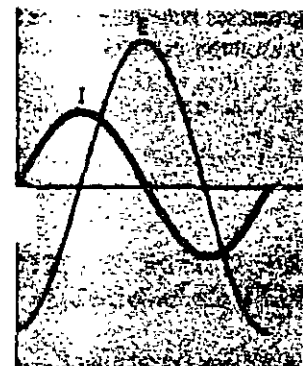


FIGURA R16-25 Ondas senoidales de voltaje y amperaje para carga capacitiva pura.

R16-11 FACTOR DE POTENCIA

En los circuitos de corriente directa y en los de corriente alterna que sólo tienen resistencias puras, la potencia en watts es igual al producto de volts por amperes:

$$P = EI$$

Así, un foco incandescente que tome 0.8 A en una instalación de 120 V, tendría

$$P = EI = 120 \times 0.8 = 96 \text{ W}$$

o sea que sería prácticamente un foco de 100 W.

Un circuito de 120 V que tuviera varios aparatos sólo de resistencia con un amperaje total de 15 A:

$$P = EI = 1800 \text{ W o bien } 1.8 \text{ kW} = 120 \times 15$$

En este tipo de circuitos el factor de potencia prácticamente es 100 %; esto es, el circuito disipa muy aproximadamente los 1800 W calculados. El *factor de potencia* se puede definir como la relación de la potencia consumida a la suministrada, o bien como el porcentaje de tiempo durante el cual el producto de volts por amperes es igual a la potencia real.

Un factor de potencia (FP) de 100% sólo puede existir cuando voltaje y corriente están en fase, como se explicó antes. Cuando ya sea la reactancia inductiva o la capacitiva hacen que la corriente se retrase o se adelante con respecto al voltaje (o sea, que salga de fase), el producto de volts por amperes sólo es igual a la *potencia aparente*, y no a la *potencia real*.

Nuevamente, si no tomamos en cuenta las matemáticas fundamentales para describir los fenómenos, el hecho es que para un circuito comercial normal, con alta inductancia, la compañía eléctrica debe suministrar algo de potencia que en realidad no efectúa trabajo y que no la mide el wattímetro normal, y con ello merman sus ganancias.

Si por ejemplo, el cálculo de los volts por los amperes medidos es igual a 2000 W, pero el aparato de la línea muestra en realidad un consumo de 1600 W, el factor de potencia es

$$FP = 1600/2000 \times 100 = 80\%$$

Esto quiere decir que sólo el 80% de la potencia suministrada está haciendo trabajo medible. El 20% restante es *corriente de magnetización*, que hace posible el funcionamiento de los dispositivos de inducción, pero que hace el trabajo por sí misma y por lo tanto no queda registrada.

Los dispositivos de inducción, como los motores y lámparas fluorescentes, nunca tienen factor de potencia 100%. De hecho, la iluminación fluorescente usa tanta corriente de magnetización que las compañías eléctricas no ven con buenos ojos este tipo de iluminación. Sin embargo, como los aparatos de inducción son necesarios en nuestra tecnología, las compañías de luz han establecido en general que el factor de potencia de 90% es el mínimo práctico que se debe mantener en sus líneas.

Dependiendo del diseño y la aplicación, los motores pueden tener un factor de potencia inherente hasta de 60°. En términos de ondas, esto quiere decir que la reactancia inductiva hace que la corriente se retrase bastante con respecto al voltaje. La descripción anterior demostró que la reactancia capacitiva tiende a hacer que la corriente se adelante al voltaje. Es lógico, entonces, que se pueda elevar un bajo factor de potencia debido a la inductancia; colocando una capacitancia en la línea.

En la práctica esto es lo que se hace: un capacitor de funcionamiento se pone en un motor; un banco de capacitores se instala en una planta industrial; las compañías eléctricas instalan capacitores en forma estratégica en las líneas de distribución. La capacitancia resultante, actuando en oposición a la inductancia, establece un factor de potencia más favorable que el que habría cuando sólo la inductancia actuara en la línea.

PROBLEMAS

- R16-1. El átomo se compone de _____ y _____.
- R16-2. El neutrón tiene carga _____.
- R16-3. La corriente, o flujo de electrones, va del negativo al positivo. ¿Cierto o falso?
- R16-4. Definir "electricidad estática".
- R16-5. Definir "electricidad dinámica".
- R16-6. Completar lo siguiente: Las cargas _____ se atraen, y las cargas _____ se repelen.
- R16-7. Las baterías se dividen en dos tipos: _____ y _____. Dar un ejemplo de cada una.
- R16-8. Los acumuladores, ¿producen ca o cd?
- R16-9. Un acumulador produce electricidad por acción _____.

- R16-10. Se funden los extremos de dos conductores distintos, para unirlos, y se calienta el extremo fundido para producir energía eléctrica. A esto se le llama _____.
- 16-11. ¿Entre qué límites se produce voltaje en un solo termopar?
- R16-12. Cuando se conectan varios termopares en serie para producir un mayor voltaje de salida, se forma una _____.
- R16-13. Una unidad que convierte a la luz en energía eléctrica se llama _____.
- R16-14. La compresión de algunos materiales como el cuarzo o el titanato de bario creará una diferencia de voltaje en el material. A esto se le llama _____.
- R16-15. La generación de energía eléctrica en un turbogenerador es un proceso _____.
- R16-16. ¿Qué quiere decir "fem"?
- R16-17. ¿Cuál es el término común que se usa en lugar de "fem"?
- R16-18. La resistencia se opone al flujo de electrones. ¿Cierto o falso?
- R16-19. La unidad de medida de la resistencia es el _____.
- R16-20. La tasa de flujo de electrones, o corriente, se llama _____.
- R16-21. Dar los nombres de los dos tipos básicos de circuitos eléctricos: _____.
- R16-22. Todos los circuitos eléctricos deben tener tres elementos básicos. Dar el nombre de ellos: _____.
- R16-23. Presentar la fórmula de la ley de Ohm
- R16-24. El elemento calefactor de un horno eléctrico emplea 20 A cuando se le aplican 240 V. ¿Cuál es la resistencia del elemento?
- R16-25. En los circuitos en serie la resistencia total es la suma de todas las resistencias individuales. ¿Cierto o falso?
- R16-26. En los circuitos en paralelo, la resistencia total es la suma de todas las resistencias individuales. ¿Cierto o falso?
- R16-27. La resistencia al paso de la corriente en un dispositivo de inducción (por ejemplo motor) se llama _____.
- R16-28. La unidad de medida de la inductancia se llama _____.
- R16-29. La capacitancia se opone a cualquier cambio de _____.
- R16-30. Un dispositivo que agrega capacitancia a una línea se llama _____.
- R16-31. La unidad de medida de capacitancia es el _____.
- R16-32. Definir "factor de potencia".
- R16-33. El factor de potencia promedio de los motores de los compresores de refrigeración es _____ %



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

R17-1 GENERACIÓN DE CORRIENTE ALTERNA

Aunque los acumuladores y los termopares son generadores químicos y térmicos de electricidad, respectivamente, el término *generador*, cuando se usa solo, indica siempre una máquina mecánico-magnética, como por ejemplo o un turbogenerador hidráulico o de vapor, que se usa para merar casi toda la energía eléctrica que se consume con fines domésticos e industriales.

La fuerza electromotriz inducida es esencial para este tipo de generación de potencia, así como la corriente inducida resultante; el voltaje y la corriente se originan debido movimiento relativo entre un imán y un conductor eléctrico.

Supongamos que la espira de conductor que se ve en la figura R17-1 gira en un campo magnético en la dirección de la flecha. Al hacerlo, se suceden los siguientes eventos (véase figura R 17-2):

1. En la posición 1, los dos lados de la espira están paralelos al campo magnético, y no se cortan líneas de fuerza; no se produce corriente en la espira. La fem (volts) es cero.
2. En la posición 2, la espira se ha movido 90° los conductores están en ángulo recto con respecto al campo magnético, y se corta el número máximo de líneas. Esto quiere decir que la fem es máxima en una dirección.
3. En la posición 3, la espira ha completado media vuelta y de nuevo el movimiento es paralelo al campo; de nuevo la fem es cero.
4. En la posición 4, la espira de nuevo corta un máximo de líneas, y la fem vuelve a ser máxima, pero en la dirección contraria.
5. Ahora la espira ha regresado a la posición 1 y el ciclo se completa.

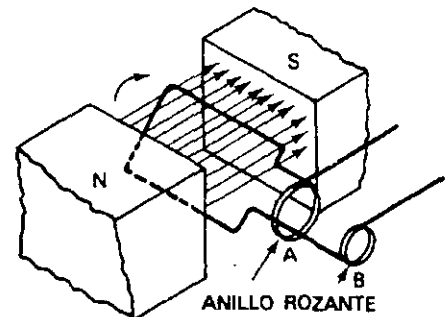


FIGURA R17-1 Espira giratoria de alambre.

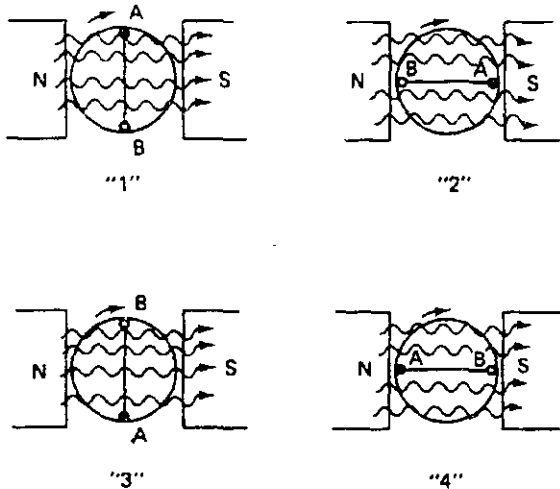


FIGURA R17-2 Generación de una onda senoidal

Estas cinco etapas describen el funcionamiento básico de la generación de corriente alterna. La curva uniforme de la figura R17-3, que describe el aumento y disminución de la fem generada, muestra un ciclo completo. Durante la generación del voltaje normal doméstico, por ejemplo, la curva describe el aumento de cero a 120 V en una dirección, la disminución de 120 V a cero, el aumento de cero a 120 V en la dirección opuesta, y la caída a cero de nuevo. Un ciclo se lleva a cabo en $1/60$ de segundo y en este caso a la corriente se le dice que es de 60 hertz, que quiere decir 60 ciclos por segundo. También a la corriente se le llama *senoidal*, o *alterna*. El nombre senoidal es nombre matemático que describe las formas de las curvas.

La onda de corriente, como se ve en la figura R17-3, se dice que es de *corriente monofásica*, lo que quiere decir que sólo es una espira la que corta el campo magnético. Si se agrega otra espira en ángulo recto con respecto a la primera se producen dos voltajes separados, uno en cada espira. Los voltajes que se producen están alejados 90° ; a esto se le llama *corriente bifásica*. Si se agrega una tercera espira separada se obtiene *corriente trifásica*, como se ve en la figura R17-4.

Cada espira se encuentra a 120° con respecto a las demás. Los sistemas de corriente alterna monofásica y trifásica son los más difundidos.

Dependiendo del tamaño de los conductores en la espira, del número de espiras en una bobina, y de la velocidad de rotación, se pueden generar desde unos cuantos a muchos miles de volts con este aparato de inducción mecánica. La velocidad de rotación también se relaciona directamente con el número de ciclos generados por unidad de tiempo. En Estados Unidos se emplea casi siempre ca de 60 Hz. Para generarla, las máquinas modernas giran a 3600 rpm. Para producir corriente de 25 Hz, que se usaba hasta hace poco en Canadá, el generador tira a 1500 rpm. En la mayor parte

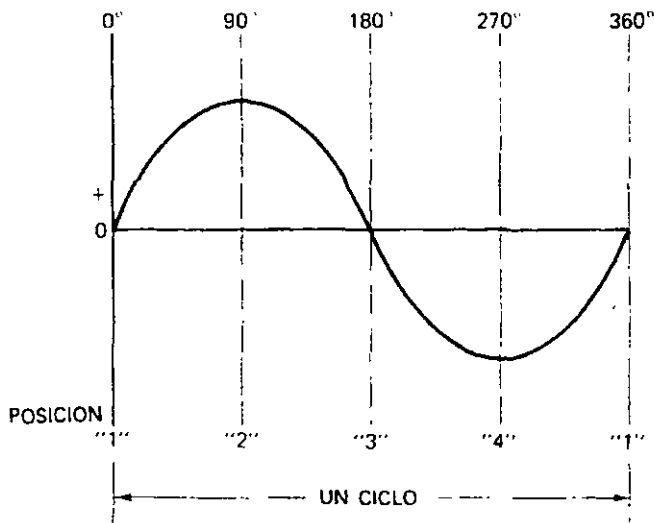


FIGURA R17-3 Onda senoidal monofásica.

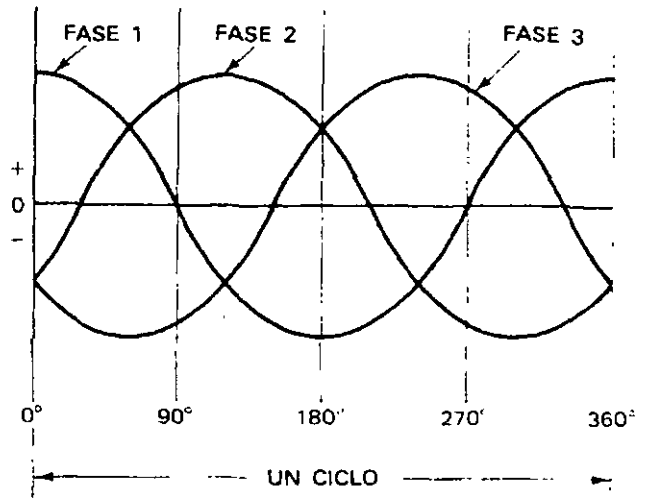


FIGURA R17-4 Onda senoidal trifásica.

de los países se tiene corriente de 50 Hz, y en los aeroplanos se usa equipo de 400 Hz para obtener el mismo trabajo empleando máquinas más ligeras y más pequeñas que las que se necesitarían con 60 Hz.

R17-2 GENERACIÓN DE CORRIENTE DIRECTA

Si la curva de voltaje o corriente de un acumulador se graficara contra el tiempo, se vería como la figura R17-5. La línea oblicua que llega a la parte plana representa el tiempo necesario para que la corriente directa adquiriera su valor total cuando se cierra el circuito. Como la generación química siempre hace que los electrones se acumulen en uno de los materiales que intervienen y por eso sólo pasa en una dirección a tasa constante, la curva de cd es una línea recta muy distinta a la forma de onda de ca.

A esa cd uniforme se le llama con frecuencia *cd pura*, o *cd verdadera*, para diferenciarla de la corriente directa pulsante que se obtiene en un generador mecánico-eléctrico. La curva de esa corriente directa generada se parece a la de la figura R17-6.

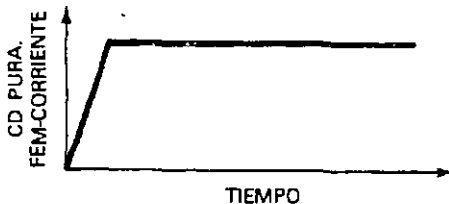


FIGURA R17-5. Flujo de corriente; cd verdadera

Como una bobina girando en un campo magnético genera siempre corriente alterna, ¿cómo obtenemos la corriente directa?

El paso de ca a cd pulsante se logra alterando el arreglo de los anillos rozantes, para tener el anillo bipartido que se ve en la figura R17-7. El efecto del anillo bipartido es cortar la fem inducida que va a los conductores inmediatamente antes de que cambie su dirección en cada ciclo. Resulta entonces que la corriente puede formar dos máximos, o picos, por ciclo, pero ambos en la misma dirección. La curva no baja de la línea del cero, como en el caso de la corriente

alterna. Un conductor de una espira origina amplios picos o pulsaciones, de modo que la práctica en realidad es usar muchas espiras para uniformar la corriente. Aunque algunas ciudades todavía tienen calles (en general en el centro) con servicio de corriente directa, la jente que más se usa en Estados Unidos es la alterna de 60Hz. La razón principal del predominio de la ca sobre la cd es la mayor facilidad y economía con la que se puede transmitir desde plantas remotas, y distribuir a los consumidores

R17-3 DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA

Al principio, se usó la cd para suministrar a las cargas de alumbrado y de motores de la industria eléctrica naciente. Sin embargo, la principal desventaja de la cd es su incapacidad de transmitirse a grandes distancias sin demasiadas pérdidas de energía y aparatos caros para control del voltaje; todo ello hizo que la corriente alterna fuera una alternativa mejor.

Brevemente, esta parte de la descripción de la electricidad presentará los pasos de transmisión y distribución que tienen para que la energía eléctrica pase de la estación generadora y llegue al consumidor.

Las turbinas, impulsadas por fuerza hidráulica, o por gas, o de vapor obtenido en calderas de carbón, o de petróleo producen la rotación mecánica necesaria para generar el movimiento relativo entre un campo magnético y los conductores eléctricos. La electricidad inducida se alimenta a transformadores gigantes de subida. Los transformadores son aparatos eléctricos que pueden elevar (de subida) o disminuir (de bajada) el voltaje que les llega. Después descubriremos su funcionamiento.

En el transformador de subida, los 18,000 V generados por los turbogeneradores se elevan a 120,000 V, o al voltaje al cual esté diseñado el sistema. Lo que sigue se aplica a un sistema típico. Aunque los voltajes de transmisión y distribución pueden variar en algunas zonas, los principios básicos de generación y manejo de la energía son universales.

La siguiente etapa después del transformador de subida es la subestación, que es algo así como un departamento de embarques. En esta maraña de torres de acero, cables y equipo de distribución, la electricidad comienza su viaje hacia los consumidores, por las líneas de transmisión. El término *líneas de transmisión* indica los conductores que llevan la electricidad desde la estación de generación, hasta las subestaciones de conmutación, propiedad de la compañía eléctrica.

En la subestación el voltaje de transmisión se reduce a 4800 V en un transformador de bajada. De la subestación, las líneas de distribución llevan la electricidad ya sea en forma directa a los consumidores industriales que la compran a una tarifa primaria y llevan a cabo su propia bajada, o bien a varios transformadores de bajada ubicados estratégicamente, cada uno de los cuales da servicio a un grupo de clientes industriales o domésticos.

Una red de ca puede reducir los 4800 V de la subestación hasta los voltajes adecuados de utilización, y mandarlos a los clientes individuales en una zona céntrica o distrito comercial. En las zonas residenciales, la bajada se lleva a cabo con frecuencia con transformadores en postes, y la corriente, entra al hogar por la entrada de servicio (conjunto de medidor, interruptor y fusibles).

La figura R17-8 muestra cómo se obtienen los diversos tipos de corriente. Los conductores primarios, que corren por las puntas de los postes, llevan la corriente a voltajes de distribución, digamos 4800 V. Cuando se debe sacar corriente trifásica, los tres conductores pasan por los postes; cuando se usa corriente monofásica, pueden estar los tres cables o sólo dos primarios.

En el extremo izquierdo de la figura R17-8 entran dos conductores al transformador del poste, de donde se saca el secundario a modo de tener corriente monofásica de 120/240 V en los tres conductores, siendo uno neutral. Los tres secundarios de un solo poste pueden ir de poste a poste y servir a varias habitaciones, tantas como lo permita la capacidad del transformador.

A continuación, se tienden tres conductores del primario a dos transformadores, que pueden estar dentro de una sola caja. De los cuatro conductores que salen de los transformadores, se obtiene corriente monofásica o trifásica a 120/240 V. Nuevamente, los secundarios pueden ir de poste a poste, y un transformador da servicio a varios consumidores.

El tercer esquema muestra otra conexión que se usa para obtener el mismo servicio en el secundario que el arreglo que acabamos de describir. La compañía eléctrica escoge el método que se adapte más a sus necesidades generales, para balancear al sistema de distribución. En el extremo derecho de la figura R17-8 se muestra el modo en que se obtienen los 120/208 o 277/480 V de la red.

De este breve repaso de generación y distribución eléctrica, es obvio que se deben obtener varios voltajes de servicio (120/240 V, 120/208 V, 277/480 V), así como corrientes monofásica y trifásica, todo ello de la estación generadora y las líneas de transmisión que en general producen sólo una fem, y no una multitud de voltajes. Normalmente, se genera corriente alterna trifásica.

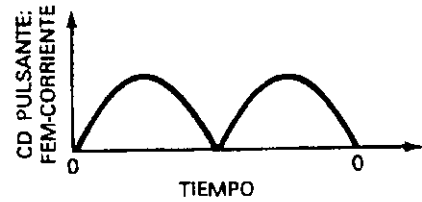


FIGURA R17-6 Flujo de corriente; cd pulsante.

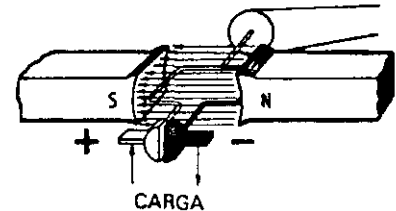


FIGURA R17-7 Generador de cd con anillo bipartido.

R17-4 VOLTAJES UTILIZADOS

Del sistema primario trifásico (3Φ) de tres conductores se pueden obtener las siguientes combinaciones de voltajes y fases (véase figura R 17-9).

Estos son voltajes en Estados Unidos. Fuera de ese país pueden ser distintos tanto los voltajes como los ciclos. El término voltaje nominal indica el voltaje deseado y no el voltaje exacto de línea en determinado momento. Es

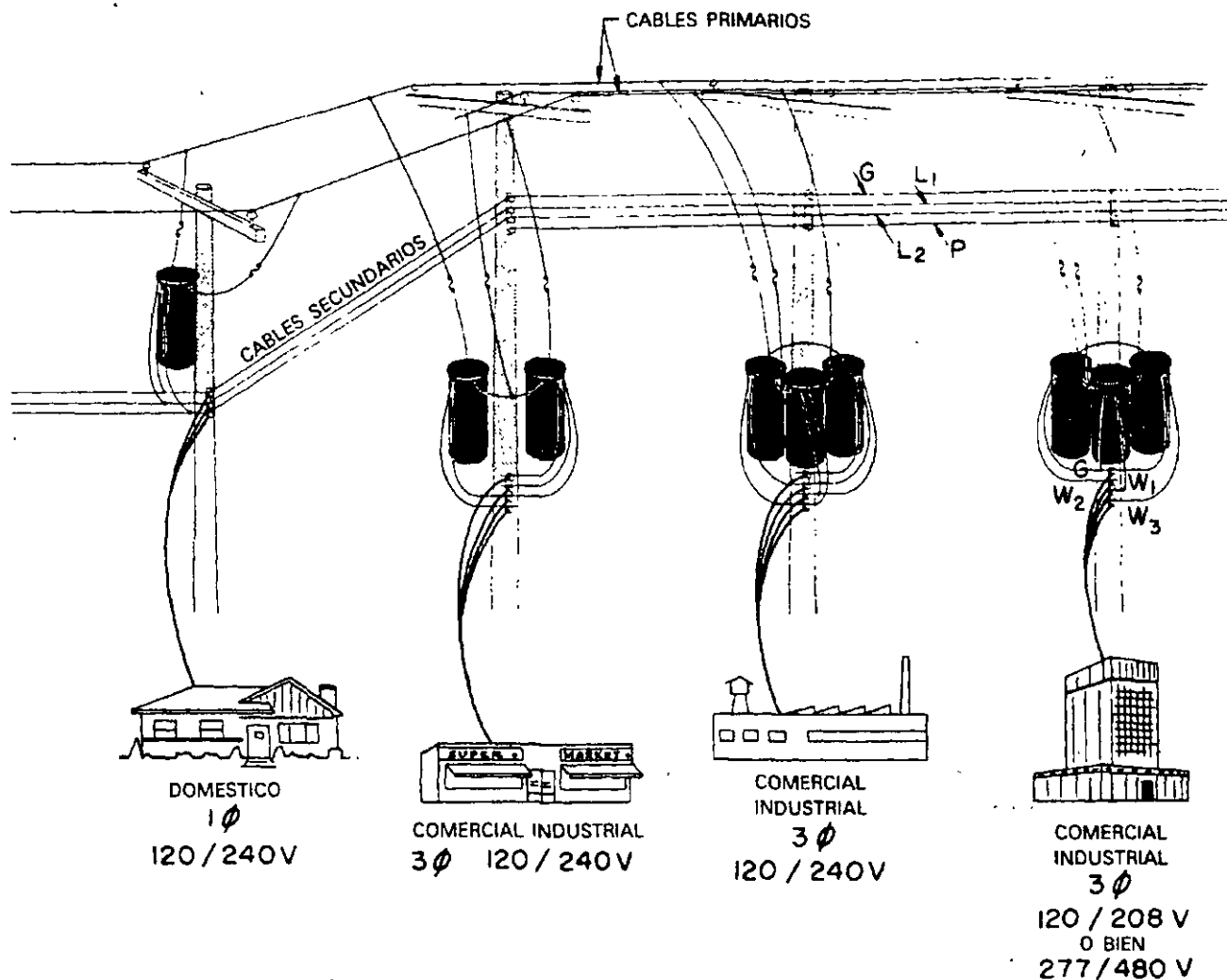


FIGURA R17-8 Sistema de distribución eléctrica

imposible que la compañía eléctrica mantenga exactamente el mismo valor de voltaje; se les permite una variación de más o de menos, que en algunos lugares puede ser hasta de 10%. Este punto es muy importante en la aplicación de los compresores herméticos de refrigeración, como se verá después.

La tendencia es hacia voltajes más y más elevados, y es por buenas razones.

1. Todo el cableado normal de distribución y utilización tiene una capacidad nominal de 600 V, y por lo tanto el aislamiento es el mismo para las clases específicas, sea el voltaje 120 o 480 V.
2. Hay poca diferencia en los interruptores, relevadores y otros detalles de distribución y utilización.
3. Los motores que están bobinados para voltajes mayores, aunque puede ser distinta la geometría de sus devanados, no costarán mucho más que los motores regulares.
4. El punto más importante es que en las instalaciones mayores el cliente puede ahorrar hasta el 35% en costos de cableado en comparación con un sistema básico de 120 V

La explicación de este último factor reside en el hecho que cuando se duplica el voltaje, la corriente baja a la mitad. Cuando es menor el consumo de corriente, se pueden usar conductores de menor diámetro. Para una casa, el ahorro total sería insignificante, pero para un gran establecimiento industrial o comercial, los ahorros pueden llegar a cifras muy elevadas.

Aunque el consumo de corriente es menor, el cliente sigue consumiendo y paga la misma cantidad de energía eléctrica. La potencia, en watts, es igual a los volts por los amperes. El producto de esta multiplicación es igual cuando se duplican los volts y los amperes se reducen a la mitad.) Un factor principal en el cambio hacia mayores voltajes es el aumento tan grande del alumbrado fluorescente, que trabaja con balastros de 277 V. En una instalación grande servida con corriente de 277/480 V, el suministro de 480 V 3 ϕ para equipos, la corriente de 277 V 1 ϕ es para el alumbrado, y

se usa un transformador pequeño dentro de la propiedad para tener los 120 V 1 ϕ necesarios para electro-domésticos pequeños, máquinas de oficina y sistemas de control.

FIGURA R17-9
Combinaciones normales de voltajes y fases.

Voltaje nominal de utilización	Servicio de 60 Hz
120 y 240-1 ϕ	120/240: 3 conductores
120 y 240-1 ϕ 240-3 ϕ	120/240: 4 conductores
120 y 208-1 ϕ 208/3 ϕ	120/208: 4 conductores
120 y 240-1 ϕ 240-1 ϕ	240: 2 conductores
120 y 240-1 ϕ 416-3 ϕ	240: 2 conductores
120 y 240-1 ϕ 460-3 ϕ	240/416: 4 conductores
	265/460: 4 conductores*

*también 227/480.

y su contenido, contra los peligros que ocasiona el empleo de la electricidad para iluminación, calefacción, aire acondicionado y otros fines. El apego a los lineamientos NEC, aunado a instalación y mantenimiento adecuados, resultan en un sistema que con mayor probabilidad estará libre de riesgos eléctricos.

Los alambres y los cables son los conductores que más se usan, y el NEC especifica el tamaño de conductor que se debe seleccionar para limitar la caída de voltaje, y también la corriente máxima que es segura para conductores de diversos tamaños con diferentes aislamientos, conectados bajo distintas condiciones.

R17-6 TAMAÑOS DE CONDUCTOR

El sistema de medida que se usa para dimensionar un conductor es el *mil*, o el *mil circular*, que se muestra en la figura R17-10. Un mil es una milésima de pulgada (0.001"). Un mil circular es la superficie de un círculo que tiene 1 mil de diámetro. El expresar los tamaños de alambre en miles es mucho más sencillo que en fracciones de pulgada. Por ejemplo, el diámetro de un alambre se dice que es de 25 miles, en lugar de 0.025 pulgadas.

El mil-pie, que se muestra en la figura R17-11, es una unidad cómoda para comparar la resistencia y el tamaño, lo que se llama *resistividad*, de un conductor y de otro. Los valores de resistividad se usan para expresar la capacidad de corriente de diversos tamaños de conductor, especificados en el NEC.

R17-7 TAMAÑOS DE ALAMBRE

Los tamaños de alambre, publicados por NEC, se basan en los números de calibre americano de alambre (AWG, *American Wire Gage*). Es un modo cómodo de comparar diámetros de alambres. Un calibrador de alambres aparece en la figura R17-12. Mide los alambres mediante unas ranuras numeradas de 36 a 0. Para medir el tamaño de alambre, se introduce el *alambre desnudo* en la ranura más pequeña en la cual quepa. El número de calibre que corresponde a esa ranura es el tamaño del alambre. El cable de un foco normalmente es del N° 18 AWG. El alambre de cobre N° 14 se usa normalmente

R17-5 CONDUCTORES

Un conductor es el trayecto a través del que se transfieren cargas eléctricas de un punto a otro. El aislamiento, como las cubiertas de hule o de plástico en la superficie de los conductores, confina el paso de las cargas eléctricas a lo largo de la trayectoria deseada.

Los conductores y los aisladores conducen la corriente, pero en cantidades infinitamente distintas. El paso de corriente por un aislador es tan pequeño, que para todo fin práctico es cero.

Los materiales que conducen la corriente con facilidad, como por ejemplo los alambres de cobre o aluminio, las barras de distribución y los conectores, son los componentes primarios del equipo eléctrico, los circuitos y sistemas. El empleo de conductores con su aislamiento está definido principalmente por el *National Electrical Code* ® (NEC), en Estados Unidos. El NEC proporciona listas de precauciones mínimas de seguridad que se necesitan para salvaguardar a las personas, a las construcciones

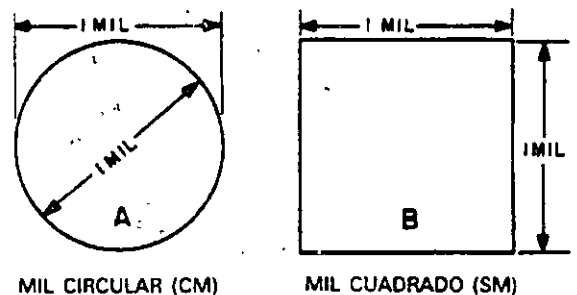


FIGURA R17-10 Unidades de numeración para conductores.

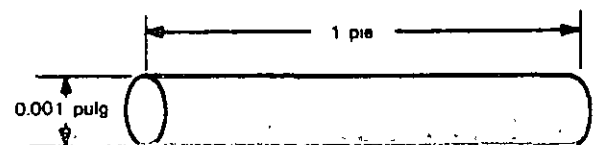


FIGURA R17-11 Mil circular-pie

en circuitos de alumbrado doméstico que llevan 15 amp. *Nota:* los tamaños de alambre *no* indican la capacidad en amperes. Este valor se obtiene en el folleto NEC y depende del tipo de conductor, tipo de aislador, y condiciones en los alrededores.

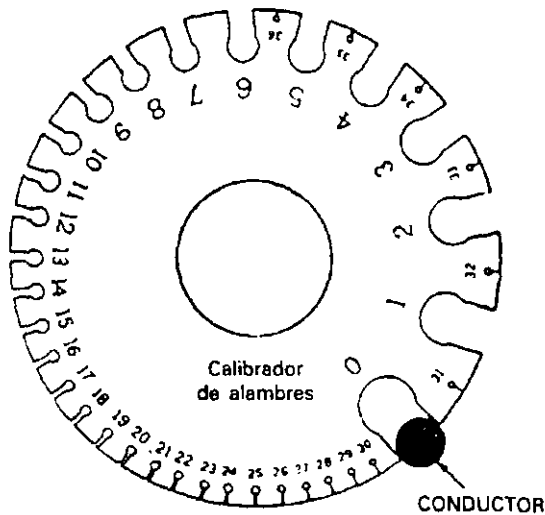


FIGURA R17-12 Calibrador de alambres.

R17-8 CLASIFICACION DE CONDUCTORES

Se puede elaborar una clasificación básica de alambres y cables, de acuerdo con el grado de recubrimiento usado:

1. Los *conductores desnudos* no tienen recubrimiento. El empleo más común de conductores desnudos es en líneas de transmisión aéreas de alto voltaje.
2. Los *conductores cubiertos* no están aislados, pero tienen protección contra el ambiente y resistencia al calor.
3. Los *conductores aislados* tienen un recubrimiento aislante sobre el conductor metálico, que aísla eléctricamente al conductor y permite agrupar conductores.
4. Los *conductores trenzados*, que están compuestos de un grupo de cables combinados, en general torcidos entre sí.
5. Los *cables* pueden ser dos o más conductores desnudos o aislados. En general, el término *cable* se aplica a los conductores mayores.

R17-9 PROTECCION DE CONDUCTORES

En el cableado residencial (dentro de las casas), la cubierta del conductor, o aislamiento, en general es suficiente para protegerlo de daños y de conexiones a tierra o de cortocircuitos. Sin embargo, en las construcciones comerciales e industriales hay mucho mayor riesgo de daños físicos. Por lo tanto, la mayor parte de los reglamentos eléctricos piden que los alambres o cables se instalen en *charolas*, lo cual simplemente es un canal para sostener los alambres, cables o barras de distribución. El canal puede ser metálico o de un material aislante,

El tubo conduit rígido y metálico es uno de los ductos más conocidos (figura R17-13). El conduit rígido es tubo de acero o de aluminio que encierra todos los conductores. Se usa un lubricante para ayudar a jalar los alambres por el conduit durante la instalación. Esos tubos conduit se usan para instalaciones ocultas en las construcciones en las que el cableado está bajo concreto o mampostería, porque dan buena protección al cableado que está sujeto a daños mecánicos o en lugares peligrosos. Se pueden hacer cambios de dirección en el tubo conduit con un doblador de tubos muy semejante al que se usa en los de cobre de refrigerante.

El conduit flexible (figura R17-14), que con frecuencia se llama *Greenfield* o *plica*, se usa cuando no es práctico el conduit rígido. Está formado con una sola banda de acero galvanizado arrollada en espiral en sí misma y engargolada para dar resistencia y flexibilidad. Se puede conformar con facilidad en numerosos cambios de dirección y vueltas. Absorbe la vibración y se puede usar donde se necesiten en la longitud, como por ejemplo, cuando se cambia de lugar un motor. El conduit flexible no está permitido en húmedos o peligrosos.

El tubo conduit metálico flexible e impermeable a líquidos, que a veces se llama *sellado hermético*, es adecuado para aceite, agua y determinadas sustancias químicas y atmósferas corrosivas que pudieran ocasionar problemas.

En esencia, es un conduit metálico flexible con una chaqueta exterior hermética a los líquidos.

El cable blindado (figura R 17-15), al que generalmente BX, consiste en conductores aislados cubiertos con una armadura que parece como conduit flexible. La armadura se debe pelar unos 20 cm en su extremo antes de conectarse a un registro.

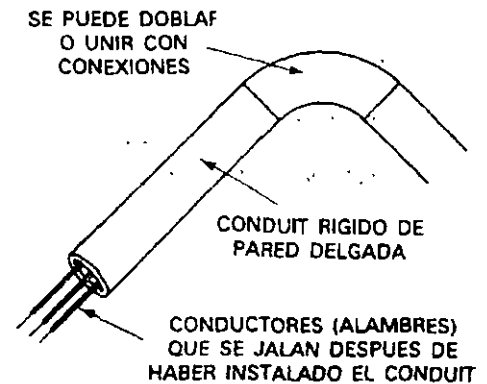
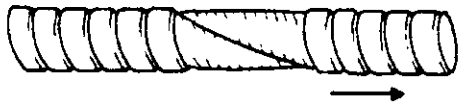


FIGURA R17-13 Conduit rígido de pared delgada.

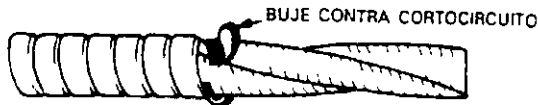


FIGURA R17-14 Conduit flexible (Greenfield).

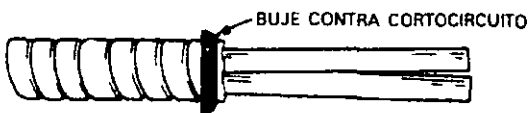
Para quitar la armadura del cable blindado



CORTE LA ARMADURA Y SAQUELA



INTRODUZCA EL BUJE ENTRE LA ENVOLTURA DE PAPEL Y LA ARMADURA



DESTUERZA LOS CONDUCTORES Y ROMPA EL PAPEL CERCA DEL BUJE

FIGURA R17-15 Cable blindado.

incendio

R17-10 FUSIBLES Y DISPOSITIVOS DE PROTECCION

¿Porqué usar fusibles? Para protección, claro. Pero ¿por que la necesidad de protección? Simplemente porque siempre que pasan electrones por un material se genera algo la temperatura del conductor aumenta. En un conductor de baja resistencia como el cobre, el aumento de temperatura es relativamente bajo. En un conductor de alta como el tungsteno (de los filamentos de los nicromo (de las resistencias de calefacción), el aumento de temperatura es más pronunciado.

Lo que se debe recordar es que para cada conductor de determinado material y de cierta dimensión, el aumento de temperatura limita la cantidad de corriente que puede pasar con seguridad. Un tramo de 30 cm de alambre de cobre de 1/4" conducirá más electricidad sin sobrecalentarse que un trozo de tungsteno de las mismas dimensiones. Pero el tramo de cobre de 30 cm de largo no puede conducir tanta corriente como uno de 1/2" de diámetro, de la misma longitud, sin calentarse.

Igualmente, los circuitos ramales de 15 A en una casa particular están cableados con conductores de cobre capaces de pasar 15 A sin sobrecalentarse. Si se presentara un corto, la resistencia cae prácticamente hasta cero y pasarían cientos de miles de amperes por el conductor. Si no hubiera fusibles, el aumento de temperatura ocasionado por tanta corriente, sobrecalentaría los conductores de 15 A y finalmente los quemaría, quizá originando un

R17-11 PRINCIPIO BÁSICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS FUSIBLES

En esencia, un fusible es una cinta de metal que se funde a temperatura relativamente baja, que se coloca en serie con el circuito o los aparatos que está diseñado para proteger (véase figura R17-16). Cuando, por cualquier razón, pasa más corriente que para la cual está diseñado el circuito, la cinta de metal se funde y se corta, abriendo el circuito antes de que pueda pasar demasiada corriente y sobrecaliente los conductores peligrosamente, o quemé aparatos diseñados para trabajar a mucho menor consumo de amperes.

Este es el principio básico de funcionamiento de todos los fusibles de accionamiento térmico, sean tapones o de cartucho. Cuando toda la carga eléctrica de un circuito es de resistencia, como focos incandescentes, calentadores o tostadores, una sola banda fusible, en cartucho o en tapón, proporciona suficiente protección. En esos circuitos, la capacidad del fusible en amperes no debe ser mayor que la de los conectores.

Cuando hay motores en la línea, el caso es algo distinto. Por ejemplo, cuando se pone a trabajar una unidad de refrigeración o un acondicionador de aire, el consumo de corriente al arranque puede ser de cinco a siete veces el que se tiene en operación normal. Durante la parte de un segundo en la que necesita el motor alcanzar la velocidad de trabajo, los conductores pueden llevar la mayor corriente con seguridad. Pero con tan sólo un listón fusible, digamos de un fusible de 15 A, diseñado para proteger un motor con consumo normal de corriente de 10 A, se puede quemar en menos de medio segundo cuando la corriente de arranque es de 60 A, originando una molesta interrupción de la corriente.

Si se usa un fusible de gran capacidad, por ejemplo de 60 A, en lugar del de 15 A, el nuevo fusible seguirá protegiendo contra un corto en el circuito, pero no protegerá contra sobrecargas. Una sobrecarga, hablando eléctricamente, es cualquier condición que hace que un aparato eléctrico tome más corriente que la normal, aunque siga trabajando. Un cojinete en mal estado que ocasiona una fricción en el motor puede hacer que éste tome más amperes que los de operación normal.

Un fusible sobredimensionado en el circuito haría posible que los conductores se sobrecalentaran hasta un nivel peligroso, aunque no pasara la suficiente corriente como para quemar el fusible que se seleccionó para proteger contra gran corriente al arranque.

R17-12 FUSIBLES

Los fusibles con demora de tiempo son la respuesta a esos problemas. Se consiguen en forma tanto de tapones como de cartuchos, y tienen un elemento doble. Un elemento es el eslabón metálico sencillo que abre en forma instantánea al circuito en el caso de un corto. El segundo elemento usa un crisol diminuto de soldadura para hacer contacto eléctrico normal. Si el consumo de corriente es demasiado durante un período lo suficientemente grande como para que se funda la soldadura, la acción del resorte rompe el contacto eléctrico, abriendo el circuito.

El conjunto de crisol y resorte puede diseñarse para diversos límites de protección. Uno, por ejemplo, está diseñado de tal forma que permite sobrecargas hasta de 500% durante 10 segundos sin abrir el circuito. Otro tomará una sobrecarga de 200% durante 110 segundos. Esta demora da tiempo suficiente para que arranque el motor. Cuando se quema un fusible, la causa puede ser una de las siguientes:

- Un cortocircuito
- Una sobrecarga
- Demora insuficiente de tiempo del fusible
- Malos contactos en, o cerca del fusible
- Sobrecalentamiento del fusible, por altas temperaturas ambientes, o por haber demasiados fusibles en un tablero
- Empleo incorrecto del fusible
- Vibración

Regla cardinal: *Nunca cambie un fusible quemado sin determinar y corregir la causa del circuito abierto.*

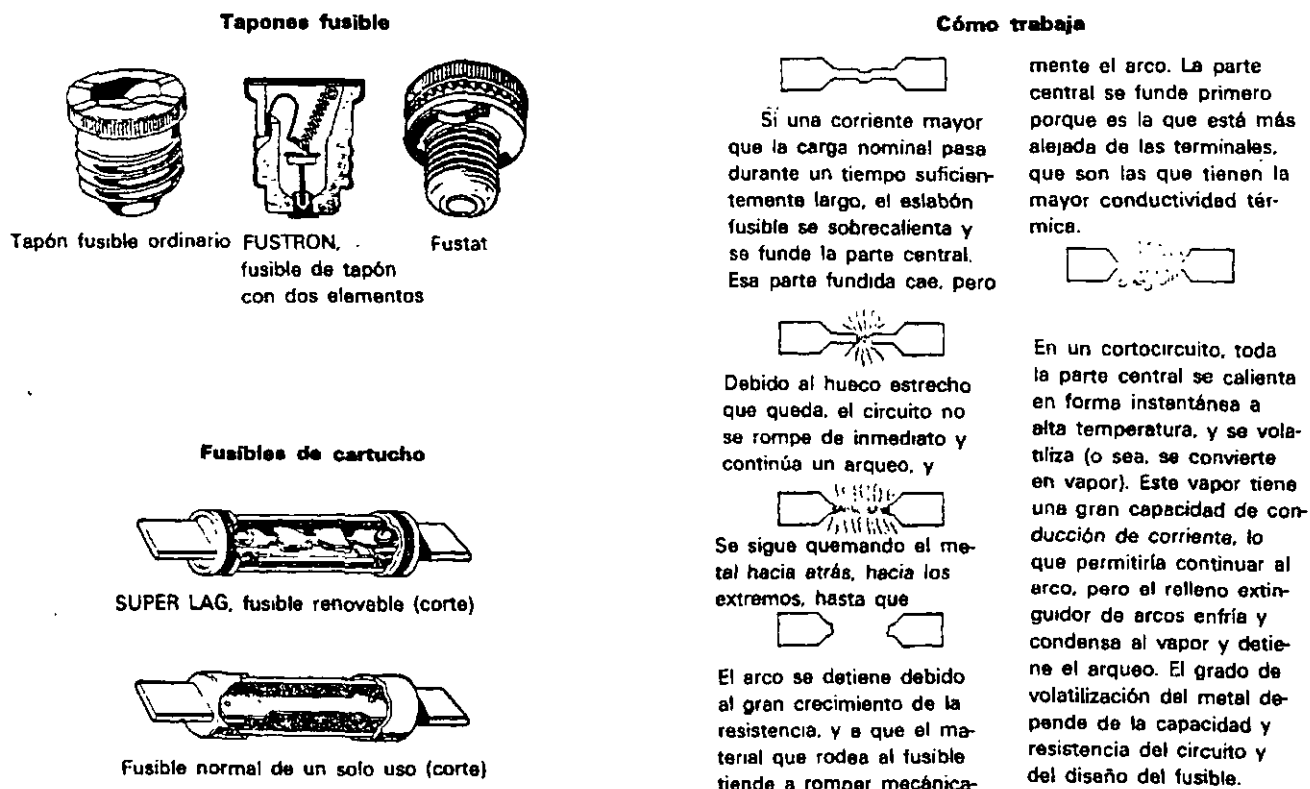


FIGURA R17-16 Fusible (Cortesía de Bussman Manufacturing, a McGraw-Edison Company Division.)

R17-13 DISPOSITIVOS DE CORTE POR SOBRECORRIENTE

El *protector térmico de sobrecarga* también trabaja de acuerdo con el principio de generación de calor debida al flujo de corriente, pero aplica el principio en forma mecánica, y se usa en los compresores herméticos. Está compuesto de una banda delgada de metal, que en realidad se compone de dos cintas más delgadas de metales diferentes prensados entre sí. Un metal tiene mayor tasa de expansión que el otro, al calentarse (véase figura R17-17).

Al estar sujetos al calor, los dos metales se expanden en cantidades distintas y hacen que la cinta se tuerza y distorsione, porque uno o ambos extremos están firmemente sujetos. La banda bimetálica se puede diseñar y dar forma de tal manera que se tuerza lo suficiente para abrir un circuito eléctrico, con el cual se conecta en serie, a una

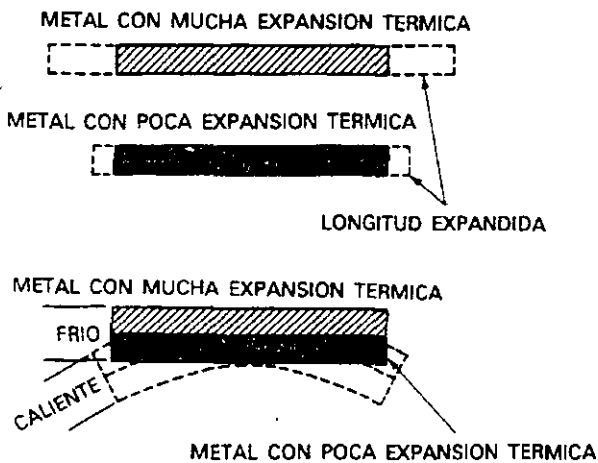


FIGURA R17-17 Elemento bimetálico.

temperatura predeterminada. El aumento de temperatura se puede deber al paso de la corriente o a alta generación de calor en el compresor.

Cuando el elemento bimetálico se enfría, se regresa a su forma, tamaño y configuración originales y cierra nuevamente el circuito, si es de restablecimiento automático. Si la causa del circuito abierto por primera vez era pasajera, la unidad trabajará con normalidad. Si hay alguna condición que ocasione la alta temperatura o corriente crónicas, el protector de sobrecarga abrirá en forma repetida el circuito, hasta que se corrija la anomalía.

Los elementos bimetálicos se aplican también en los interruptores termomagnéticos, arrancadores de motores y relevadores, todos los cuales se describirán más adelante.

PROBLEMAS

- R17-1 La corriente inducida se produce en una espira giratoria dentro de un campo magnético. ¿Cierto o falso?
- R17-2 La corriente alterna, ¿produce una gráfica de voltaje que es una recta o una curva senoidal?
- R17-3. Una corriente de 60 hertz quiere decir que se produce un ciclo cada sesenta segundos. ¿Cierto o falso?
- R17-4 Las corrientes monofásica y trifásica son las más empleadas. ¿Cierto o falso?
- R17-5 Los voltajes normales en residencias son _____.
- R17-6 La corriente trifásica es la que se usa normalmente en _____.
- R17-7 Un material que conduce con facilidad la corriente eléctrica se llama _____.
- R17-8 La medida que se usa para dimensionar un conductor se llama _____.
- R17-9 "NEC" quiere decir _____.
- R17-10 Un canal para sostener conductores, cables, etc., se llama normalmente una _____.
- R17-11. ¿Se instalan los fusibles para proteger los aparatos eléctricos (como focos, motores, etc.) o para proteger los conductores eléctricos (cables)?
- R17-12 El tipo de fusible que se usa en los circuitos con motores se llama _____.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

COMPONENTES ELÉCTRICOS

**EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA**

18-1 GENERALIDADES

En el capítulo R16 se presentó la electricidad básica, mencionando los diversos componentes, como por ejemplo transformadores y generadores, así como los tipos de cargas, como por ejemplo los focos. En el capítulo R17 se describió la generación eléctrica con medios mecánicos/magnéticos, al igual que los conductores para su distribución. En el campo de la refrigeración y el aire acondicionado, donde el mayor número de problemas potenciales se dan en la parte eléctrica del equipo, también debemos ir más allá de los circuitos sencillos, porque el técnico de servicio y aplicaciones debe familiarizarse con componentes tales como transformadores, relevadores, contactores, arrancadores de motor, protectores de motor, etc.

R18-2 COMPONENTES BÁSICOS DE LOS CIRCUITOS

Todo circuito eléctrico, en el que se obtiene, se mueve y se usa la corriente eléctrica, consiste en tres partes básicas:

1. **Fuente de poder** Se necesita una fuente de energía eléctrica, sea acumulador, generador, cristal piezoeléctrico o termopar.
2. **Carga** Algo debe poder convertir la energía eléctrica en otra forma para poderse usar para determinado(s) fin(es).
3. **Conductores** Se debe contar con un medio para conducir la energía eléctrica desde la fuente de poder hasta la carga. Los conductores se describieron en el capítulo R17, y por lo tanto sólo se necesita un poco más de descripción acerca de ellos.

A veces se consideraba que los controles eran una parte básica del circuito eléctrico. Sin embargo, esto es un error, porque no todos los circuitos eléctricos tienen controles. De hecho, la carga podría no trabajar en forma correcta, en el caso de un reloj eléctrico o del transformador de control en la unidad de acondicionamiento de aire, si se colocara un control de encendido-apagado en el circuito para controlar el reloj o el transformador de poder. Sin embargo, como regla general, los controles son necesarios en el campo de refrigeración y aire acondicionado para obtener los resultados deseados.

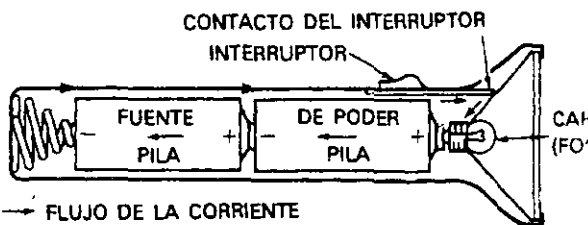


FIGURA R18-1

El circuito más básico de todos es el de una lámpara sorda (figura R-18). En este circuito, las pilas son la fuente de poder, el foco es la carga, y la envoltura es el conductor. Como se desea un funcionamiento de conectado-desconectado, se ha agregado un interruptor como dispositivo de control. Este circuito es igual al sencillo de alumbrado doméstico (figura R18-2), en que el transformador del poste que alimenta electricidad a la casa es la fuente de poder, el foco es la carga y los cables y alambres desde el transformador mayor, pasando por la entrada de servicio, tablero

de fusibles e interruptor hasta el foco, son los conductores. Un dispositivo de control, el interruptor de encendido-apagado, se emplea para poner en funcionamiento siempre que se desee, y los fusibles también se incluyen como protección.

Sin embargo, los circuitos eléctricos pueden prestarse a confusión, porque se pueden conectar muchas carga a una sola fuente de poder, y cada carga manejarse con un dispositivo de control; una sola carga puede regularse con muchos dispositivos de control, o muchas cargas se pueden regular con muchos dispositivos de control. Los *circuitos eléctricos deben tener sólo una fuente de poder*.

Por lo tanto, como dijimos antes, todos los circuitos eléctricos consisten en lo siguiente:

1. Fuente de poder
2. Carga
3. Conductores
4. Controles (opcional)

R18-3 FUENTE DE PODER

En el capítulo R17 se describió la generación de energía eléctrica de ca por medios mecánicos, así como su distribución a través de los transformadores que alimentan al sistema secundario. La carga de los transformadores de la subestación, y a su vez los aparatos eléctricos en los hogares, comercios e industrias son las cargas de los transformadores secundarios.

De lo anterior llegamos a la conclusión de que los transformadores son cargas cuando reciben energía, y son fuentes de poder cuando la dan. En esta descripción nos enfocaremos al transformador como fuente de poder, y es su principal función. Para ser más explícitos, debemos indicar que la función principal del transformador es cambiar la presión (voltaje) eléctrica hacia arriba o hacia abajo para obtener el voltaje adecuado para el sistema que soportar.

Los transformadores de potencia consisten en dos bobinas de alambre devanadas juntas alrededor de un núcleo interior laminado y que son capaces de cambiar la presión eléctrica o voltaje en proporción directa al número de vueltas en las dos bobinas (véase figura R 18-3).

Para comprender el funcionamiento de un transformador debemos regresar al conductor en un campo magnético. Cuando se describió la generación de corriente, hicimos pasar un conductor por un campo magnético, con lo cual produjimos un potencial eléctrico (voltaje) en el conductor. En los transformadores se usa el principio de que se produce un campo magnético alrededor de un conductor

cuando se pasa corriente eléctrica por él, como fuente de campo magnético para generación en el segundo conductor. Colocando los conductores en paralelo (figura R18-4) y aplicando voltaje a los puntos A y B del conductor 1, pasará corriente eléctrica por él y se generará un campo magnético a su alrededor. La cantidad de campo magnético dependerá de la cantidad de corriente que pase por él. A medida que se forma el campo magnético alrededor del conductor 1, sus líneas de fuerza cortarán al conductor 2 e inducirán un voltaje en él. Nuevamente la cantidad de voltaje inducida en el conductor 2 dependerá de la cantidad de líneas de campo magnético que corten al conductor 2.

Como lo que produce el voltaje inducido es la acción del campo magnético que pasa por el segundo conductor, los transformadores deben tener voltaje variable (corriente alterna) y no trabajan cuando el voltaje es fijo (corriente directa). La cantidad de voltaje que se produce en el segundo conductor está en proporción directa a la longitud de los conductores que están expuestos entre sí. Si los conductores son de igual longitud, el

voltaje en el conductor 1 (que se llama *lado o devanado primario*) será igual al voltaje inducido en el conductor 2 (a éste se le llama *lado o devanado secundario*). Si el conductor secundario sólo tuviera el 10% de la longitud del primario, por estar expuesto a un 10% de la longitud del primario, el voltaje inducido en el secundario sería el 10% del voltaje del primario (véase figura R18-5).

También, para tener más eficiencia y menor volumen, los conductores están en bobinas que rodean núcleos magnéticos de hierro. El cambio de voltaje está determinado, entonces, por el número de vueltas en cada devanado, en vez de por la longitud de los conductores. Esto se puede enunciar como regla: El voltaje secundario (E_s) es igual al voltaje primario (E_p) multiplicado por la relación de las vueltas en el secundario (N_s) entre las vueltas en el primario (N_p):

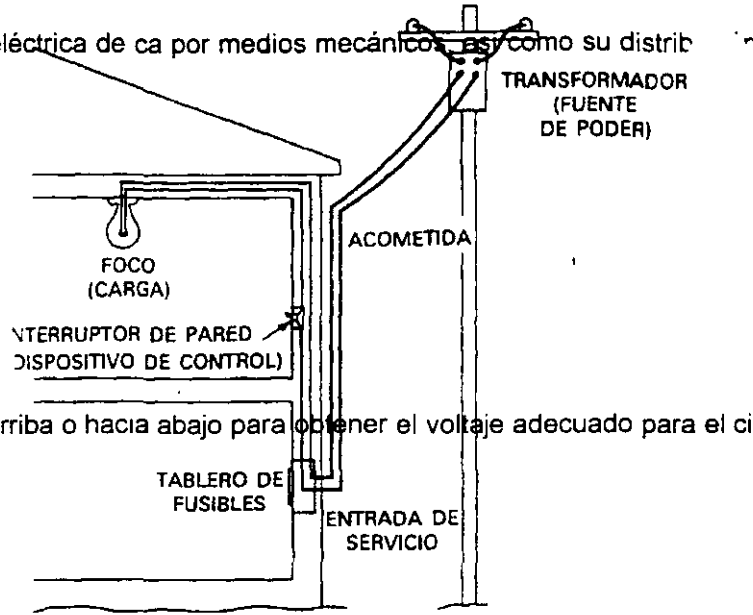


FIGURA R18-2

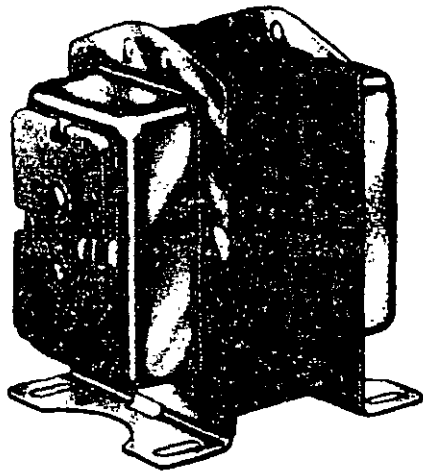


FIGURA R18-3 Transformador de control de bajo voltaje (Cortesía de Honeywell, Inc.)

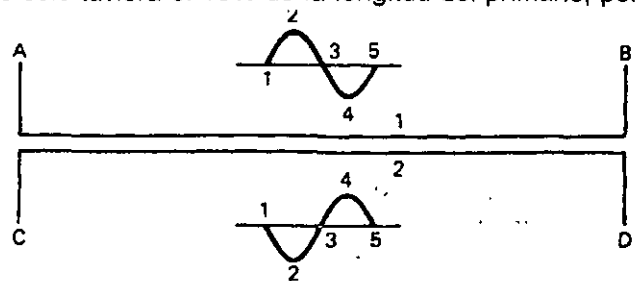


FIGURA R18-4

$$E_s = E_p N_s / N_p$$

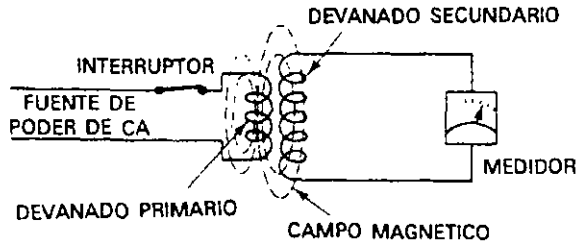


FIGURA R18-5 (Cortesía de ACCA.)

EJEMPLO

Un transformador tiene 250 vueltas en el devanado primario y 125 en el secundario. Si se aplica una fuente de 240 V ca al devanado primario, ¿cuál será el valor del voltaje disponible en el devanado secundario?

SOLUCION

Empleando la ecuación la respuesta sería

$$E_s = 240 (125/250) = 240(0.5) = 120 \text{ V}$$

Se debe hacer notar que el número de vueltas en la bobina del secundario sólo es la mitad de las vueltas en el primario; por lo tanto, el voltaje secundario es la mitad del voltaje primario. Otra ecuación que podría enunciarse sería

$$\frac{\text{voltaje primario o de fuente}}{\text{voltaje secundario o inducido}} = \frac{\text{número de vueltas en el primario}}{\text{número de vueltas en el secundario}}$$

que se puede describir como: $E_p / E_s = N_p / N_s$

Si, como se ve en la ecuación (R 18-2), el voltaje de la fuente a la bobina primaria es 120 V y hay 250 vueltas en esa bobina y solo 50 vueltas en la bobina secundaria, el voltaje secundario resultante sería 24 V. La ecuación sería

$$E_s = 120 (50/250) = 120 (0.20) = 24 \text{ V}$$

Un tipo de transformador en el que el devanado secundario tiene menor número de vueltas, y por lo tanto menor voltaje que el devanado primario, se llama transformador de bajada. Es el tipo de transformador que se utiliza en los circuitos de control de bajo voltaje que se usan en refrigeración, aire acondicionado y calefacción. Los transformadores de subida son aquellos en los que el devanado secundario tiene mayor número de vueltas que el primario. El transformador de subida se usa cuando se desea mayor voltaje, pero que no se puede obtener con facilidad de la fuente primaria. Si la bobina del primario tiene 100 vueltas y la del secundario 1000 vueltas, el voltaje del secundario, será diez veces el voltaje del primario (véase figura R18-6).

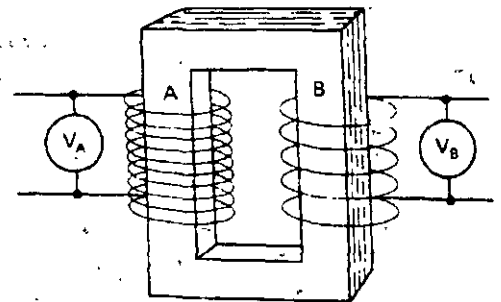


FIGURA R18-6 (Cortesía de ACCA.)

Como la potencia es el resultado del voltaje efectivo, multiplicado por la corriente efectiva, o sea $W = EI$ la relación de la potencia en la bobina secundaria se mantiene estrechamente en la primaria. Esta relación se expresa como:

$$E_p I_p = E_s I_s$$

en la cual

- E_p = voltaje del primario
- I_p = corriente del primario
- E_s = voltaje del secundario
- I_s = corriente del secundario

EJEMPLO

Si el voltaje en el primario de un transformador es 120 V y tiene una corriente de 1 A, y el devanado secundario tiene un voltaje de 24 V, ¿qué corriente está disponible en el secundario?

SOLUCION

Empleando la ecuación obtenemos

$$I_s = E_p I_p / E_s = 120 \times 1 / 24 = 120 / 24 = 5 \text{ A}$$

En los transformadores, tanto de subida como de bajada, se usa otra ecuación. La corriente en amperes que pasa por la bobina primaria, multiplicada por el número de vueltas de la bobina, es igual a los amperes-vuelta de la bobina secundaria. Esto se expresa así:

$$I_p N_p = I_s N_s$$

Por lo tanto, en un transformador de bajada, la corriente del secundario será mayor que la que maneja el devanado primario, porque el número de vueltas es menor en el secundario. Si, para el ejemplo anterior, hay 250 vueltas en el primario y 50 en el secundario, la ecuación (R18-4) demuestra que

$$1 \times 250 = 5 \times 50 = 250 \text{ amperes vuelta en cada bobina}$$

El devanado secundario de un transformador siempre se conecta a la carga que maneja. Los dos tipos principales de construcción de transformador: la de núcleo y la acorazada, se ven en la figura R18-7. La figura R18-7a muestra el transformador tipo núcleo, en el que el devanado de cobre rodea al núcleo de hierro laminado. La figura R18-7b muestra el transformador tipo acorazado, en el que el núcleo de hierro rodea al devanado de cobre de las dos bobinas.

En resumen, la relación de voltaje entre los devanados primario y secundario de un transformador está en relación directa al número de vueltas del alambre de cada devanado. Si un devanado tiene el doble de vueltas que el otro, naturalmente tendrá el doble de voltaje. A la inversa, la circulación de corriente en los dos devanados será inversamente proporcional a la relación de vueltas en las dos bobinas. La designación de la relación en el transformador, como el que se usó en el ejemplo para explicar la ecuación (R18-1) sería de transformador de bajada dos a uno, ya que el voltaje en el primario es el mayor.

Como el transformador trabaja en cualquier dirección, si la bobina de 24 V se conectara a una fuente de poder de 24 V, se obtendrían 115 V en la otra bobina. En este caso, la bobina de 24 V sería el primario y la de 115 V, el secundario. Se debe tener cuidado al cablear los controles, cuando intervienen varios transformadores, para evitar esta acción inversa. Podría tenerse un alto voltaje, que podría ser peligroso al igual que causar un funcionamiento errático de los controles, y falla del control.

Se debe tener cuidado en asegurar que las bobinas del transformador se conecten al voltaje o presión eléctrica que estén diseñados para manejar. Si el voltaje aplicado es mayor que la capacidad del devanado, la bobina no manejará ese voltaje y se quemará con rapidez. Si el voltaje es menor que la capacidad del devanado, el transformador no entregará lo esperado, se sobrecalentará y finalmente se quemará. Siempre compruebe la capacidad de voltaje, y asegúrese que la alimentación sea del voltaje nominal.

Los transformadores, al igual que los acumuladores, tienen una capacidad máxima. La capacidad de los acumuladores se da en voltamperes hora, y la de los transformadores en voltamperes. Un acumulador suministrará el voltaje nominal durante determinado tiempo que depende de la carga conectada. Si el acumulador tiene una capacidad de 1 voltampere-hora entregará 1 ampere durante 1 hora a un volt, o múltiplos de los anteriores, antes que comience a decaer el voltaje; por ejemplo, 1/2 A (ampere), durante 2 horas, 2 A durante 1/2 hora, etc.

Como un transformador no depende de energía almacenada, sino que toma su energía de una fuente de poder, el factor tiempo no se aplica. Por lo tanto, la capacidad del transformador se expresa sólo en voltamperes. Por ejemplo, si la capacidad del transformador es 40 VA a 24 V, su capacidad máxima es 40 VA dividida entre 24 V, o sea, 1.665 A. Siempre que la carga de amperes conectada al transformador no sea mayor que esta cantidad máxima, el transformador entregará pleno voltaje.

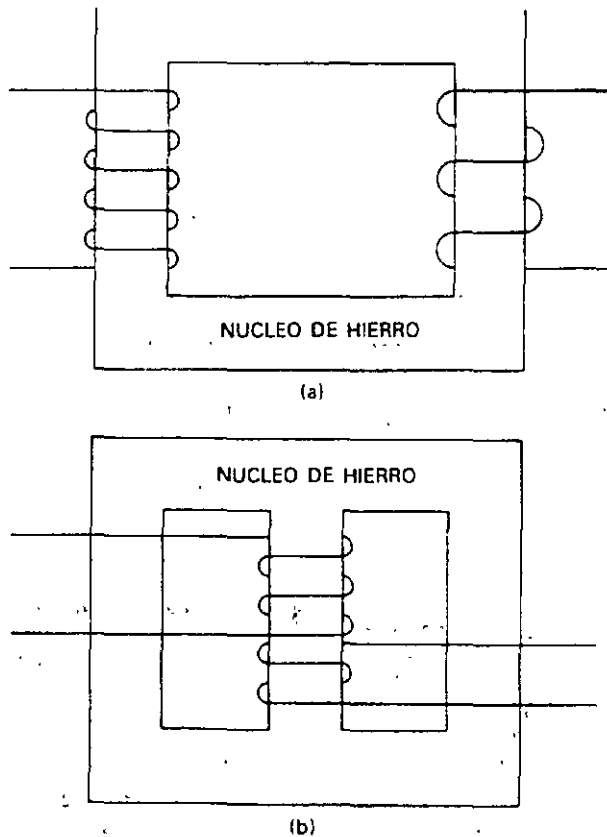


FIGURA R18-7 Transformadores: a) tipo núcleo; b) tipo blindado. (Cortesía de Trane Company.)

Sin embargo, si se rebasa la cantidad máxima, el voltaje de salida del transformador disminuirá en aproximadamente la misma relación en la que aumenta la carga de amperaje conectada. Esto ocasiona menor voltaje a las bobinas de relevadores, de solenoides y otras cargas conectadas. También, al aumentar la carga en exceso del transformador, el calor generado en él aumenta, su vida disminuye y se quema.

Todos los dispositivos de corriente alterna que emplean bobinas magnéticas, como relevadores, solenoides, motores, etc., tienen una tolerancia de voltaje de 10% de más o de menos con respecto al voltaje nominal, independientemente del valor de éste. Un relevador de 115 V trabaja a 10% de 115 V, de más o de menos: 115 V mas 10%, o sea 126.5 V máximo, o 115 V menos 10%, o sea 103.5 V. Esto es del dominio público.

Sin embargo, lo que no siempre se tiene en cuenta, es que los dispositivos de 24 V también tienen la misma tolerancia de porcentaje. Un relevador de 24 V trabajará en forma satisfactoria a un máximo de 24 V mas 10%, o sea 26.4 V, y a un mínimo de 24 V menos 10%, o sea 21.6 V. Rara vez es problema un alto voltaje en los dispositivos de 24 V, porque se presenta poco. Para rebasar la salida de 26.4 V del secundario de un transformador de 115 V a 24 V, el voltaje primario, 115 V nominales, debe ser mayor que 126.72 V.

Sin embargo, el caso inverso sí es común en un complejo grande de sistemas de control. Si, por ejemplo, el sistema de control conectado al sistema de aire acondicionado usa motores de compuertas para tener control de zonas individuales, un relevador de ventilador para solenoide de tubería de líquido para paro automático, un motor de compuerta para cambio de estación y un contactor para el conjunto del motor y compresor, y todos estos dispositivos estuvieran conectados al transformador de 40 VA de la unidad de condensación, podría suceder lo siguiente:

1. Al ajustar el interruptor de estación en el termostato para tener enfriamiento se energiza el motor de la compuerta de cambio de estación. Esto agrega una carga al transformador, de unos 0.625 A, dependiendo del motor de la compuerta que se use.
2. Al ajustar el interruptor del ventilador en la subbase del termostato se energiza el relevador del ventilador, que toma un promedio de 0.229 A. La carga total del transformador sube a 0.85 A.
3. Una elevación en la temperatura del recinto hace que el termostato de enfriamiento cierre, energizando al motor de la compuerta. Se agrega otra carga de 0.625 A al transformador. La carga total de éste es ya 1.475 A.
4. El motor de la compuerta de zona abre su compuerta y cierra un interruptor para energizar la válvula de la tubería de líquido. Esto agrega una carga adicional al transformador, que es aproximadamente 0.5 A. La carga del transformador sube hasta 1.975 A, lo cual es un exceso de 0.32 A sobre la capacidad nominal del transformador. Aunque el voltaje de salida del transformador no baja en proporción directa con la cantidad de sobrecarga, se puede esperar que el voltaje de salida sea aproximadamente 40 VA dividido entre la carga de 1.975 A, o sea 21.3 V. Como 21.3 V es menos que la tolerancia mínima de voltaje de menos 10% en la solenoide del tubo de líquido, éste abrirá lentamente, zumbará fuerte y se sobrecalentará paulatinamente. El transformador también se sobrecalentará bajo esta carga y finalmente se quemará.
5. Sin embargo esto no es todo. El solenoide del tubo de líquido abrirá y permitirá que pase refrigerante. Esta entrada de refrigerante al serpentín de enfriamiento originará un aumento de la presión de succión y hará que cierre el control de baja presión. Al cerrar los contactos de éste se energiza la bobina del contactor del motor del compresor, introduciendo una carga adicional de unos 0.229 A al transformador, que entonces tendrá ya 2.204 A, y el voltaje de salida puede bajar hasta unos 18 V. Como este voltaje es bastante menor que el voltaje mínimo de

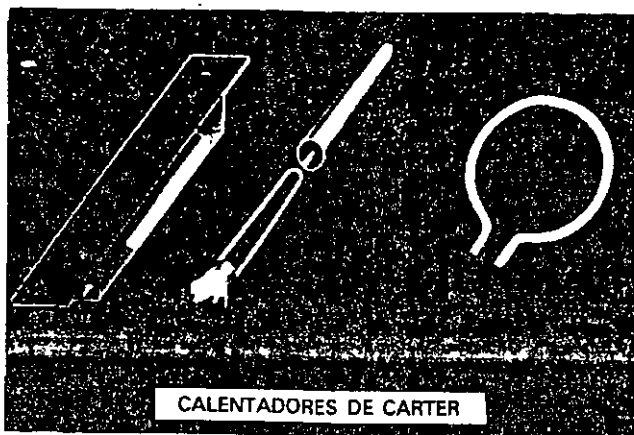


FIGURA R18-8 Cargas primarias.

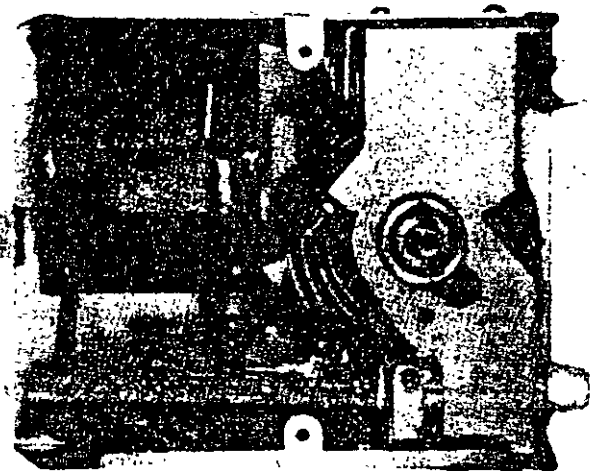


FIGURA R18-10 Carga primaria.

21.6 V, el relevador no ejercerá toda su fuerza, golpeteará demasiado, los contactos rebotarán en lugar de cerrar con firmeza, el sistema eléctrico del motor del compresor estará sujeto a conexión y desconexión rápida del suministro eléctrico y los capacitores de arranque, relevadores y motores del compresor se quemarán. Todo es' se debe al voltaje demasiado bajo, causado por demasiada carga al transformador de 24 V del circuito de contr. Por lo tanto, *siempre asegúrese que la carga total conectada nunca rebase la capacidad de salida del transformador.*

R18-4 CARGAS

La parte de las cargas de un circuito eléctrico es aquella que conecta la energía eléctrica a dispositivos que la transforman en alguna otra forma de energía útil.

R18 -4.1 Cargas térmicas

Si la conversión es a calor, se dice que la carga es *carga térmica*. Las cargas térmicas se dividen en dos tipos:

1. Tipo primario
2. Tipo parásito

Tipo primario: La carga de resistencia tipo primario es un resistor dimensionado para convertir la presión eléctrica total, o voltaje, en calor. Este resistor se conecta a la fuente de poder con o sin dispositivos de control y se dimensiona para emitir cierta cantidad de calor y tomar el amperaje necesario para producir el calor que se desee. Una carga primaria de resistencia en una unidad de aire acondicionado podría ser:

1. El calentador del cárter
2. Calentadores de listón
3. El motor tipo calentador de una compuerta
4. El motor tipo calentador de una válvula

Calentador del cárter Estos calentadores se usan para evitar la acumulación de refrigerante líquido en el conjunto del motor y compresor durante largos períodos de apagado, o durante el invierno. Debido a la necesidad de funcionamiento cuando la unidad no está al lado debido a la falta de protección y a la necesidad

Calentadores de listón Estos calentadores son cargas de resistencia primaria, para convertir energía pueden usar alambres desnudos o también blindados, como resistencia. Los calentadores de este tipo se controlan en general para mantener condiciones de confort (véase figura RI 8-9).

Motor térmico de compuerta En una aplicación de este tipo, el resistor de carga se usa para producir el calor que se necesita para distorsionar un elemento bimetalico y producir el movimiento necesario para accionar compuertas. El resistor se diseña para conectarse a todo el voltaje de la fuente de poder, y se controla generalmente mediante un dispositivo de conmutación (véase figura R 1810).

Relevador de motor térmico En esta aplicación, como la del motor de compuerta, se usa el calor de una resistencia de carga para distorsionar un elemento bimetalico. En lugar de que el elemento produzca un movimiento rotatorio, se usa movimiento en una sola dirección para abrir y cerrar el contacto del relevador. Este también es una resistencia que se conecta a todo el voltaje (primaria) y se controla mediante dispositivos de conmutación (véase figura R 18-11).

Tipo parásito: Un resistor parásito emplea una pequeña parte de la corriente que toma otra carga, en general inductancia, para reducir la cantidad necesaria de calor.

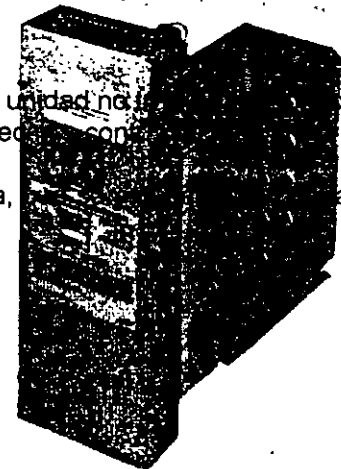


FIGURA R18-9 Calentador de resistencia en ducto: carga primaria. (Cortesía de Lennox Industries.)

Mientras mayor sea el amperaje que pasa por el calentador parásito, debido a demandas de la carga, mayor será la cantidad de calor emitida por el calentador.

Este dispositivo se emplea para abrir un circuito de control o abrir contactos si el calor que emite el calentador parásito aumenta demasiado a causa de las demandas anormalmente altas de amperaje de la carga principal. El calor excesivo hace que un elemento bimetalico se deforme y abra los contactos. La abertura de los contactos corta el suministro eléctrico a la carga principal, abriendo un circuito separado de control, como en la figura RI 8-12 (derecha), o abriendo el conductor principal a la carga, como en la figura R18-12 (izquierda).

Otro ejemplo de un calentador parásito es el resistor de anticipación de calor de un termostato. En un termostato de calefacción, el resistor anticipador de calor emplea una pequeña parte del amperaje, que pasa por el circuito de control de calefacción, y genera el calor necesario para producir el funcionamiento anticipado de la banda bimetalica del termostato. Así, debido a que la cantidad de calor necesario para activar al termostato siempre es la misma, independientemente de las necesidades de amperaje de los controles de calefacción, es necesario que el resistor del anticipador de calor coincida con las necesidades de amperaje de los controles de calefacción. Si el control de calefacción necesitara de 1 A para accionar en forma adecuada, se usaría un resistor parásito más pequeño como anticipador de calor si los controles sólo necesitaran de A para accionar, El no comprobar la magnitud de la resistencia del anticipador de calor ha originado un alto porcentaje de cambios de termostato en el campo (véase figura R 18-13).

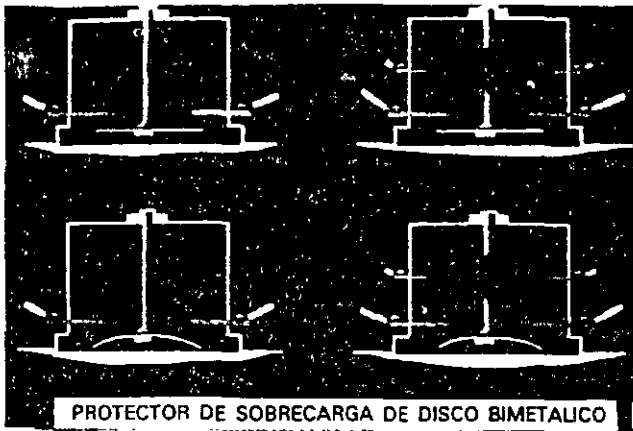


FIGURA R18-12 Carga parásita.

R18-4.2 Cargas inductivas o magnéticas

Las cargas de inductancia son dispositivos que emplean la energía eléctrica y la convierten en energía magnética, para crear un campo magnético. Los campos magnéticos se emplean entonces para producir el movimiento de una armadura, como por ejemplo en un relevador o contactor, o movimiento rotatorio de un rotor, como en un motor.

En una carga de resistencia, el consumo de amperes depende en forma directa de la resistencia del resistor y del voltaje aplicado. Sin embargo, en una carga inductiva la corriente que se consume queda limitada por la cantidad de presión eléctrica, o voltaje, de oposición; que se genera en la bobina del dispositivo. Este voltaje contrario, que se llama fuerza contraelectromotriz (fcm), se genera cuando el campo magnético creado por la energía eléctrica al pasar por la bobina cambia a causa del aumento y disminución de la presión o voltaje eléctricos. Como la corriente alterna invierte su dirección, o alterna (comienza en cero, llega a un máximo en una dirección, baja a cero, llega a un máximo en la

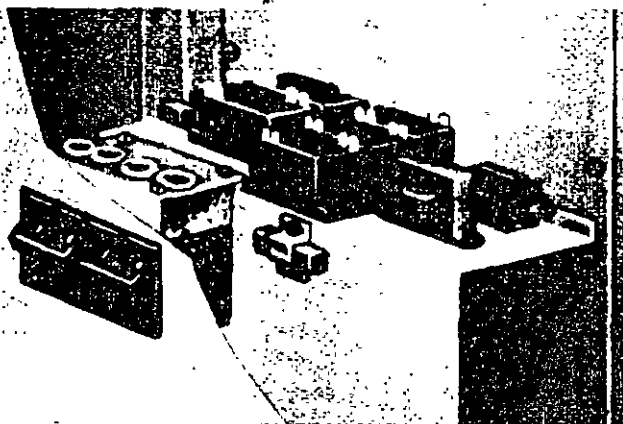


FIGURA R18-11 Carga primaria.

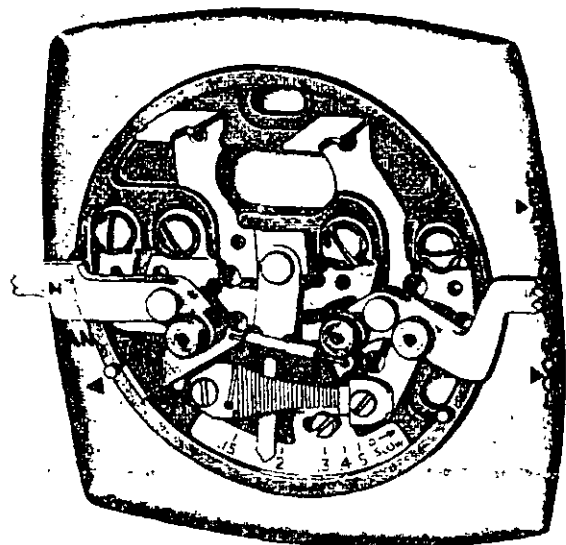


FIGURA R18-13 Anticipador de calor. carga parásita.
(Cortesía de Control Products Division, Johnson Controls, Inc)

dirección contraria y regresa a cero, completando un ciclo) el campo magnético también sigue este comportamiento. El campo se inicia en cero, crece a una intensidad máxima en una polaridad, baja a cero, aumenta a un máximo de polaridad opuesta, y regresa a cero. Al crecer o disminuir el campo magnético en el dispositivo, corta las demás vueltas de la bobina. Esto produce una presión o voltaje eléctricos en dirección contraria a la de la presión o voltaje originales.

Es natural que mientras menor sea la resistencia al flujo que encuentre el campo magnético, mayor será la intensidad del campo y mayor el efecto de generación. Si el campo magnético no encontrara resistencia y pudiera generar el pleno contra voltaje, éste sería igual al voltaje aplicado. Entonces los dos voltajes se contrapondrían entre sí y no pasaría corriente. Sin embargo, se espera que el campo magnético efectúe cierto trabajo, como por ejemplo mover una armadura en un relevador, jalar un émbolo de un solenoide, o hacer girar al rotor de un motor. Este trabajo constituye la resistencia al flujo del campo magnético y determina la capacidad que tiene la bobina de generar la fuerza contraelectromotriz. Como un núcleo abierto de hierro (figura R18-14) tiene resistencia al flujo del campo magnético que un circuito cerrado de hierro, la cantidad de fuerza contraelectromotriz generada es menor que la que se genera cuando el hierro forma un circuito. Esta es la razón por la cual una bobina de relevador toma más corriente para cerrar el relevador que para mantenerlo cerrado o abrir una válvula solenoide que para mantenerla abierta. Esta también es la razón por la cual un motor toma más corriente a medida que aumenta la carga del mismo. Como se espera que el campo magnético del motor haga más trabajo cuando aumenta la carga, se convierte más energía magnética a energía de trabajo, y queda menos energía magnética para generar el contravoltaje. Entonces aumenta la diferencia de voltaje entre el aplicado y el contrario, y aumenta el flujo de corriente a través del devanado. También, cuando aumenta el flujo de corriente a través del devanado, más de la resistencia del conductor del devanado es la que convierte energía eléctrica en calor y el conductor se calienta más. Esto quiere decir que si la armadura del relevador no cierra, el émbolo del solenoide no jala, o el motor se sobrecarga, el conductor de los devanados se calentará hasta el punto que fallará el aislamiento y se quemará.

En la sección de transformadores, se dice que "los electrodomésticos de corriente alterna toleran un voltaje igual al nominal más o menos el 10%". Para tener la intensidad adecuada de campo magnético que efectúe el trabajo necesario, el voltaje o presión eléctrica debe ser lo bastante alto como para impulsar la corriente adecuada por la bobina. Por lo tanto, cuando el voltaje es demasiado bajo, la bobina no desarrolla el "jalón" necesario, y el dispositivo no hará el trabajo adecuado. En el caso de un relevador o un solenoide, la armadura o el émbolo no "jalarán", la resistencia al campo magnético permanecerá alta, la fuerza contraelectromotriz permanecerá baja, y la bobina tomará demasiada corriente. Con esto se sobrecalienta y se quema la bobina. En el caso de un motor, los campos magnéticos no son suficientes para hacer que gire el motor, y de nuevo la fuerza contraelectromotriz generada es muy baja, el motor toma demasiada corriente y se quema rápidamente. Es natural que el motor tenga protecciones de sobrecarga para que no se queme, pero tienen sus limitaciones.

El voltaje excesivo también origina devanados quemados, ya que el voltaje aplicado es mayor que el contravoltaje generado, manteniendo la diferencia de voltaje mayor que la que el dispositivo está diseñado para manejar. Como resultado, los devanados deben conducir más corriente que la normal, se sobrecalientan, el aislamiento se descompone y los devanados se queman. La rapidez del proceso de tostación es menor cuando el voltaje es alto que cuando es bajo, pero el resultado final, devanados quemados, es inevitable. Por lo tanto, cuando la unidad trata de arrancar, asegúrese siempre que el voltaje aplicado sea el nominal de ella.

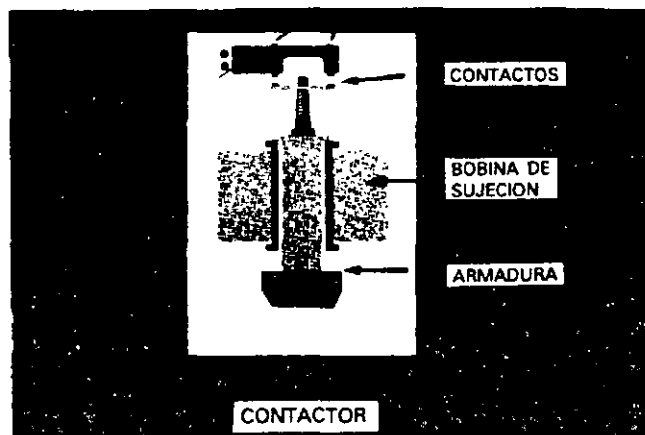


FIGURA R18-14 Carga inductiva

R18-5 CONTROLES

Los controles se dividen en dos tipos:

1. De interrupción total
2. De cambio característico

Un control de interrupción total forma o rompe el circuito, como por ejemplo, el interruptor de luz.

Un control de cambio característico afecta el funcionamiento de la carga conectada, pero no interrumpe el suministro de corriente, como por ejemplo el control de oscurecimiento de un foco o el control de velocidad de un fanático de techo.

R18-5.1 Interrupción total

Hay dos categorías de controles de interrupción total: primario y secundario. Un control primario pone en marcha y para realmente el funcionamiento, sea directa o indirectamente, como, lo pida la temperatura o la humedad. Los controles secundarios regulan y/o protegen al ciclo cuando se los pida un control primario o las condiciones dentro del ciclo. Muchos controles pueden hacer ambas funciones en el mismo sistema, y por lo tanto el control no se puede definir como primario o secundario hasta que se conozca su función principal. El primer grupo de controles descritos comprende los que se usan con más frecuencia como controles primarios.

Controles primarios: Hay tres tipos de controles primarios. El primero está accionado por la temperatura y se llama *termostato*. El segundo está accionado por la presión, y se llama *presostato*. El tercero está accionado por la humedad y se llama *humidostato*. Cada uno de ellos se puede emplear para regular el ciclo de funcionamiento. Por ejemplo, cuando un refrigerador doméstico se calienta demasiado, o sea que la temperatura es demasiado alta para almacenar alimentos, el termostato la siente y pone en funcionamiento al compresor.

Los presostatos se emplean con frecuencia para controlar las condiciones de temperatura en una vitrina, a través del control de presión del evaporador. Cuando ésta, y consecuentemente la temperatura, se elevan, el presostato entra en acción y pone en marcha al compresor.

En los almacenes, en los que la humedad es lo más importante, el humidostato se diseña para poner en marcha al ciclo de refrigeración cuando la humedad se eleva a un nivel predeterminado. A la inversa, todos los controles anteriores detienen el funcionamiento al quedar satisfechas las condiciones.

Los termostatos responden a la temperatura; pueden hacerlo mediante el efecto de torcimiento de una banda bimetalica o de la presión de un fluido. El termostato que se ve en la figura R 18-15 es bimetalico. El elemento bimetalico está compuesto de dos metales diferentes ligados entre sí. A medida que cambia la temperatura que rodea al elemento, los metales se expanden o se contraen. Como son dos metales distintos, uno se expande o se contrae más

que el otro. En esta figura los contactos abiertos se muestran del lado izquierdo. No pasa corriente. Si la temperatura que rodea al elemento bimetalico aumenta, el metal A y el B comienzan a expandirse. Sin embargo, se escoge el metal A porque se expande más que el metal B. Con ello se hace que la banda bimetalica se doble y cierren los contactos, como se ve en el lado derecho. Al bajar la temperatura, se A contrae más que B y con ello se endereza el elemento y se abren los

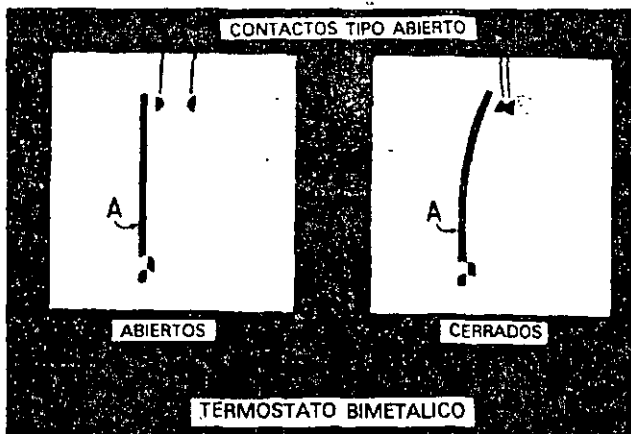


FIGURA R18-15 Termostato bimetalico. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

contactos. Este termostato se emplea mucho, en especial en unidades residenciales de calefacción y enfriamiento, y también en sistemas de refrigeración que trabajan a temperaturas mayores que la congelación, en las que el termostato se coloca en el recinto controlado. Es sencillo y fácil de fabricar, es confiable y su mantenimiento no tiene problemas.

Una de las variantes más comunes del termostato bimetalico es el de bulbo de mercurio (figura R 18-16). Aun que se usa el principio bimetalico, los contactos estan encerrados en un bulbo de vidrio hermético al aire que tiene un poco de mercurio. La acción del elemento bimetalico inclina al bulbo. Al inclinarse hacia la izquierda, el mercurio bajará hacia la izquierda y completará el circuito electrico. Al inclinar el bulbo hacia la derecha, el mercurio pasará al otro extremo

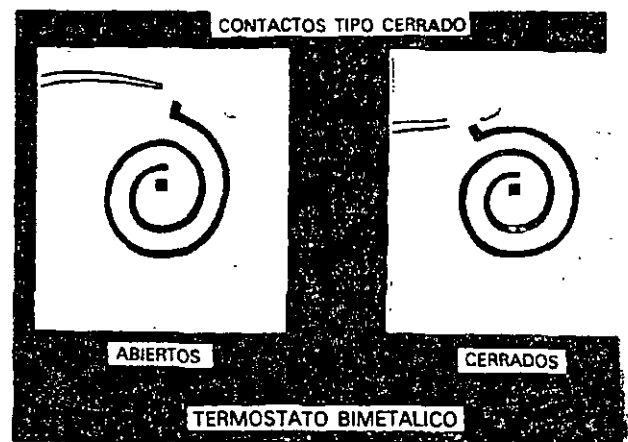


FIGURA R18-16 Termostato bimetalico con bulbo de mercurio. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

del bulbo y romperá el circuito eléctrico. Este termostato se usa mucho en calefacción y enfriamiento de recintos. Aunque es un poco más costoso que el termostato bimetalico de contactos abiertos, su funcionamiento es más confiable porque no se puede acumular polvo en los contactos.

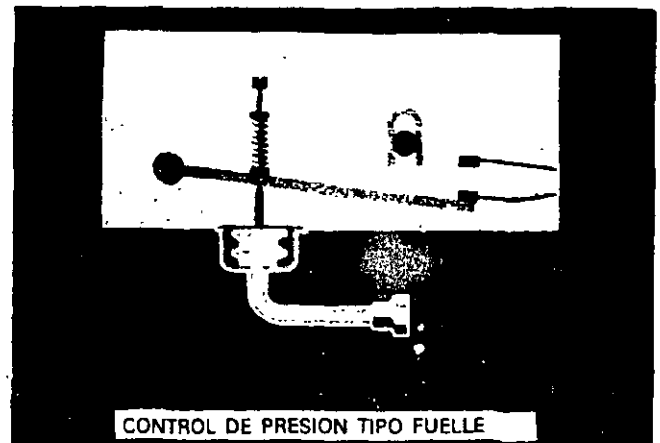
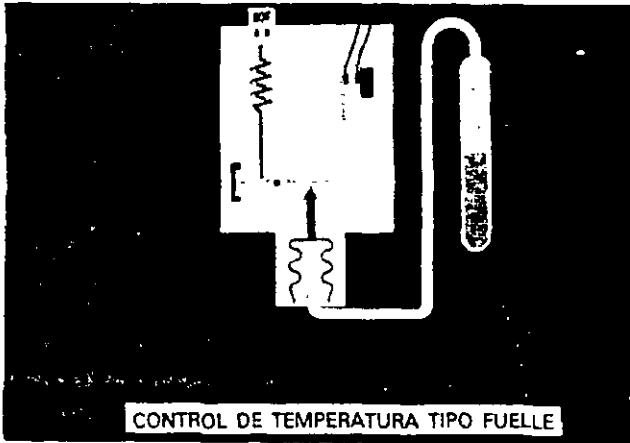


FIGURA R18-17 Termostato tipo fuelle. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

FIGURA R18-19 Control de presión tipo fuelle. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

El segundo método de control con termostato es el de presión de fluido que se ve en la figura R18-17. El bulbo está lleno de gas y líquido, y la presión en el fuelle aumenta o disminuye a medida que varía la temperatura del bulbo. El termostato que se muestra es de calefacción. Al aumentar la presión en el bulbo por elevación de su temperatura el fuelle se expande y, mediante un eslabonamiento mecánico, abre los contactos eléctricos. Al bajar la temperatura del bulbo, disminuye la presión en el fuelle, que se contrae y cierra los contactos eléctricos. A este termostato se le llama a veces *termostato de bulbo remoto*. El bulbo de control se puede colocar en otro lugar que no sea donde se opera el mecanismo de conmutación. Por ejemplo, en un termostato de enfriamiento para un almacén refrigerado, el bulbo se puede instalar dentro del almacén y se puede tender el capilar través de la pared hasta el mecanismo de accionamiento.

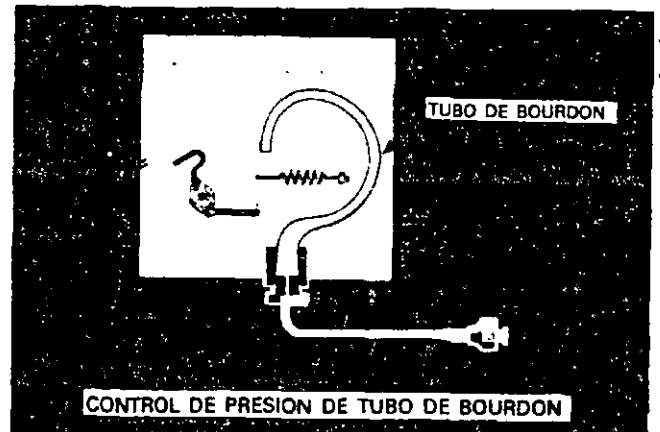
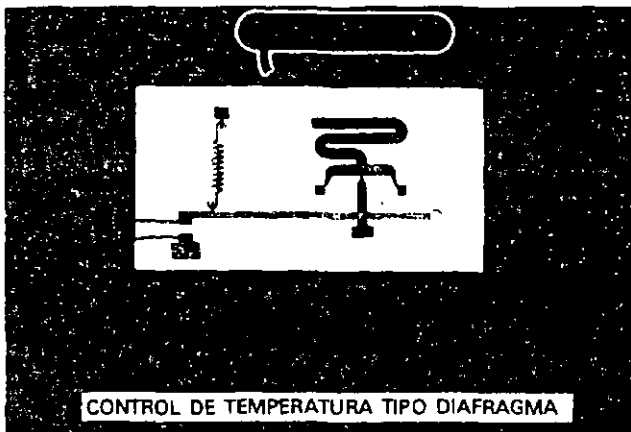


FIGURA R18-18 Termostato tipo diafragma. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

FIGURA R18-20 Control de presión tipo tubo de Bourdon. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

del interruptor, fuera del recinto. Se pueden hacer ajustes al termostato sin entrar al cuarto refrigerado, y el mecanismo de interruptor no queda expuesto a las condiciones extremas en el interior del almacén.

Otra variante del termostato accionado con presión es del tipo de diafragma (figura R18-18). En este control el diafragma está completamente lleno de líquido. El líquido se expande y se contrae cuando cambia la temperatura. El movimiento del diafragma es muy leve, pero la presión que puede ejercer es tremenda. Como el coeficiente de expansión de un líquido es pequeño, se usan bulbos de volumen relativamente grande en ese control. Esto provoca el

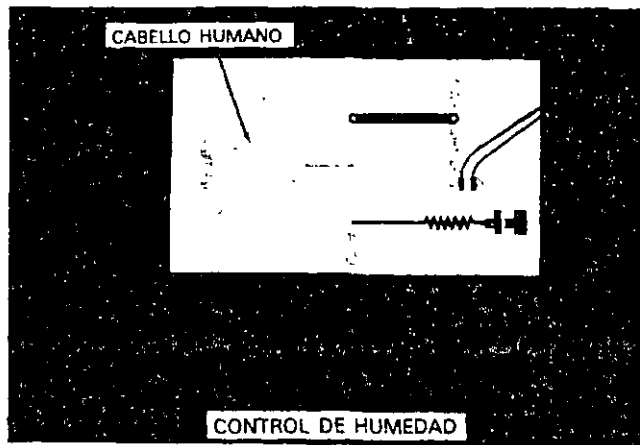


FIGURA R18-21 Humidostato de cabello humano. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

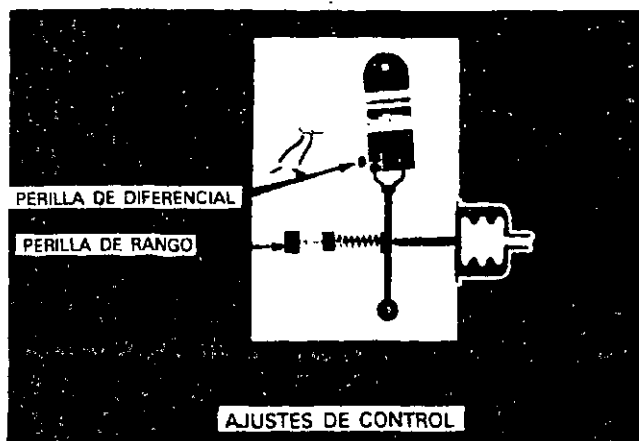


FIGURA R18-23 Control de rango (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

suficiente movimiento del diafragma y también asegura un control positivo desde el bulbo.

Los controles de presión también se pueden dividir en dos categorías: el tipo fuelle y el tipo tubo de Bourdon. Con mucho, el más común es el *tipo fuelle*, que se ve en la figura R 18-19. El fuelle se conecta en forma directa al sistema de refrigerante mediante un tubo capilar. Al cambiar la presión dentro del sistema, también cambia la presión dentro del fuelle, y éste se mueve hacia adentro y hacia afuera siguiendo la variación de presión. Como se ve, se forman las conexiones eléctricas cuando sube la presión. Este tipo de control se usa normalmente tanto como control de presión baja como de alta. Esto es, se puede conectar al lado de alta o de baja de un sistema. Debido a su simplicidad, confiabilidad y adaptabilidad este control lo tienen casi todos los sistemas de aire acondicionado o refrigeración.

En la figura R18-20 se ve un control de presión tipo *tubo de Bourdon*. Nótese que se indica un interruptor de bulbo de mercurio. El control de tubo de Bourdon es ideal para operación con ese bulbo y se encuentra con frecuencia en aplicaciones donde se necesite tener contactos cerrados. Al aumentar la presión dentro del tubo, éste tiende a enderezarse. Con ello se mueve el eslabonamiento fijo al bulbo de mercurio, haciéndolo moverse y el mercurio pasa de un extremo del bulbo al otro, formando o abriendo los contactos.

El tercer tipo de control primario es el de humedad, o *humidostato* (figura R18-21). En estos controles se usan elementos higroscópicos, de los cuales el más común es el cabello humano. Cuando el aire se hace más húmedo y aumenta la humedad, se alarga y permite cerrar los contactos eléctricos. Al secarse el cabello, se contrae y los abre. Este tipo de control es susceptible al polvo y tierra en el aire. Aunque es exacto, se le debe dar mantenimiento con cuidado.



FIGURA R18-22 Humidostato de nylon. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

Otra forma de humidostato, que emplea un elemento de nylon, se ve en la figura R18-22. El nylon está ligado a un metal ligero en forma de resorte espiral. La expansión y contracción del nylon crea el mismo efecto que el que se tiene en la banda bimetalica que usan los termostatos.

Hay casi tantas posibilidades para ajustes correctos de los controles, como hay aplicaciones. Por lo tanto, todos los controles tienen algún medio de ajuste para compensar las diversas condiciones bajo las que se necesita que trabajen. Estas pueden ser ajustables en el campo o fijas de fábrica. El primer ajuste es el rango. El *rango*, o recorrido, es la diferencia entre los puntos de operación máximo y mínimo dentro de los cuales el control trabajará con exactitud.

Por ejemplo, se puede usar un control de alta presión para parar al compresor cuando la presión diferencial se hace muy grande. Este control puede tener un ajuste que permita un punto máximo de corte, o de paro, de 300 psig, y uno

mínimo de 200 psig. Se puede ajustar a cualquier punto de corte dentro de este rango. Un control nunca se debe ajustar fuera de su rango, porque siempre será inexacto, y con frecuencia ni siquiera funcionará.

La figura R18-23 muestra uno de los métodos más sencillos de control de rango. Cuando aumenta la presión en el fuelle, la palanca se impulsa hacia la izquierda y con ello abre los contactos. Al variar la tensión del resorte, podemos aumentar o disminuir la fuerza del fuelle necesaria para abrir los contactos, elevando o bajando la presión del sistema a la que acciona el control. Muchos controles usaron este principio, y en general tienen un ajuste externo para ajustes en campo.

Es igualmente importante que un control que abre o interrumpe un circuito, lo cierre o complete. El punto de corte y el de cierre no pueden ser iguales. La diferencia entre esos puntos es el *diferencial*, que se puede definir como la diferencia entre los puntos de corte y de cierre del control. Por ejemplo, si el control de alta presión que se describió antes corta o abre el circuito eléctrico a 250 psig, y lo cierra o reconecta a 200 psig, el diferencial del presostato es 50 psig.

Pasando de nuevo a la figura R18-23, el control también tiene un ajuste de diferencial. Abriendo o cerrando la distancia efectiva entre los picos del yugo de accionamiento, se puede variar la presión a la cual entra el control. A medida que aumenta la presión en el fuelle, el yugo de accionamiento se mueve hacia la derecha, y la punta izquierda de él hará que se incline el bulbo para volver a formar el circuito eléctrico. Cuando el tope ajustable de la punta izquierda del yugo se aleja de esa punta a la derecha, la presión en el fuelle debe disminuir más para que el bulbo se incline y se forme el circuito eléctrico. La distancia entre la punta del yugo y el tope es proporcional a la diferencia entre los puntos de cierre y de corte, y se puede variar.

La descripción anterior explicó un modo de regular los ajustes tanto de rango como de diferencial. Sin embargo, hay muchos modos en los que se pueden ajustar, dependiendo de la aplicación, tamaño y preferencias del fabricante.

Hay otra característica de los controles eléctricos, que se debe mencionar brevemente: la *acción instantánea o de detención*. Por razones técnicas, todos los contactos eléctricos se deben abrir y cerrar con rapidez y con limpieza. La acción instantánea o de detención la tienen la mayor parte de los controles para lograr este objetivo. La figura RI 8-24 muestra cuatro ejemplos comunes. El imán de la parte superior izquierda no necesita de mucha explicación. La fuerza del imán tan sólo acelera la velocidad de cierre y apertura de los contactos. Mientras más cerca esté el imán a la banda bimetalica en la posición cerrada, más positiva será la acción instantánea.

El disco bimetalico, que se ve en la parte superior derecha tiene normalmente la posición cóncava hacia abajo. Al aumentar la temperatura, los dos metales se expanden en forma diferente hasta que el disco brinca a la posición convexa hacia abajo, con lo cual se rompe bruscamente el contacto eléctrico.

El bulbo de mercurio de la parte inferior izquierda es otro método de tener acción instantánea. Cuando el elemento mueve al bulbo pasando por la posición superior central el mercurio, pesado, corre de un extremo del bulbo al otro.

Este desplazamiento del peso hace que el bulbo se mueva con rapidez de un lado al otro, y con ello se forma o se abre con rapidez el contacto eléctrico.

Se muestra en el lado derecho inferior un cuarto método de obtener una acción instantánea. En este caso la acción se induce empleando un resorte comprimido, como los que se encuentran en los interruptores de pared domésticos. Se aplica una fuerza a la palanca de accionamiento, en dirección de la flecha. Esto hace que gire la placa de la palanca, que comienza a comprimir el resorte. Al acercarse la palanca al centro, el resorte tiene su compresión máxima. El momento en el que la palanca pasa por el punto muerto, el resorte la impulsa para tener una terminación rápida de la acción de conmutación.

Controles secundarios: Los controles secundarios se pueden dividir en dos categorías: controles de funcionamiento y de seguridad.

Controles de funcionamiento Los controles de funcionamiento deben regular el ciclo durante su operación normal.

1. **Relevadores.** Como se mencionó antes, un relevador es un interruptor accionado mecánicamente que se usa para controlar uno o varios circuitos eléctricos, dependiendo del arreglo de conmutación, según la acción que produce un conjunto de bobina magnética y armadura

Se necesitan estos dispositivos cuando:

- El voltaje del dispositivo de control y el del dispositivo controlado no son iguales.
- El dispositivo de control no es capaz de manejar la demanda de corriente del dispositivo controlado.
- El dispositivo de control debe accionar más de un circuito.

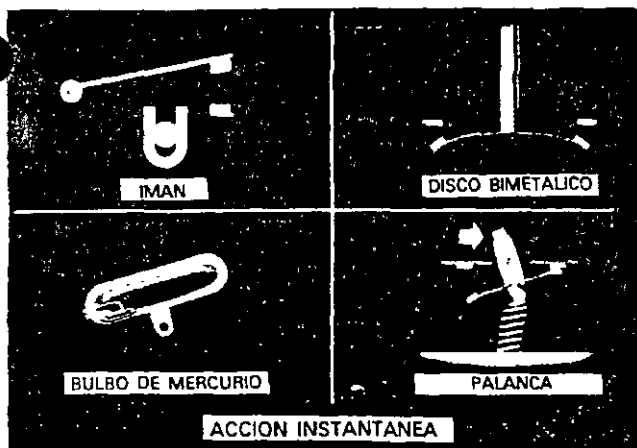


FIGURA R18-24 Ejemplos de interruptores de acción instantánea. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

Un ejemplo del primer caso sería uno de ventilador que controle a un motor de ventilador de 115 o 220 V mediante una bobina y fuente de poder de 24 V. El ejemplo del segundo caso sería un relevador de ventilador, que controla un motor de ventilador de 230 V mediante una bobina y fuente de poder de 230 V, cuando la demanda de corriente del motor del ventilador es mayor que la capacidad de los contactos del dispositivo de control. Un ejemplo del tercer caso sería un relevador de cambio de estación, en el que los circuitos de calentamiento estén controlados por separado de los circuitos de enfriamiento, a solicitud de un dispositivo de control de contacto sencillo.

Debido a los muchos tipos de arreglos posibles, no alcanzaríamos a explicar cada uno de ellos. Todos tienen la función común de controlar circuitos a través de medios de accionamiento operados eléctricamente.

2. **Contactores.** Los contactores son relevadores capaces de manejar mayores cantidades de corriente, o se pueden definir como relevadores de uso extrarrudo. El contactor lleva a cabo la misma función, que es la de controlar un circuito eléctrico mediante un ensamble de bobina magnética y eslabonamiento, que abre y cierra los contactos; pero como su construcción es más robusta y hay grandes superficies de contacto, cerrará y abrirá mayores demandas de corriente. La capacidad de los contactos de los relevadores llega a 20 A. La capacidad de los contactores comienza en 20 A y llega a 600 A o más (véase figura R18-25).

3. **Arrancadores.** El término "arrancador" se emplea para describir un contactor que tiene corte por sobrecarga para proteger al dispositivo controlado por él. Por lo tanto, un arrancador no es más que un contactor con protecciones de sobrecarga interconstruidas. Todos los controles secundarios que acabamos de describir son controles de funcionamiento; esto es, controles que regulan el ciclo durante la operación normal.

Controles de seguridad El control de sobrecarga por calentamiento eléctrico (figura R 18-26) es el primero de los controles secundarios de seguridad que vamos a describir. El control de seguridad protege los componentes del ciclo y no se espera que trabaje mientras no haya mal funcionamiento del sistema.

En todos los circuitos eléctricos se debe contar con cierto tipo de protección contra demasiada corriente. El tapón fusible ordinario es un buen ejemplo de este tipo de protección. Sin embargo, en los circuitos de los motores, se usa con frecuencia una protección del tipo de restablecer. La que se ve en la figura es un método con el cual se logra lo anterior. Se usa juntamente con el contactor que se describió antes. Cuando se usa un contactor, hay un circuito de control en el cual se intercala el controlador primario, y también un circuito de carga, que el contactor abre y cierra. Cuando pasa demasiada corriente por el circuito de carga este dispositivo romperá el circuito de control.

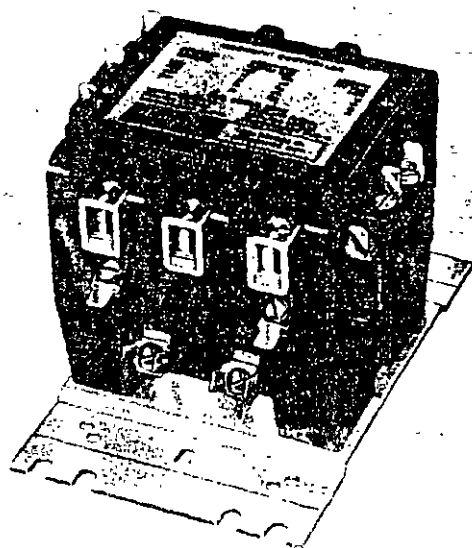


FIGURA R18-25 (Cortesía de Minneapolis Honeywell.)

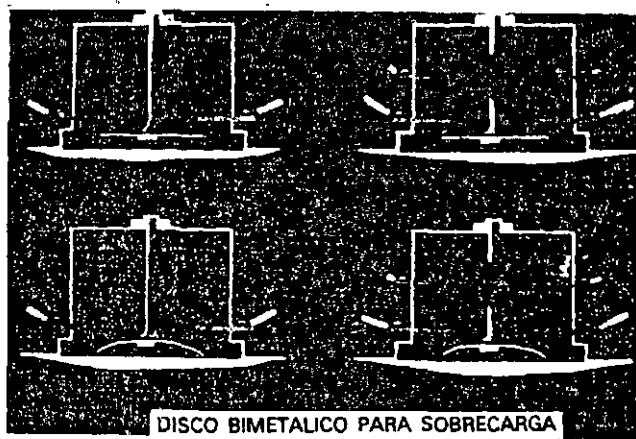


FIGURA R18-27 Protector de sobrecarga de disco bimetálico (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

Este circuito de control a la bobina del contactor pasa a través de los controles en la parte inferior derecha. El circuito de carga pasa por el elemento bimetalico que aparece al centro. Si la corriente que pasa por el elemento bimetalico se eleva demasiado, el elemento se dobla hacia la izquierda. Esta acción empuja al brazo de contacto hacia la izquierda y abre los contactos. El elemento bimetalico se enfría a continuación, y regresa a su posición original, pero como está la ranura en el brazo inferior, no se cierran los contactos. El circuito de control permanece abierto hasta que se oprime el botón de restablecer. Al hacerlo, el brazo se mueve hacia la derecha y cierra los contactos del circuito de control. Como este control se debe restablecer a mano, se le llama con frecuencia control de sobrecarga de restablecimiento manual.

Otro tipo de protector de sobrecarga eléctrica es el disco bimetalico (figura R 18-27). Cuando aumenta la temperatura, el disco se deforma y abre el circuito eléctrico. A la izquierda se ve el dispositivo más sencillo, en el que el calor de una fuente externa acciona el disco. A la derecha el calor externo se complementa con el calor de la resistencia de una carga eléctrica. El dispositivo de la derecha, reacciona con mucha mayor rapidez en caso de sobrecarga eléctrica que el de la izquierda, porque el calor complementario se encuentra dentro del mismo dispositivo. El protector de sobrecarga, de disco bimetalico, se usa mucho en la protección de motores eléctricos.

El relevador de corriente (figura R18-28) es otro tipo de protector de sobrecarga eléctrica que se puede restablecer en forma manual o automática. La mayor ventaja de este tipo de relevador es que la temperatura ambiente sólo lo afecta ligeramente, y con ello se evitan cortes molestos.

El relevador de corriente está formado por un tubo sellado, completamente lleno con un fluido y que sujeta a un núcleo móvil de hierro. Cuando se tiene una sobrecarga el núcleo móvil se jala hacia el campo magnético, pero el fluido hace más lento el viaje. Esto permite la demora necesaria para que terminen las sobrecargas momentáneas de arranque. Cuando el núcleo se acerca a la pieza polar, la fuerza magnética aumenta y se acciona la armadura, y con ello se rompe el circuito eléctrico.

Cuando hay cortocircuito o demasiada sobrecarga, el núcleo móvil no influye, porque la intensidad del campo magnético de la bobina es suficiente para mover la armadura sin esperar a que se mueva el núcleo. Las características de demora se incluyen en el relevador, y son función del diseño del núcleo y del fluido seleccionado. La única diferencia entre el control termostático primario que se describió antes y el termostato de seguridad está en las aplicaciones en las que se usan; los controles mismos son idénticos.

Un buen ejemplo de un termostato usado como control de seguridad se encuentra en la mayor parte de los sistemas de refrigeración para enfriamiento de agua (figura R 18-29). En esos sistemas es importante que el agua no se congele, porque podría provocar daños físicos al equipo. En esos sistemas se puede usar un termostato con el sensor de temperatura sumergido en el agua, en el punto más frío. El termostato se ajusta de tal modo que interrumpe al circuito de control a determinada temperatura sobre el punto de congelación. Con ello se detiene el compresor y se evita

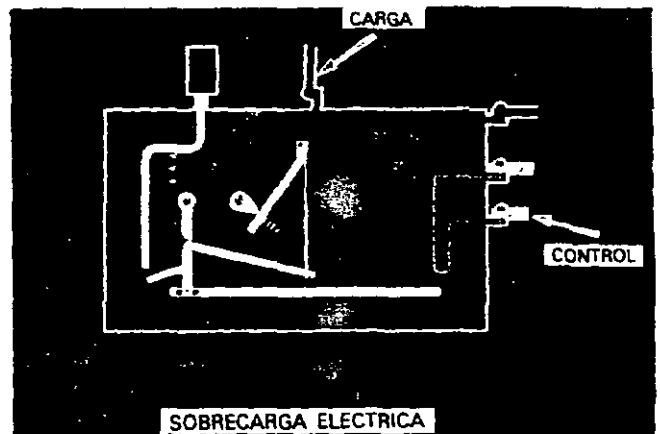


FIGURA R18-26 Protección de sobrecarga con calentamiento eléctrico. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

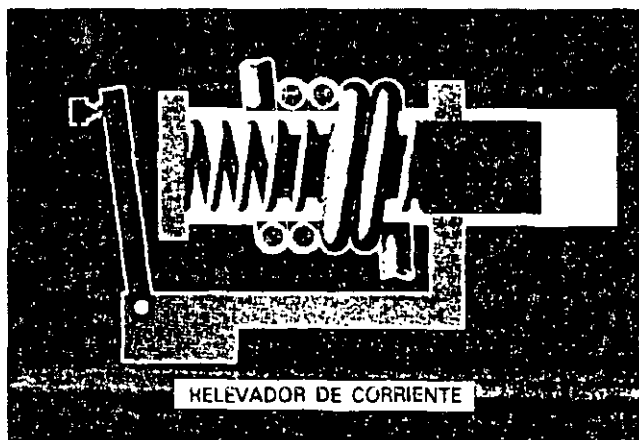


FIGURA R18-28 Relevador de corriente (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

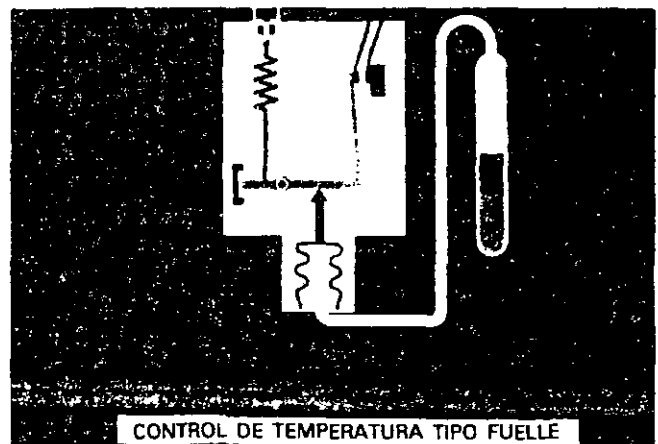


FIGURA R18-29 Termostato tipo fuelle. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

una mayor disminución de la temperatura del agua, con la congelación consiguiente. El control de presión que se usa para fines de seguridad es físicamente igual al que se usa con fines operativos.

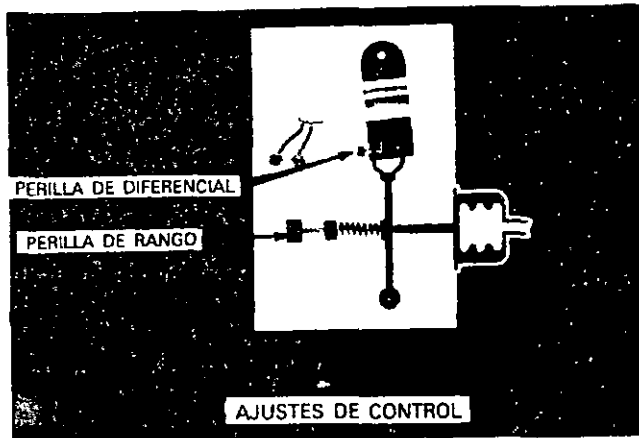


FIGURA R18-30 Ajustes de control (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

El corte por alta presión es probablemente el mejor ejemplo de un control de presión que se usa con fines de seguridad (figura R 18-30). Se puede ajustar para parar al compresor antes de alcanzar presiones muy altas. Esto podría suceder por falla del suministro de agua, o debido a un paro del motor del ventilador en los condensadores enfriados por aire.

El funcionamiento del control de baja presión es el mismo que se describió bajo el tema de controles primarios. Mecánicamente no hay diferencia entre el control de baja presión que se usa como control primario y el que se usa como control de seguridad. El control de baja presión se emplea para parar al compresor a una presión de operación mínima predeterminada. Como dispositivo de seguridad, este control de baja presión puede proteger contra pérdida de

carga, altas relaciones de compresión, escarchamientos del evaporador y entrada de aire al sistema a través de grietas en el lado de baja.

El interruptor de seguridad de aceite está accionado por presión. Sin embargo, esta presión es diferencial, más bien que la presión directa del sistema. Está diseñado para proteger contra la pérdida de presión de aceite. Como el sistema de lubricación está dentro del cárter del compresor, la indicación de presión en la descarga de la bomba de aceite será la suma de la presión real más la presión en la succión. El interruptor de seguridad de aceite mide la diferencia de presiones entre la descarga y la succión de la bomba de aceite, y para el compresor si esa bomba no mantiene la presión como lo prescribe el fabricante del compresor. Por ejemplo, si un fabricante indica que se necesita una presión de aceite de 15 psi netas, un compresor con una contrapresión de 40 psi debe tener cuando menos una presión de descarga de bomba de 55 psi. A cualquier presión menor que ésta, en la descarga de la bomba, el interruptor debe parar al compresor. Un examen de la fuerza de accionamiento en el recuadro de la derecha de la figura R18-31 muestra que como la presión de succión existe en ambos lados, su efecto se cancela. La función de control depende de la presión neta del aceite que supera a la tensión predeterminada del resorte. Esta tensión debe igualar a la presión mínima de aceite permitida por el fabricante.

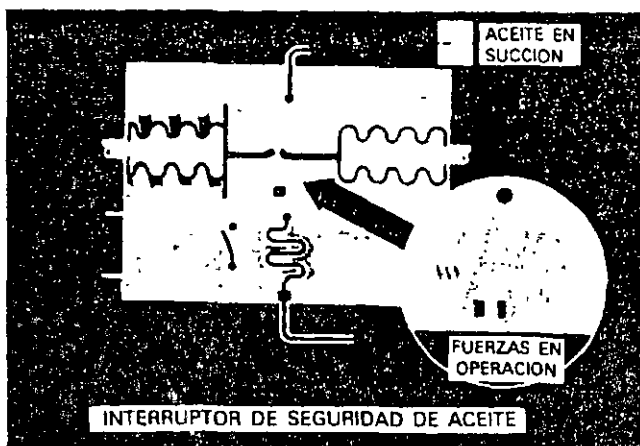


FIGURA R18-31 Interruptor de seguridad de presión de aceite (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

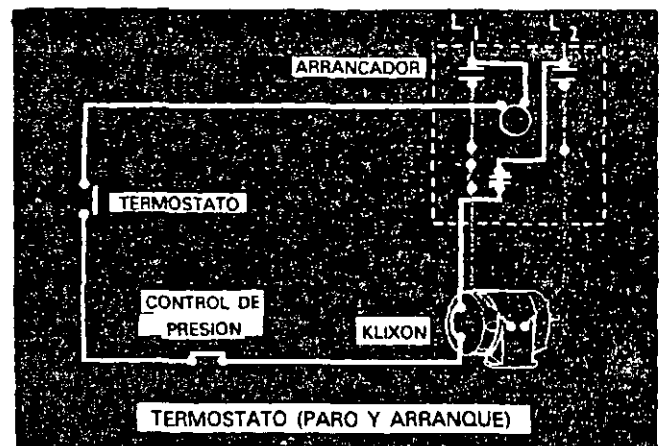


FIGURA R18-32 Termostato de paro y arranque. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

Cuando se pone en marcha un compresor, no hay presión de aceite. La presión completa de aceite sólo se alcanza cuando el compresor trabaja a toda velocidad. Por lo tanto, se incluye en este control un dispositivo de demora para permitir que el compresor tenga el tiempo suficiente para arrancar. Uno de los métodos que se usan para esperar ese tiempo es un calentador pequeño de resistencia. Cuando se pone a funcionar el compresor, como el interruptor de presión es normalmente cerrado, se energiza el calentador de resistencia. Si la presión de aceite no crece al ajuste de resorte del control, el calentador de resistencia hace que el elemento bimetálico se doble, abra el circuito de control y pare el compresor. El interruptor de la figura R 18-31 tiene restablecimiento automático; sin embargo, es normal que esos interruptores tengan restablecimiento manual.

Si la presión de aceite sube hasta el ajuste de corte del interruptor de seguridad, en el tiempo requerido después del arranque del compresor, se abre el interruptor de control y desenergiza el calentador de resistencia, y el compresor continúa trabajando normalmente.

Si la presión de aceite bajara a menos del ajuste de entrada durante el ciclo de funcionamiento, se energiza el calentador de resistencia y, a menos que la presión de aceite regrese a la presión de corte dentro del tiempo de demora, el compresor se para. El compresor nunca puede trabajar más que el tiempo predeterminado con presión baja de aceite. El ajuste de demora en la mayor parte de esos controles es ajustable, desde unos 50 hasta unos 125 segundos.

Hay tantos métodos de control para el funcionamiento de los sistemas de refrigeración como ingenieros que los diseñan, pero hay dos métodos sencillos que son normales y se deben describir en forma breve. El primero, que se ve en la figura R18-32, es el método sencillo de arranque y paro con termostato. Cuando el termostato pide enfriar y cierra los contactos, el circuito de control se completa y pasa por la bobina del contactor. Este circuito (el control tiene un klixon, un control de presión y un calentador de sobrecarga eléctrica como controles secundarios. Cuando la bobina del contactor se energiza, cierra los contactos y completa el circuito de la corriente al motor. El termostato es el control primario, y el motor arranca y para de acuerdo con lo que pide el termostato. Cualquiera de los controles secundarios abre el circuito de control y para al compresor del mismo modo que el termostato.

Es uno de los métodos de control más sencillos y por lo tanto se usa ampliamente. Algunos sistemas pequeños de refrigeración y casi todos los sistemas de aire acondicionado lo emplean.

Un método de control ligeramente más complicado, pero de todos modos de uso frecuente, es el que se ve en la figura R18-33. Se llama control de paro de bombeo. En este método el termostato acciona una válvula solenoide en el tubo de líquido, antes del dispositivo de medición. Al abrir la válvula, el refrigerante a alta presión pasa al evaporador.

Hay un control de presión conectado al lado de baja del sistema. Cuando aumenta la presión en el serpentín evaporador, el control de presión cierra y completa el circuito que pasa a través del dispositivo de seguridad y la bobina del contactor. El compresor se pone en marcha y el sistema trabaja con normalidad. Cuando la temperatura baja hasta el ajuste del termostato, la bobina del solenoide se desenergiza y el flujo de líquido al evaporador se cierra. Como el compresor sigue trabajando, la presión del evaporador se reduce y llega hasta el punto de corte del control de baja presión. Los contactos de control abren y el compresor se para.

Este sistema está diseñado para evitar que el refrigerante líquido llene al evaporador durante un paro. Independientemente de la posición del termostato, el control de baja presión actuará sobre el compresor al sentir un aumento de presión del evaporador.

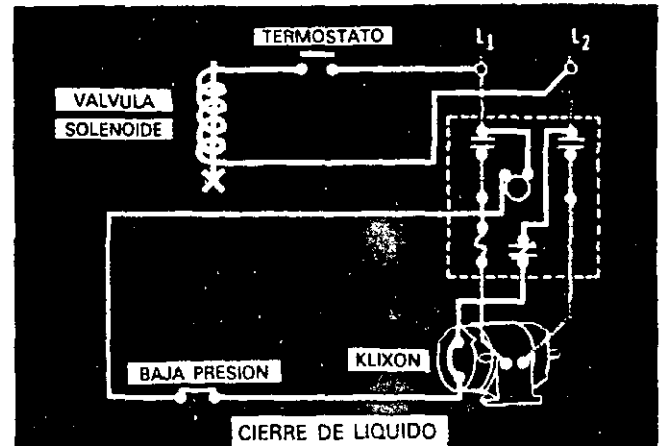


FIGURA R18-33 Control de cierre de refrigerante en paro. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

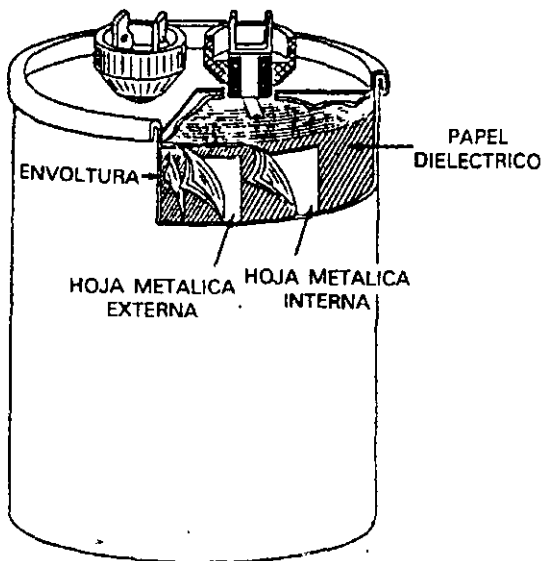


FIGURA R18-34 Esquema de un capacitor.

R18-5-2 Cambio característico

A veces, se necesita un control que no interrumpa el suministro eléctrico a la carga, pero que cambie las características del suministro de corriente, para producir los resultados que se desean. El único control de este tipo que se usa en una unidad de acondicionamiento de aire durante el verano sería el capacitor que se instala en el conjunto motor compresor.

Capacitor: Los motores de capacitor de arranque y marcha que se usan en las unidades de gran potencia para acondicionamiento de aire durante el verano no son motor

monofásicos, aun cuando se conectan a una línea monofásica. En realidad son motores bifásicos que usan los devanados de arranque y marcha, para esas dos funciones en el motor.

Para aplicar la electricidad bifásica al segundo devanado del motor, es necesario emplear algún tipo de control para demorar la variación de voltaje en ese devanado. Esto se lleva a cabo mediante un dispositivo de almacenamiento eléctrico llamado capacitor (véase figura R18-34). Un capacitor se puede definir como "dos placas separadas por un aislador, donde, cuando se induce un voltaje positivo en una de las placas, se crea un voltaje negativo en la otra".

Esta definición puede ser correcta desde el punto de vista técnico, pero podría ser difícil de aplicar a una unidad de aire acondicionado. En lugar de ello, la propiedad que tiene el capacitor de recibir y almacenar energía eléctrica hasta llegar a la presión o voltaje eléctrico que suministra la fuente de poder y para ceder su energía almacenada cuando se le necesita es lo que describe más fielmente su función.

Esta acción se puede describir como sigue. Supongamos que tenemos una tubería en forma de ramal Y, como la (le la figura RI 8-35. Este arreglo se compone de una te, dos niples cortos, dos codos de 90' y dos tramos de tubo de igual longitud. Esto se conecta, pasando por una válvula solenoide, a una fuente de agua a presión. Con este arreglo en posición perfectamente horizontal para que no tenga efecto la gravedad, y suponiendo que hay igual resistencia al flujo por cada uno de los ramales (o sea, la resistencia del punto A al punto B es igual a la resistencia del punto A al punto C), al energizar y abrir la válvula solenoide, ¿de cuál tubo saldrá el agua primero? Como hay igual resistencia en ambos tubos, y como el conjunto está en posición horizontal, el agua saldrá al mismo tiempo por ambos tubos.

Pasando ahora a los devanados de arranque y marcha de un motor normal (figura R 18-36), si la resistencia (que es la suma de resistencia, reactancia, reluctancia e impedancia del devanado) del punto A al punto B a través del devanado de marcha fuera exactamente igual a la que hay del punto A al punto B pasando por el devanado de arranque, cuando el voltaje aplicado crece (punto 1 al punto 2), ¿en cuál devanado se acumula primero el campo magnético? Suponiendo igual resistencia, el campo crece en ambos devanados a la vez. Cuando el voltaje aplicado disminuye (del punto 2 al punto 3), ¿en cuál devanado decrece primero el campo magnético? De nuevo, al mismo tiempo. Cuando el voltaje aplicado crece en la dirección opuesta (punto 3 al punto 4) y decrece (del punto 4 al punto 5), la reacción en ambos devanados es la misma.

Este motor, entonces, depende de la diferencia magnética entre los dos devanados para producir fuerza de giro. Esta diferencia se obtiene colocando los devanados de arranque y marcha a distintas

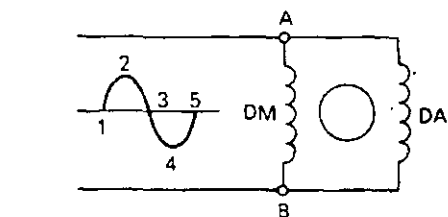


FIGURA R18-36

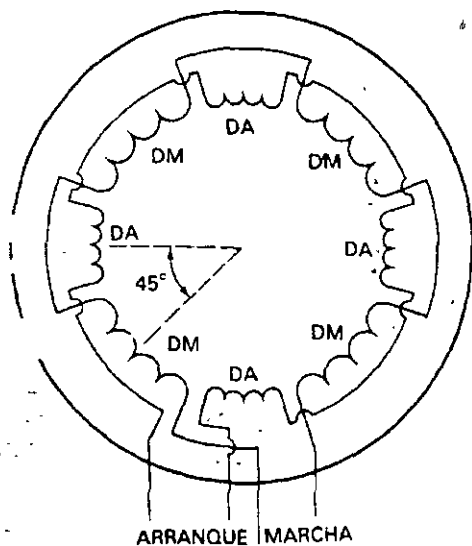


FIGURA R18-37

posiciones en el estator del motor (véase figura R18-37).

La diferencia magnética puede ser suficiente para poner en marcha un soplador o motor de quemador normales, en los cuales se tienen cargas ligeras, pero no es suficiente para poner en marcha en contra de las mayores cargas de arranque de los compresores de refrigeración. Por lo tanto, se debe crear una diferencia magnética mayor entre los dos devanados (véase figura R 18-3 8).

Regresando al ejemplo de la tubería de agua, si se colocara un tanque de almacenamiento en el tubo que va del punto A al punto B, y se abriera la válvula solenoide, ¿de cuál tubo saldría primero el agua? Naturalmente, del tubo A -C, porque tomaría algo de tiempo para llenar el recipiente en el tubo A-B. Supongamos, ahora, que el recipiente tuviera un solenoide de drenado, como en la figura RI 8-39, para vaciarlo cuando cierre la válvula principal de agua. ¿De qué tubo cesaría primero de salir el agua? El agua cesaría de salir inmediatamente del tubo A-C al cerrar la válvula principal de agua, y

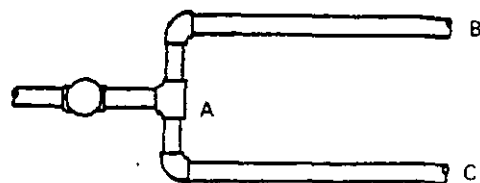


FIGURA R18-35

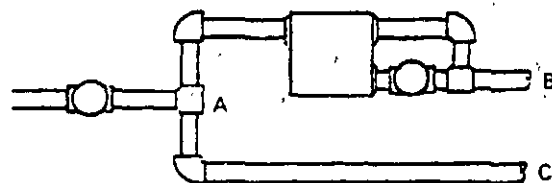


FIGURA R18-39

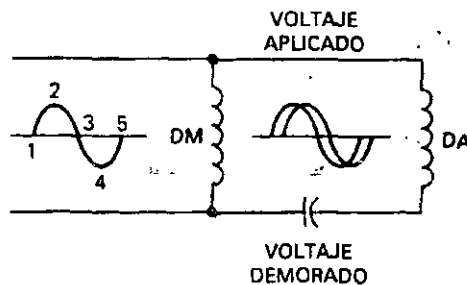


FIGURA R18-40

el tubo A-B continuaría escurriendo agua hasta haber vaciado el recipiente. Por lo tanto, a causa de la acción de demora del recipiente, el flujo de agua se inicia y se detiene en el tubo A-B siempre después de iniciado y detenido el flujo en el tubo A-C.

Pasando a la figura R 18-40, para producir una mayor demora entre el crecimiento de los campos magnéticos en el devanado de arranque y en el de marcha, sólo es necesario intercalar un recipiente de almacenamiento eléctrico en el circuito del devanado de arranque.

A estos recipientes de almacenamiento se les llama "capacitores". Por lo tanto, al aumentar el voltaje aplicado en un devanado de arranque, se demora con respecto al voltaje en el devanado de marcha, y se logra la demora en el aumento de la intensidad de campo magnético en ese devanado con respecto a la correspondiente en el devanado de marcha. Al decrecer el voltaje (punto 2 al punto 3), como el capacitor tiene algo de energía almacenada que debe usarla en devanado de arranque, el campo magnético del devanado de marcha se reduce por la disminución del voltaje aplicado, pero el campo magnético se mantiene alto debido a la energía adicional del recipiente. Esto ocasiona que el cambio en el campo magnético del devanado de arranque se retrase con respecto al del devanado de marcha, tanto en el aumento como en la disminución de voltaje. Por lo tanto, aun cuando sólo se aplica corriente monofásica al motor, en realidad éste siente que hay corriente bifásica (véase figura R 18-4 I).

Los motores que se usan en compresores de acondicionamiento de aire también usan la corriente bifásica que producen los capacitores para reducir la corriente consumida para determinada carga. Esos motores se llaman "de arranque con capacitor y marcha con capacitor". Como cualquier otro motor, se necesita más par (torque) para poner en marcha el motor que durante su funcionamiento normal. Esto quiere decir que se necesitan más capacitores para el arranque que para la marcha. Por lo tanto, es necesario quitar del circuito parte de la capacidad de almacenamiento cuando el motor llega a un 80% de la velocidad de funcionamiento normal. Los capacitores se clasifican según el tiempo que están dentro del circuito. A los que están conectados siempre se les llama "capacitores de marcha". A los que sólo se usan para el arranque, se les llama "capacitores de arranque".

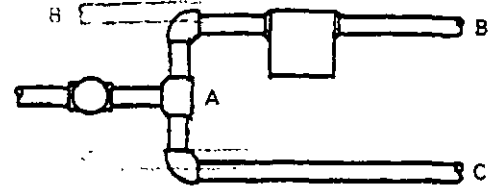


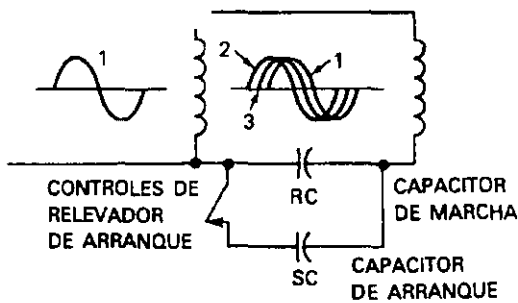
FIGURA R18-38

Capacitor de marcha: Este capacitor es una lata metálica llena de aceite que se diseña para trabajo continuo (figura R 18-42). En otras palabras, este capacitor es lo suficientemente resistente para estar en uso todo el tiempo que está trabajando el motor. Se especifica en microfaradios, unidad de capacidad de almacenamiento eléctrico semejante a los litros como unidades de cantidad de agua almacenada. Este capacitor tiene un tiempo predeterminado de llenado y de descarga que depende de la presión o voltaje eléctricos a la cual se conecta. Por lo tanto, dará una demora predeterminada para el crecimiento y disminución del campo magnético en el devanado de arranque. Como cada tipo o tamaño de motor tiene necesidades definidas de demora, se debe instalar la misma capacidad de microfaradios cuando se cambia el capacitor. Si se necesita un capacitor de 40 pF, se debe usar uno de 40µF en el reemplazo. No use capacitadores mayores ni menores como reemplazo.

La construcción de un capacitor también se puede asemejar a un barril. Si el barril tiene determinado espesor de metal, resistirá hasta determinada presión sin reventar.

Si el barril se conecta a una presión mayor, reventará. Sin embargo, puede contener cualquier presión menor que la que está diseñado para resistir. Un capacitor también tiene un voltaje o presión eléctrica normal, al cual está diseñado para conectarse. Si el voltaje es mayor que el de diseño del capacitor, o sea, su voltaje normal de funcionamiento, el capacitor comenzará a tener fugas, se calentará y explotará. Sin embargo, resistirá voltajes menores que el normal de funcionamiento. Hay tolerancias de voltaje que se tienen en cuenta al diseñar un capacitor, y con fines de vida de trabajo, pero nunca se deben tener en cuenta cuando se deba reemplazar el capacitor.

Capacitor de arranque: Los capacitores de marcha se pueden usar como capacitores de arranque si su capacidad en microfaradios es suficiente. Sin embargo, como se espera que los capacitores de arranque sólo funcionen durante el arranque, en general durante un máximo de 2 segundos, y no más de cuatro veces por hora, su construcción es bastante más ligera. A consecuencia de ello, el costo básico de ese capacitor es considerablemente menor. También, debido a que se necesita que los capacitores de arranque tengan más capacidad de almacenamiento, o sea de más microfaradios, y al mismo tiempo que tengan tamaño físico lo más posible, son del tipo electrolítico.



1. VOLTAJE APLICADO
2. VOLTAJE DEMORADO (MARCHA)
3. VOLTAJE DEMORADO (ARRANQUE)

FIGURA R18-41

Aunque este tipo tiene una mayor capacidad de almacenamiento, también se calienta durante la operación. Este calentamiento es tan rápido que si se deja conectado llega con rapidez al punto de ebullición, se forma vapor y se acumula la presión, y el capacitor explota. A causa de estas necesidades de funcionamiento, es muy importante que se mantengan los voltajes y capacidades en microfaradios adecuadas cuando se hagan reemplazos. Con ello se asegurará un tiempo de arranque de motor correcto, así como la salida de los capacitores de arranque del circuito en el tiempo más corto posible.

Se pueden originar quemaduras o roturas del capacitor debidas a muchas cosas, como por ejemplo, bajo voltaje, demasiada carga, relevador de arranque en mal estado, etc., en general, el reemplazar tan sólo el capacitor de arranque no remedia la causa y se tendrán más fallas. *Siempre compruebe el circuito completo cuando fallen los capacitores de arranque.*

R18-6 MOTORES

Los motores transforman energía eléctrica en energía mecánica. Como los circuitos eléctricos, se dividen en dos categorías generales, dependiendo del tipo de corriente de que se trate: directa o alterna. Como las aplicaciones más numerosas en refrigeración son de corriente alterna, esta descripción se dedica principalmente a los motores de ca.

Los motores de corriente alterna se clasifican en dos categorías principales, que dependen del tipo de corriente empleada:

1. Monofásicos
2. Polifásicos (trifásicos)

Los motores monofásicos son menos eficientes que los trifásicos. Se usan principalmente cuando la demanda es de caballoje fraccionario, o cuando sólo se dispone de suministro eléctrico monofásico. En algunos tipos para aplicaciones especiales, se pueden usar motores monofásicos con tamaño hasta de varios caballos, pero en general, la potencia de los motores monofásicos llega hasta 5 hp.

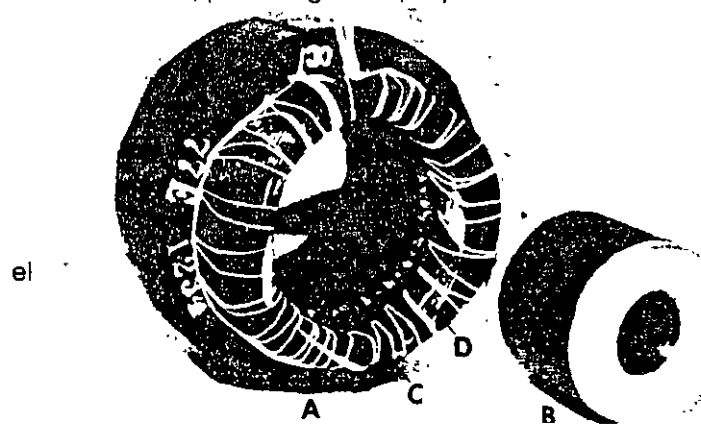


FIGURA R18-43 Estator y rotor de un motor hermético de 1/4 hp de fase partida: A, estator; B, rotor; C, devanado de marcha; D, devanado de arranque (Cortesía de General Electric Company, Hermetic Motor Department)

Según el diccionario, el *par (torque)* es una fuerza, o combinación de fuerzas, que produce o tiende a producir giro. En el caso de un motor eléctrico es la capacidad de ejercer fuerza con la que gire una "carga", como por ejemplo, el volante de un compresor. Mientras mayor capacidad tenga un motor para hacer girar un objeto pesado, mayor será el par del motor. Es natural que costará más construir un motor con un alto par de arranque que uno con bajo par, lo cual explica los muchos tipos de motor que se producen. Por ejemplo, no sería económico producir un motor de alto par para hacer girar un ventilador doméstico.

Las dos partes principales de un motor se llaman rotor y estator, y se ven en la figura R18-43. El *rotor* es la parte que gira, y a veces se le llama *armadura*. La parte estacionaria del motor se conoce como *armazón* o *estator*. Ténganse en mente los principios del magnetismo: los polos "iguales" se repelen y los polos "distintos" se atraen. La figura R 18-44 muestra dos polos imanados montados en el armazón o estator, y entre ellos se encuentra un imán

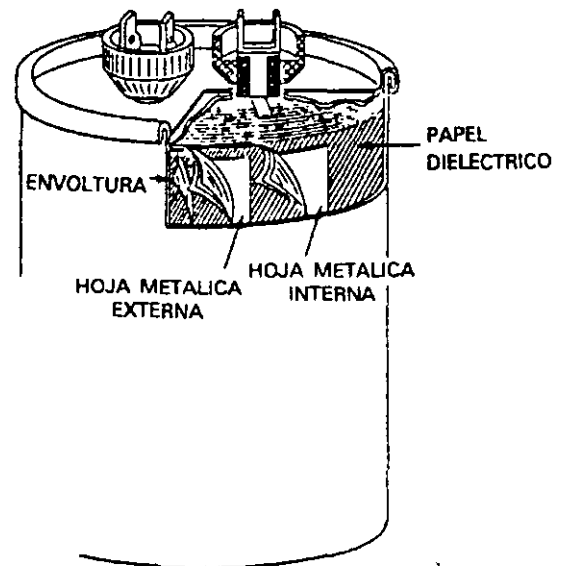


FIGURA R18-42

Es natural que no sean iguales todos los tipos de motores, porque están diseñados para distintas tareas. Es posible hacer girar un motor pequeño al toque de un dedo, mientras que un motor de los que se usan con un compresor y transmisión de bandas necesita bastante más que la fuerza de un dedo para hacer girar su eje.

Parece que hay más dificultad para comprender el funcionamiento de los motores monofásicos pequeños que de los motores trifásicos. El aprender por qué se necesitan diversos tipos de motores ayudará a comprender la fabricación y funcionamiento de los motores monofásicos. Estos se pueden clasificar como sigue:

1. De fase partida
2. De arranque con capacitor.
3. De fase partida y capacitor permanente
4. De arranque y marcha con capacitor
5. De polo sombreado.

permanente montado en un eje. Este imán permanente del centro corresponde al rotor. El polo norte magnético del estator atrae al polo sur del imán permanente o rotor, y el polo sur magnético del estator atrae al polo norte magnético del rotor. Esta atracción se lleva a cabo porque, cuando pasa corriente por los devanados que determinan los polos magnéticos del estator, se establecen campos magnéticos

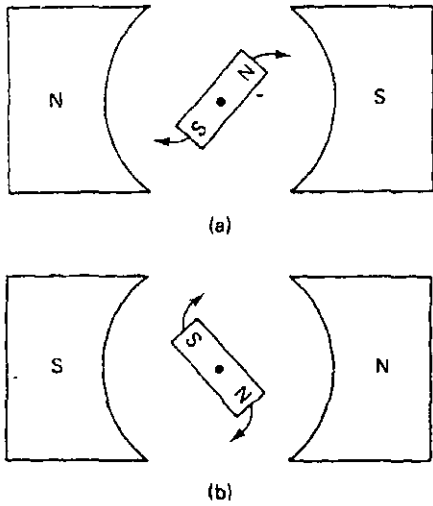


FIGURA R18-44 (Cortesía de The Trane Company.)

permanente fijo sobre el eje. El motor trabaja de esta forma hasta que se corte la corriente, y en ese instante el motor de demostración quedará en la posición de la figura R 18-45: como puede ver el lector el polo norte del estator atrae al polo sur del imán permanente, o barra magnetizada, que quedará en esa posición. Aun cuando se invierta el flujo de corriente por

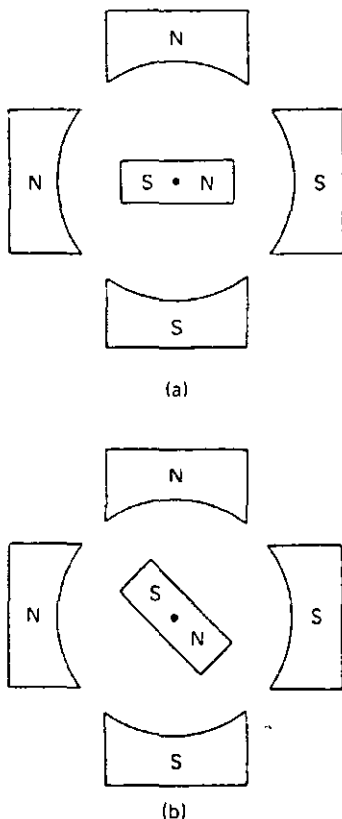


FIGURA R18-46 a) (Cortesía de The Trane Company) b) (Cortesía de ACCA)

ser corriente alterna, el rotor permanecerá allí, porque no está en ángulo comparable con el de las figuras R 18-44 a o b. La atracción o repulsión de los polos no puede originar rotación cuando la barra se encuentra en la posición que muestra la figura R 18-45.

la
rotación
del imán

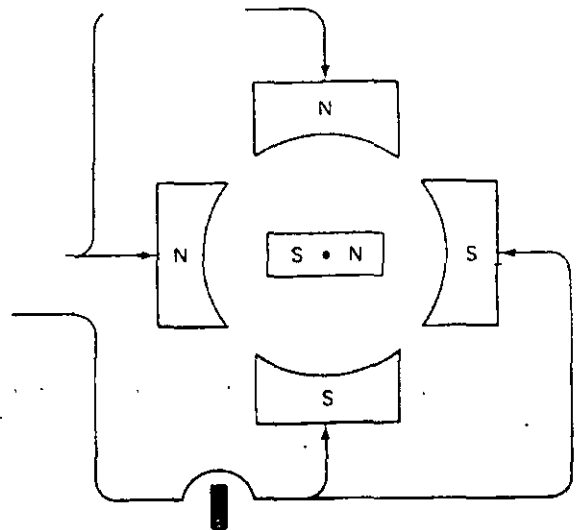


FIGURA R18-47 (Cortesía de The Trane Company.)

Si intercalamos otro conjunto de polos en el estator o armazón, como en la figura R18-46a, los nuevos polos magnéticos provocarán la atracción suficiente para iniciar la rotación del imán permanente. Pero puede ser difícil si el rotor se detuviera en una posición a medio camino entre los dos polos, como se ve en la figura R18-46b. Habría igual atracción entre el polo sur del rotor y los dos polos norte del estator, al igual que entre el polo norte del rotor y los polos sur del estator. Este problema se debe superar, ya que los polos correspondientes del estator tienen la misma fuerza magnética al mismo tiempo. Cada uno usa la misma fuente de corriente eléctrica, porque estamos manejando una fuente monofásica. Si colocamos una resistencia en una de las trayectorias, obstruyendo temporalmente el flujo de electrones a ese polo del estator, como se ve en la figura R 18-47, los electrones no llegarán a su destino en los polos al mismo tiempo. Esto hará que los electrones que van a un polo "pierdan" el

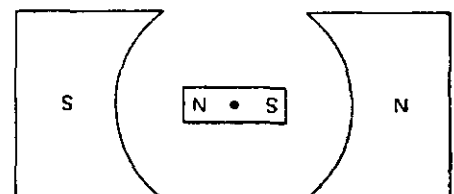


FIGURA R18-45 (Cortesía de The Trane Company.)

paso con respecto a los que van al otro, porque se ha desarrollado una segunda fase. Tenemos entonces una corriente bifásica que ayudará a poner en marcha al motor de nuevo, ayudando a jalar o empujar al rotor. Se necesita la segunda fase en todos los motores monofásicos, para que inicien la rotación. La diferencia principal entre esos motores monofásicos es el método que se usa para producir y controlar esta segunda fase de corriente eléctrica.

Esta segunda fase se puede comprender mejor estudiando la figura R18-48. En la figura R18-48a dos electrones corren juntos pendiente arriba y abajo, que van desde la polaridad norte máxima hasta la polaridad sur máxima. Cuando los electrones mantienen el paso entre sí, tenemos lo que se llama corriente monofásica. Si recorren ese camino 60 veces por segundo, la corriente es de 60 Hz. Es el caso que se mencionó antes, en el que el rotor se detenía a medio camino entre los polos, como se ve en la figura R 18-48b.

En la figura R 18-47, al introducir una resistencia en una de las trayectorias, los electrones, iguales por lo demás, se han puesto en una condición desequilibrada. Los electrones están en posiciones correspondientes en dos montañas distintas, y uno va después que el otro. A causa de la inserción de la resistencia en una de las trayectorias, la corriente monofásica se ha convertido en una que tiene dos fases.

Todas las cinco categorías de motores monofásicos que se mencionó antes necesitan esta segunda fase de corriente eléctrica para ponerse en marcha. La diferencia principal entre las categorías es la forma en la que se produce la segunda fase. Se puede uno imaginar que, si esos motores tienen una segunda fase, se les debió clasificar como motores bifásicos, en lugar de monofásicos.

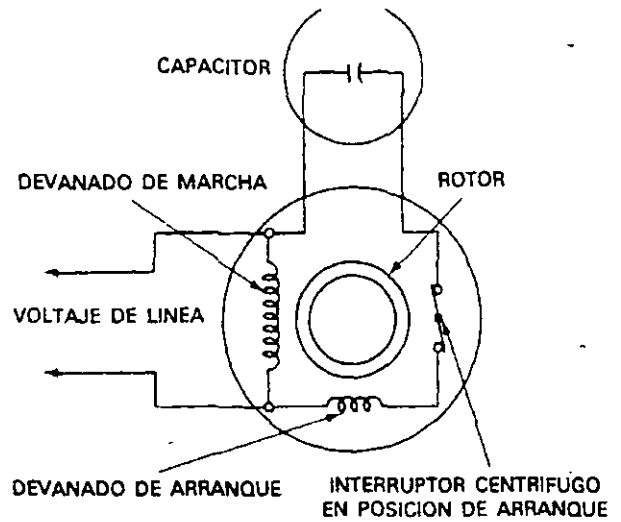


FIGURA R18-50 Motor de arranque con capacitor. (Cortesía de ACCA.)

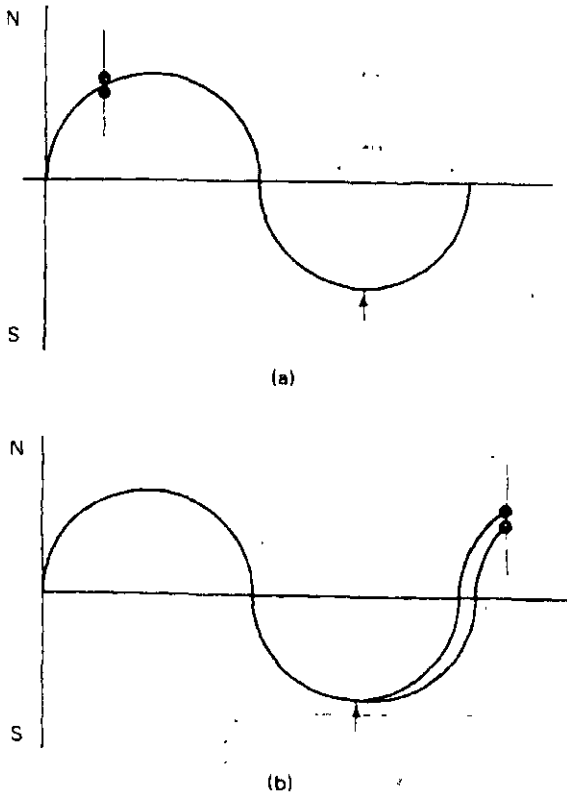


FIGURA R18-48 (Cortesía de The Trane Company.)

Los motores de fase dividida (partida) tienen bajos pares de arranque y se emplean en unidades pequeñas de refrigeración, de caballaje fraccionario. Este tipo de motor se usa con frecuencia en sistemas con tubo capilar para controlar el refrigerante, porque en ellos se igualan las presiones en los paros. La figura R 18-49 muestra el arreglo de los devanados de arranque y marcha en un motor de fase partida, y también un interruptor centrífugo.

R18-6.1 Motores de fase dividida (partida)

Si el motor monofásico sólo tuviera un conjunto de devanados en el estator, el rotor no siempre iniciaría su giro, sino que a veces tan sólo estaría parado y zumbaría cuando se le energizara. Si se hace girar a mano cuando no gira, el rotor aumentaría de velocidad hasta alcanzar su velocidad de trabajo. Este giro a mano iniciaría la rotación del campo magnético y establecería la inducción necesaria en el motor.

En el motor tipo fase dividida (partida), la propiedad de arranque automático se logra por adición de un segundo conjunto de devanados en el estator. A este conjunto se le llama *devanado de arranque*; está formado de mucho mayor número de vueltas que el devanado primario o de marcha. A causa del mayor número de vueltas, la corriente que pasa por el devanado de arranque se retrasa con respecto a la que pasa por el devanado de marcha. El mayor número de vueltas en el devanado de arranque forma la resistencia que se colocó en una de las trayectorias, como se ve en la figura R18-47. También reproduce las condiciones de los electrones que pasan en una condición desbalanceada, como se ve en la figura R 18-48b.

El devanado de arranque en un motor de fase partida permanece en el circuito durante el período de arranque, o hasta que el motor alcance un 75% de su velocidad nominal a plena carga. En este instante se desconecta del circuito el devanado secundario, mediante un interruptor centrífugo o un relevador térmico, de corriente o de potencial.

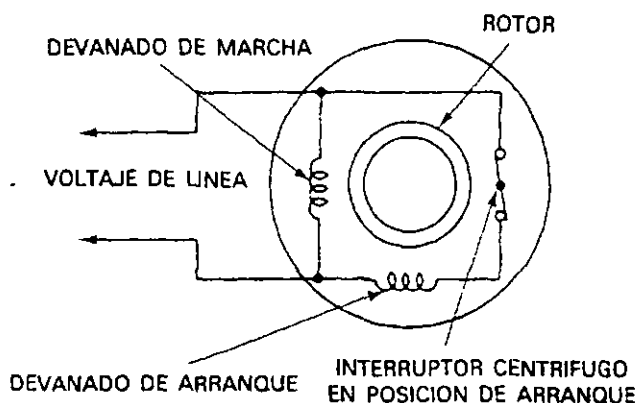


FIGURA R18-49 Motor de fase partida. (Cortesía de ACCA.)

R18-6.3 Motor de fase dividida (partida) permanente con capacitor

Si se usa un capacitor en el circuito del devanado de arranque, es más fácil si el capacitor se deja siempre en el circuito. Desde luego, en tal caso, se debe seleccionar el capacitor correcto para emplearlo con el devanado de arranque. Debe ser capaz de pasar la corriente suficiente para que el devanado de arranque produzca el par adecuado, pero no debe permitir que pase mucha corriente para que no se sobrecaliente el devanado de arranque mientras el motor en funcionamiento. En la figura R1 8-51 se presenta un diafragma de este motor, que tiene buen par de arranque. Se un capacitor conectado en serie con el devanado de arranque, que se energiza siempre que el motor está funcionando. En consecuencia, no se necesita interruptor centrífugo con este tipo de motor, y por ello se le da el nombre motor de fase partida permanente con capacitor.

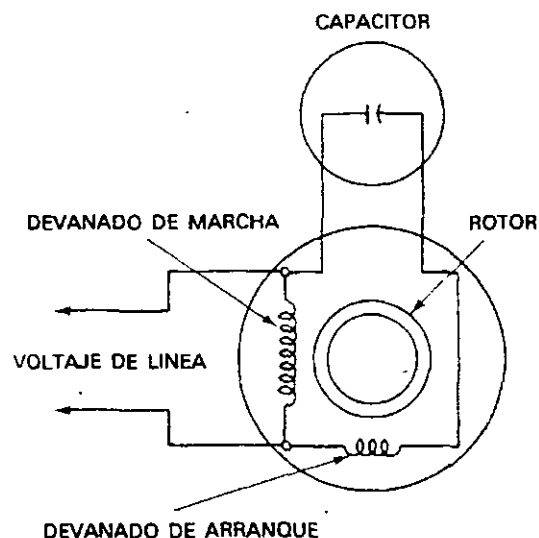


FIGURA R18-51 Motor de fase partida permanente con capacitor. (Cortesía de ACCA.)

R18-6.4 Motor de arranque con capacitor y marcha con capacitor (motor de capacitor de dos valores)

Este motor es bastante similar en diseño y funcionamiento al de arranque por capacitor y marcha por inducción. La figura R 18-52 muestra este tipo de motor de dos capacitores. En este caso, se conecta un interruptor centrífugo en serie con el capacitor grande, y este circuito en serie se conecta en paralelo con el capacitor de marcha. En este motor, como en los demás que tienen interruptor centrífugo, cuando alcanza el motor un 75% de su velocidad nominal, el interruptor centrífugo abre el circuito y saca al capacitor mayor. Este tipo de motor se adapta a condiciones en las que es necesario un alto par de arranque, como por ejemplo, en un compresor que debe arrancar con toda la carga.

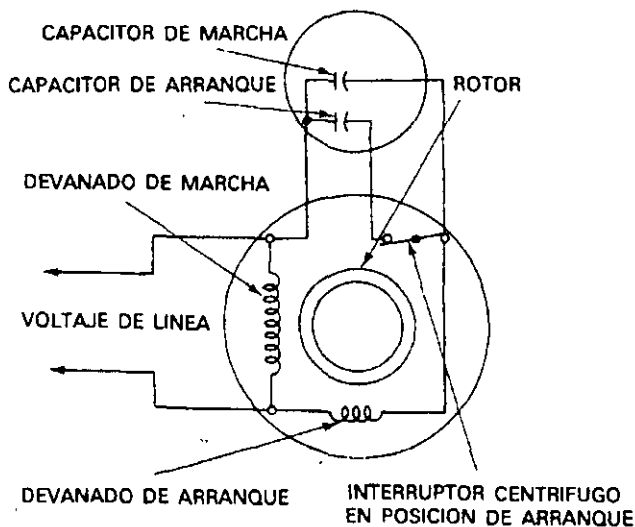


FIGURA R18-52 Motor de arranque y marcha con capacitor (Cortesía de ACCA.)

R18-6.2 Motor de arranque con capacitor (motor de arranque por capacitor y marcha por inducción)

Este motor se ve en la figura R1 8-50, y tiene un arreglo devanados semejante al del motor de fase partida. Se conecta un componente más, un capacitor, en serie con el interruptor centrífugo y el devanado de arranque. En este motor, el capacitor origina una corriente "en adelanto", y con ello queda fuera de fase con respecto al devanado de marcha. Nuevamente, en este tipo de motor, cuando el rotor alcanza un 75% de su velocidad nominal, el interruptor centrífugo acciona y saca del circuito eléctrico al devanado de arranque y al capacitor.

R18-6.5 Motor de polos sombreados

Un motor de polos sombreados, como el de la figura R18-53, no tiene devanado de arranque, pero en lo demás es semejante al motor de inducción de fase partida. En los motores que se describieron antes, se debe hacer determinado esfuerzo para que arranquen, ya que sólo cuando gira el rotor las líneas de fuerza se cortan y establecen su propio campo magnético que mantiene rotación. La figura R18-53 muestra que los polos del motor

están divididos o ranurados, de tal modo que un polo más pequeño sustituye parte del polo principal. Alrededor de este polo más pequeño se encuentra una bobina o banda de cobre, que se llama *bobina de sombreado*. En lugar de depender de un devanado separado de arranque para crear una segunda fase, las bobinas de sombreado producen el giro del rotor mediante el corrimiento de una parte del campo magnético. La figura R18-54 muestra los principios que intervienen en este corrimiento de campo magnético.

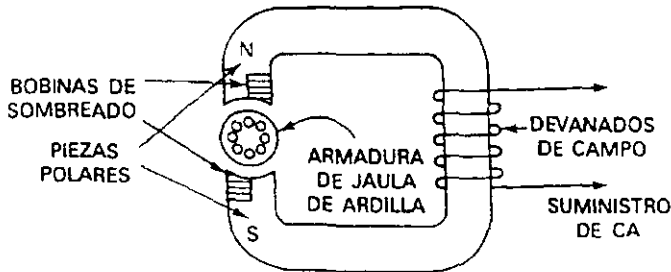


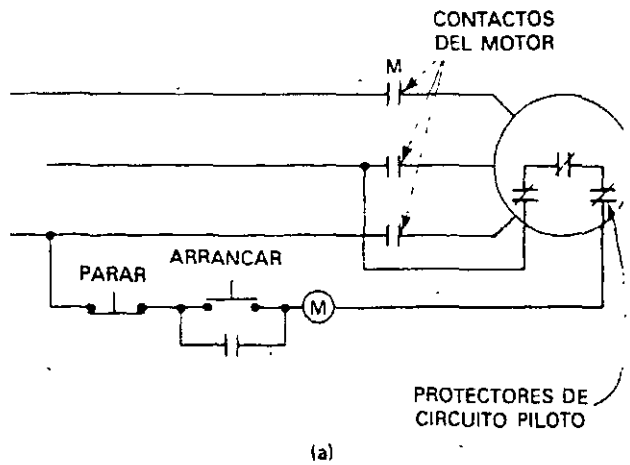
FIGURA R18-53 Motor de polos sombreados. (Cortesía de The Trane Company.)

Los protectores que responden con temperatura (figura R18-55a) pueden ser del tipo bimetalico o de termistor, los cuales ambos trabajan a una temperatura fija de motor. También pueden ser del tipo de varilla y tubo, que tiene una sensibilidad anticipatoria de temperatura, o "de velocidad de aumento".

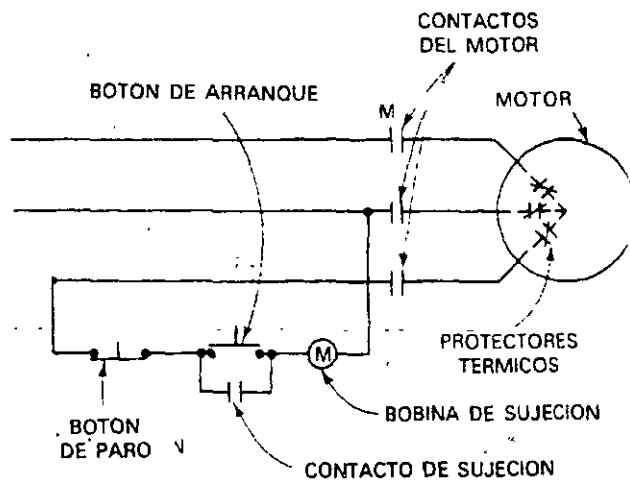
Los protectores bimetalicos emplean listones o discos bimetalicos para controlar un interruptor normalmente cerrado, y se diseñan para requerir un espacio mínimo, y por lo tanto se pueden instalar en los devanados de los motores. Los termistores son semiconductores cuya resistencia eléctrica varía de acuerdo con la temperatura. Son extremadamente sensibles a cambios de temperatura diminutos, pero la variación de resistencia se debe amplificar mediante un circuito electrónico o relevador mecánico para accionar una bobina de retención.

Los protectores de velocidad de aumento son casi siempre del tipo varilla y tubo y accionan a través de un circuito piloto. Un tubo externo de metal, y una varilla metálica interna se conectan de tal modo que trabajen como elemento térmico de expansión diferencial, y accionen un interruptor intercalado de acción instantánea. El metal del tubo tiene mayor coeficiente de expansión que el de la varilla. El elemento se instala en el devanado del motor, en el que sentirá el calentamiento. En cambios lentos de temperatura, el tubo y la varilla se calientan igual, y el interruptor se ajusta para abrir a una temperatura predeterminada. Cuando el cambio de temperatura es rápido, el tubo se calienta a mayor velocidad que la varilla y por lo tanto el movimiento de expansión térmica que se necesita para hacer trabajar al interruptor se alcanza a menor temperatura de tubo, en comparación con una rapidez de cambio menor. Esta anticipación de temperatura hace posible que el protector de varilla trabaje en condiciones tanto de marcha como de rotor parado.

Se emplean protectores de respuesta dual (uno de cuyos lugares se ve en la figura R18-55b) para proteger contra aumentos de temperatura, tanto lentos como rápidos, y por lo tanto se usan para sobrecargas en funcionamiento como



(a)



(b)

FIGURA R18-55 Protectores térmicos. a) Respuesta a la temperatura (circuito piloto). b) Respuesta dual (corte de línea) (Cortesía de ACCA.)

condiciones de rotor bloqueado. Estos protectores en esencia son termostatos bimetalicos con elementos de calefacci3n interconstruidos en serie con el devanado del motor. Pueden ser adecuados para fijar "dentro del devanado" o fijarse dentro de una de las tapas (figura R18-56).

El elemento de calentamiento puede ser la banda bimetalica o el mismo disco, un calentador separado, o ambas cosas. El calentamiento del elemento bimetalico es funci3n tanto de la temperatura alrededor del protector como del calor interno que genera la corriente del motor que pasa por el elemento.

La resistencia del disco y del calentador se coordinan con el ajuste de temperatura del disco para establecer un punto de operaci3n que se adecue al limite de temperatura del devanado. En el caso de la sobrecarga en marcha, la mayor parte del calor que llega al elemento t3rmico se produce por los devanados del motor. Durante el estado de rotor bloqueado, la velocidad de aumento es demasiada para hacer que trabaje el protector con la suficiente rapidez de respuesta. En este caso, el calor que se genera dentro del protector se suma al calor del devanado, y hace que la

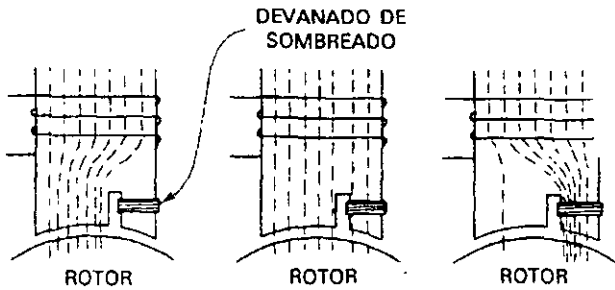


FIGURA R18-54 (Cortesía de The Trane Company.)

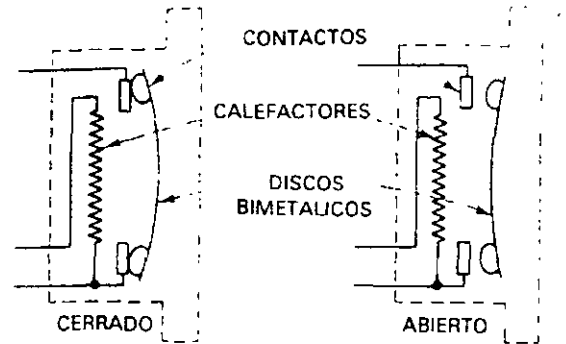


FIGURA R18-56 Protector térmico de respuesta dual, para montaje en tapa de motor. (Cortesía de Gould, Inc., Electric Motor Division.)

respuesta sea lo suficientemente rápida como para evitar daños.

Para motores monofásicos de hasta unos 5 hp, se usan protecciones térmicas. Para motores trifásicos, se usa un solo protector con tres elementos de calentamiento conectados en serie con los devanados del motor en el punto neutro. El protector abre las tres fases, como se ve en la figura R 1 8-55b.

PROBLEMAS

- 18-1 Todo circuito eléctrico consta de tres partes. Dar el nombre de ellas.
- R18-2. La mayor parte de los circuitos, si no es que todos, tienen un cuarto artículo. ¿Cuál es?
- R18-3. ¿Cuáles son los dos tipos de transformadores?
- R18-4 ¿Cuál es la diferencia entre los dos tipos de transformadores?
- R18-5 ¿Cómo influye la relación del número de vueltas en los devanados primario y secundario sobre el voltaje y el amperaje de un transformador?
- R18-6. Si un transformador de 240 a 24 V se conectara al revés (la salida a los 240 V), ¿cuál sería el voltaje de salida?
- R18-7. Las cargas se dividen en dos tipos. Dar el nombre y describir cada uno de ellos.
- R18-8 Dar el nombre de la carga tipo parásito que se usa con más frecuencia en el campo de refrigeración y aire acondicionado.
- R18-9. Dar el nombre de dos tipos de cargas primarias.
- R18-10. Dar el nombre de dos tipos de controles.
- R18-11. Los elementos sensores más comunes en los termostatos se fabrican con _____.
- R18-12. Muchos controles sensibles a la presión emplean el principio del tubo de _____.
- R18-13. ¿Cuáles son los tres casos en que se necesita emplear un relevador?
- R18-14. Un control de presión de aceite para el compresor de inmediato si no siente que haya presión de aceite. ¿Cierto o falso?
- R18-15. Definir un capacitor.
- R18-16. Algunos controles tienen restablecimiento _____ o _____.
- R18-17. Hay dos tipos de capacitores que se emplean en unidades de refrigeración. ¿Cuáles son?
- R18-18. Describir la diferencia en la construcción de los dos tipos.
- R18-19. ¿Qué es par?
- R18-20 Dar los nombres de los cinco tipos distintos de motores monofásicos.
- R18-21. En un motor que use capacitores tanto de marcha como de arranque, el capacitor de arranque debe arrancar el motor, y el de marcha lo debe mantener trabajando ¿Cierto o falso?
- R18-22. ¿Cuál es el objeto de una protección interconstruida es el motor?



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

INSTRUMENTOS PARA PRUEBAS ELÉCTRICAS

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

R19-1 GENERALIDADES

La mayor parte de los problemas de servicio en el campo de refrigeración y aire acondicionado se encuentran en los circuitos eléctricos de potencia y de control. El conocer el sistema eléctrico y los instrumentos de prueba permite al técnico de servicio localizar con facilidad la falla.

Muchos técnicos de servicio tienen aversión a usar instrumentos de prueba y no comprenden cómo trabajan, ni la necesidad de cuidarlos en forma adecuada. Si el técnico hiciera un esfuerzo sincero para aprender el uso adecuado de los instrumentos de prueba, estas valiosas herramientas podrían emplearse en beneficio tanto suyo como de los clientes. Los instrumentos deben ser tan familiares al técnico de servicio como las herramientas convencionales que tiene en su caja. Esos instrumentos de prueba son de naturaleza delicada y se debe tener el cuidado adecuado para su manejo y empleo. Si se va a medir un voltaje, el instrumento que se debe usar es un voltímetro. Si es la corriente eléctrica o flujo de electrones, medido en amperes, se debe usar un amperímetro. Si se han de medir la resistencia del sistema, o cortos o discontinuidades del circuito eléctrico, el instrumento que se debe usar es un óhmetro. Si se tiene que determinar la potencia en watts, se debe usar un wattímetro.

Al medir la resistencia del aislamiento, como en un motor, se usa un medidor de resistencias altas llamado *megger*. Cada uno de esos instrumentos se describe en las secciones siguientes.

R19-2 VOLTÍMETRO

El voltímetro es el medidor básico cuyo principio se usa en los tres medidores que mencionamos antes. La diferencia es cómo se obtiene la corriente que acciona el medidor, si directamente de la fuente de poder que se va a medir (voltímetro), o la caída de voltaje a través de una resistencia conocida en el circuito (amperímetro), o la caída de voltaje a través de la resistencia conocida empleando una fuente de poder de voltaje fijo (óhmetro).

En todo caso, el voltímetro mide un flujo de corriente. Para fines de esta descripción, se verá un instrumento de los de aguja sobre una escala. Una aguja móvil que marca sobre una escala tiene una bobina o devanado medidor que mueve un puntero o aguja a través de una escala calibrada, hasta la marca que indica la medición que se toma. La bobina medidora móvil es un devanado de alambre que puede girar libremente entre los polos norte y sur de un imán permanente. Cuando se aplica voltaje a la bobina, el flujo resultante de corriente a través de la bobina establece un campo magnético. Este campo reacciona con el que existe entre los polos del imán y hace que gire la bobina. Una aguja fija a la bobina se mueve hasta un lugar de la escala del medidor que depende de la cantidad de corriente que pasa a través de la bobina. La figura R 19-1 muestra la disposición de la bobina y el imán permanente.

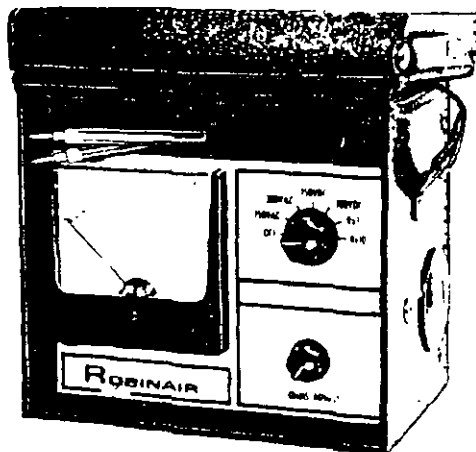


FIGURA R19-2 Voltímetro-óhmetro de combinación, para ca y cd. (Cortesía de Robinair Manufacturing Corporation.)

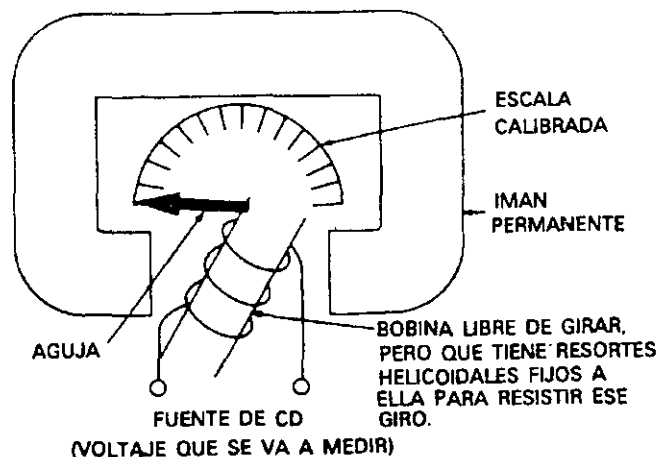


FIGURA R19-1 Componentes de un voltímetro. (Cortesía de American Gas Association.)

La bobina medidora móvil es un devanado de alambre que puede girar libremente entre los polos norte y sur de un imán permanente. Cuando se aplica voltaje a la bobina, el flujo resultante de corriente a través de la bobina establece un campo magnético. Este campo reacciona con el que existe entre los polos del imán y hace que gire la bobina. Una aguja fija a la bobina se mueve hasta un lugar de la escala del medidor que depende de la cantidad de corriente que pasa a través de la bobina. La figura R 19-1 muestra la disposición de la bobina y el imán permanente.

Cuando pasa una pequeña corriente por la bobina quiere decir que se ha aplicado un voltaje bajo ella, y se produce un campo magnético débil. Esto provoca una fuerza pequeña de giro, llamada *par del medidor*, que se crea entre el campo de la bobina y el del imán permanente. Así, la bobina y la aguja giran un poco contra la tensión de los resortes de retroceso. Un voltaje mayor producirá una mayor corriente a través de ella, produciendo un campo magnético más intenso a su alrededor, un mayor par del medidor y más rotación de la bobina y aguja.

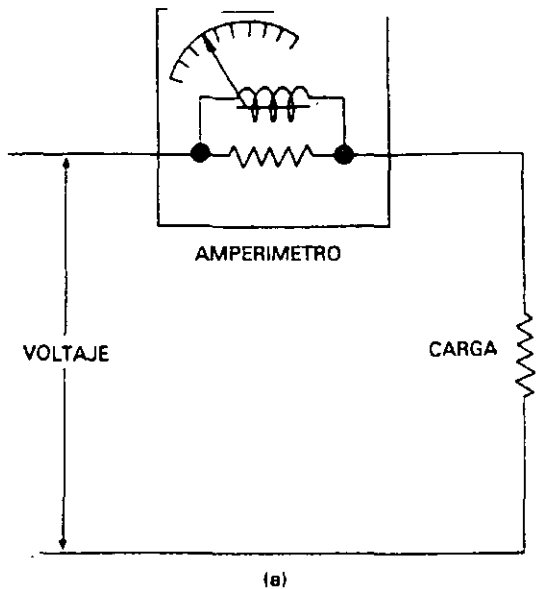
Como en realidad el voltímetro es un instrumento indicador de corriente, los valores eléctricos de los componentes de su circuito deben ser muy exactos. El diseño del circuito del instrumento debe prever todos los rangos de voltaje que vaya a medir el instrumento. El medidor que se ve en la figura R19-1 puede emplearse para medir voltajes de ca

aumentando un diodo en el circuito para cambiar la ca en cd.

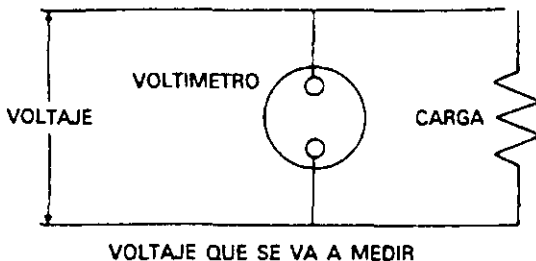
Para ser exactos, la mayor parte de los medidores trabajan con una corriente muy pequeña en la bobina. Este amperaje, llamado *sensibilidad de corriente*, depende del número de vueltas en la bobina del medidor y de la intensidad del campo del imán permanente. La sensibilidad de la corriente se expresa como el número de miliamperes o microamperes necesarios para que la aguja indique un valor de toda la escala. Los movimientos normales del medidor tienen una sensibilidad de corriente de 1 mA o de 50 μ A.

La sensibilidad del medidor también se puede expresar en "ohms por volt". Es la resistencia total que debe conectarse en serie en el circuito del medidor para obtener una indicación de escala completa cuando se aplica 1 V entre las terminales del medidor. Con la ley de Ohm para calcular la resistencia, el medidor con sensibilidad de 1 mA necesitaría 1000 Ω/V en el circuito, y el de 50 μ A necesitaría 20,000 Ω/V

Si el medidor tuviera que medir entre los límites de voltaje de 0 a 10 V a escala completa, el medidor de 1 mA necesitaría 10,000 Ω en el circuito para producir la desviación completa de la aguja. Si el medidor tuviera que medir de 0 a 250 V, debería haber una resistencia de 250,000 Ω en el circuito. Por lo tanto, para poder emplear el mismo medidor con varias escalas de voltaje, sólo es necesario poder cambiar la cantidad de resistencia en el circuito, para así cambiar sus límites de medición de voltaje.



(a)



(b)

FIGURA R19-4 Un voltímetro mide la caída de voltaje a través de una resistencia. (Cortesía de American Gas Association.)

Este tipo de amperímetro necesita intercalarse en el circuito para medir la corriente que pasa. Esto es práctico cuando se mide flujo de pequeñas corrientes es de pocos amperes, como $\frac{1}{2}$

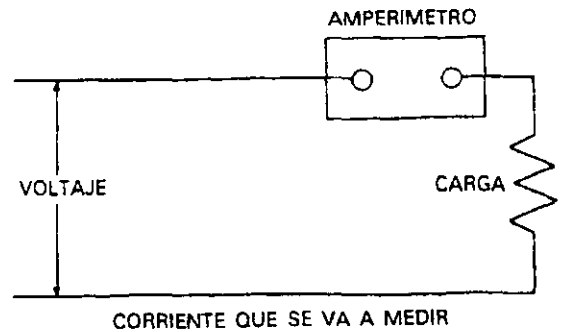


FIGURA R19-3 Medición de corriente en un circuito con un amperímetro. (Cortesía de American Gas Association.)

La figura R 19-2 muestra un medidor de combinación, óhmetro y voltímetro, con dos escalas de voltaje: 150 y 300 V. Si el medidor básico tiene una sensibilidad de corriente de 1 mA, para medir 150 V a escala completa se necesitaría una resistencia de circuito de 150,000 Ω y para medir 300 V una de 300,000 Ω . Mediante un interruptor selector, se introducen o se separan del circuito las diversas resistencias para poder usar un solo medidor para varios límites. Cuando se seleccionan los voltajes de ca, las resistencias para I_r diversos rangos son las mismas. Tan sólo se conecta un diodo circuito, para convertir la ca en cd, y que pueda trabajar el medidor.

Como el medidor no tomará más corriente que la de diseño, si se sujeta a mayor voltaje que los límites de la escala se podría quemar la bobina y/o las resistencias del circuito, o se podría doblar la aguja por ejercer demasiada fuerza contra el tope. Algunos medidores tienen cámaras de aire para amortiguación para desacelerar el movimiento de la aguja, pero tienen sus limitaciones. Cuando tenga un medidor de varias escalas, comience siempre a medir el voltaje con la escala mayor del aparato. Cuando se indique el voltaje aproximado, se puede reducir el rango a los límites adecuados para tener mayor exactitud de lectura.

R19-3 AMPERIMETRO

Los amperímetros miden la corriente eléctrica que pasa por el circuito (figura R19-3) y usan los mismos principios de funcionamiento que los voltímetros. Las mediciones de corriente obligan a conectar al amperímetro en serie en el circuito que se está midiendo, en lugar de en paralelo, como cuando se usa un voltímetro.

Como es impráctico fabricar un amperímetro con una bobina lo suficientemente grande como para conducir toda la corriente en el circuito eléctrico, en realidad el amperímetro es un voltímetro sensible que mide la caída de voltaje a través de una resistencia pequeña en

ejemplo en los circuitos de control de 24 V, o para medir en la zona de microamperes, en los termopares. Sin embargo, para altos amperajes, es más práctico usar un amperímetro de gancho, de armadura dividida.

La figura R19-5 muestra un amperímetro de gancho, con escalas de 0 a 600 A. Este tipo de instrumento no necesita contacto real con conductores o terminales. Se cierra alrededor de un conductor que lleva la corriente que se va a medir. Esa corriente produce un campo magnético que induce a su vez un efecto magnético en el gancho del instrumento, haciendo que trabaje como un transformador de subida y generando un voltaje en un devanado secundario alrededor de la armadura del medidor. Un voltímetro mide la caída de voltaje a través de una resistencia en serie con el devanado secundario. Recuerde: este instrumento sólo trabaja en corriente alterna, porque depende del efecto de transformador.

Para producir el rango múltiple de medida de corriente, se utiliza un arreglo interruptor para variar las resistencias en el circuito.

La figura R19-6 muestra los circuitos internos de un amperímetro normal tipo gancho. El tamaño de las diversas resistencias se debe dimensionar para obtener la sensibilidad del medidor, y se usa un puente de rectificadores para convertir la ca en la cd que pasa por el medidor.

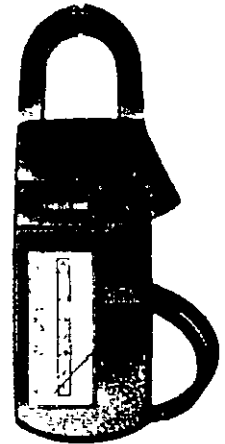


FIGURA R19-5 Amperímetro de gancho (Cortesía de A. W. Sperry Instruments, Inc.)

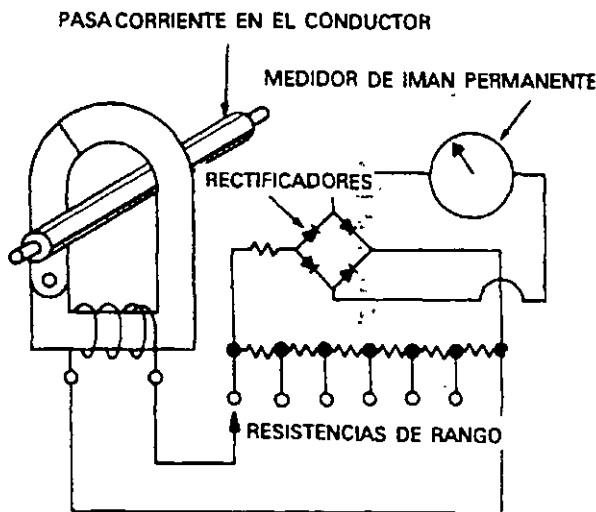


FIGURA R19-6 Esquema de un amperímetro de gancho de armadura dividida. (Cortesía de American Gas Association.)

R19-4 OHMETRO

En el óhmetro, el movimiento básico del medidor de un voltímetro también se usa para medir la resistencia de un componente. Sin embargo, el óhmetro tiene su propia fuente de voltaje dentro del instrumento, que en general es una sola pila, o combinación de pilas, dependiendo de los límites disponibles en el instrumento. El óhmetro nunca se debe conectar a ninguna fuente de voltaje. Si se conecta, seguramente se quemará el instrumento.

El circuito sencillo del óhmetro de la figura R19-7 consiste en una fuente de voltaje (batería), un medidor básico (R_m), una resistencia variable (R_h) para llevar a cero el medidor, y una resistencia fija para limitar el flujo de corriente a la bobina del medidor. La resistencia desconocida que se va a medir se coloca entre las terminales A y B. Nótese que la escala del óhmetro está invertida con respecto a la del voltímetro. En el voltímetro, el 0 está al extremo izquierdo (posición de medición de cero corriente), y el voltaje máximo

está al extremo derecho. En el óhmetro, el movimiento completo de la aguja a la derecha es una indicación de flujo máximo de corriente, o cero (0) ohms (un cortocircuito), mientras que el extremo izquierdo de la escala indica que no hay paso de corriente, porque hay resistencia infinita (que se representa con el símbolo ∞).

Antes de medir una resistencia, se conectan entre sí las terminales A y B para que sea cero la resistencia entre ellas. La aguja debe indicar cero ohms. Si no lo hace, se ajusta la resistencia R_h hacia arriba o hacia abajo para llevar a la aguja a la marca de cero. Este ajuste tiene especial importancia cuando se miden resistencias de 0 a 5 Ω como por ejemplo, cuando se miden los devanados de arranque y marcha de un motor. A continuación se conecta la resistencia desconocida entre A y B y la aguja indica la resistencia en ohms de la escala. En realidad el medidor está llevando a cabo la función descrita por la ley de Ohm, con un voltaje conocido, e indicando el resultado.

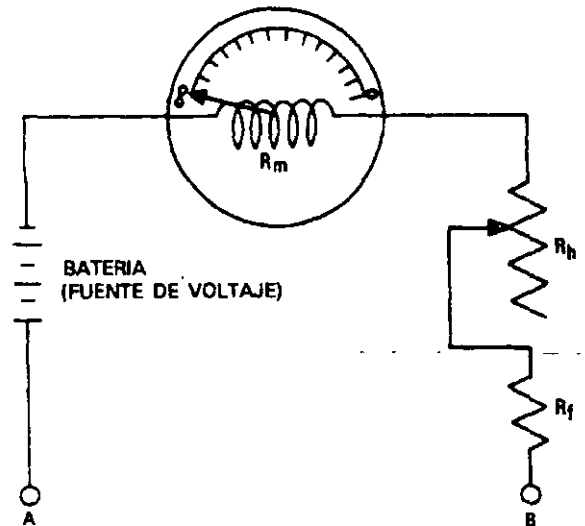


FIGURA R19-7 Circuito sencillo de un óhmetro. (Cortesía de American Gas Association.)

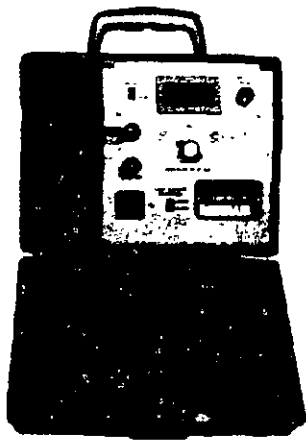


FIGURA R19-8 Voltímetro-wattímetro. (Cortesía de Robinair Manufacturing Corporation.)

El óhmetro es el instrumento básico de prueba en el análisis de fallas. Un voltímetro mide el voltaje disponible, el amperímetro mide el flujo de corriente; pero el óhmetro se usa para comprobar la calidad de los componentes, el estado del circuito y la condición de las partes individuales. Por ejemplo, el estado de un contacto de un relevador, contactor de sobrecarga, etc., se puede medir sólo con un óhmetro. Si el contacto es del tipo de alto voltaje (más de 50 V), la resistencia no debe ser mayor que 1 Ω . Si es mayor, el contacto se debe cambiar, porque si no, pueden desarrollarse más daños eléctricos. Si el contacto es del tipo de bajo voltaje (50 V o menos) la resistencia máxima permisible es 0.5 Ω .

R19-5 WATTIMETRO

En cargas tipo térmico o de resistencia, los watts que toma la carga es igual a los volts aplicados por los amperes que pasan. En las cargas de tipo magnético, también se debe tener en cuenta el factor de potencia, porque voltaje y amperaje están desfasados a causa de la inductancia y reactancia desarrolladas en la carga.

Un wattímetro emplea dos bobinas que influyen sobre el movimiento de la aguja: una está energizada por el voltaje directamente, y la otra por la caída de voltaje a través de un resistor corto en el circuito. Cada bobina reacciona a su fuente primaria de voltaje, y transmite su movimiento al de la aguja para indicar los watts reales en el circuito, y ha tomado en cuenta el factor de potencia.

El voltímetro-wattímetro (figura R19-8) permite que el técnico de servicio obtenga indicaciones simultáneas del voltaje y la potencia real (el factor de potencia está ya compensado) al revisar y dar servicio a un aparato eléctrico. El técnico de refrigeración puede tener que revisar otros aparatos además de los directamente relacionados con la refrigeración, y puede encontrar electrodomésticos con capacidades en watts en lugar de amperes. En ese caso, cuando se desea una capacidad en amperes, la indicación de watts se puede dividir entre el voltaje del circuito para obtener el amperaje.

R19-6 MILIVOLTIMETRO Y MILIAMPERIMETRO

Se puede llamar al técnico para medir un circuito eléctrico con bajo voltaje e intensidad de corriente. En esos casos, debe usar los instrumentos llamados milivoltímetro y miliamperímetro, que indican valores menores que los que se

obtienen en general con los multímetros. Por ejemplo muchas estufas de gas usan termopares para generar voltaje de cd en el rango de milivolts, para hacer trabajar dispositivos de corte por seguridad que usan amperaje en los límites de los miliamperes. Se podría usar un voltímetro y amperímetro normales, pero la indicación sería tan baja que tendría muy poco significado. La figura R19-9 muestra un medidor de combinación que indica en el rango de milivolts, y también en el de

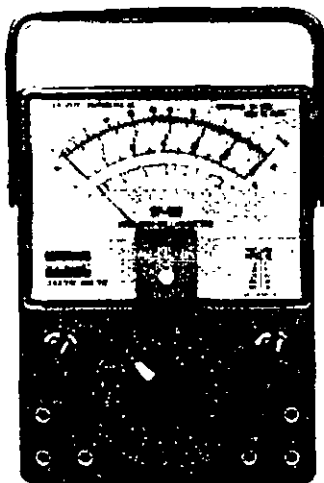


FIGURA R19-9 Multímetro. (Cortesía de A. W. Sperry Instruments, Inc.)

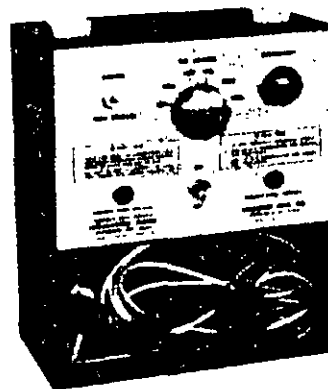


FIGURA R19-10 Megóhmetro, probador de aislamiento. (Cortesía de TIF Instruments, Inc.)

miliamperes y microamperes.

R19-7 MEGGER

Cuando se mide aislamiento para alto voltaje, el ohmetro que se use necesita un voltaje mayor que el de 1.5 V que generalmente se encuentra en el óhmetro normal. En este caso se usa un instrumento de alto voltaje, con un voltaje aproximado de 500 V. Este instrumento, que se llama *megger* porque está diseñado para trabajar en valores de resistencia de megohms, se ve en la figura R19-10. Originalmente, el megger tenía una manivela a la que había que hacer girar, como fuente de potencia, y con ello generar los 500 V. Con el desarrollo de refuerzos de voltaje de estado sólido, una fuente de poder de 6 V (baterías) se eleva a los 500 V para la prueba de resistencia.

PROBLEMAS

R19-1. El mayor número de problemas de servicio en el campo de refrigeración y aire acondicionado, ¿están en el circuito de refrigeración o en el circuito eléctrico?

R19-2. ¿Qué instrumentos se usarían para medir lo siguiente?

- a) Voltaje aplicado _____
- b) Resistencia de la terminal del motor a tierra _____
- c) Paso de corriente _____
- d) Resistencia de una bobina _____
- e) Potencia total tomada _____
- f) Continuidad de un circuito _____
- g) Cortos en un circuito _____

R19-3. Cuando se usa un medidor de escalas múltiples, el punto inicial de medición debe ser ¿el rango menor o el mayor?

R19-4. Un amperímetro de gancho trabaja con igual eficacia en corriente alterna y en corriente directa. ¿Cierto o falso?

R19-5. En un óhmetro, cuando la aguja se mueve hasta el extremo de la escala, ¿quiere decir que lo que se probó tiene resistencia máxima o mínima?

R19-6. Cuando no hay movimiento de la aguja de un óhmetro en la escala máxima al medir una bobina de relevador quiere decir que la bobina está _____.

R19-7. Cuando se usa un óhmetro para revisar el estado de los contactos de un relevador, la resistencia máxima para contactos de alto voltaje es _____ y para contactos de bajo voltaje es _____.

R19-8. ¿Cuál es el objeto de los milivoltímetros y miliamperímetros?

R19-9. Dar el nombre de un aparato muy empleado para el cual se necesitan milivoltímetro y miliamperímetro para revisarlo.

R19-10. ¿Cuál es el voltaje que desarrolla un megger?



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**



...: Mecánica e Industrial

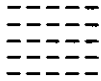
CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

CIRCUITOS Y CONTROLES ELÉCTRICOS

**EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA**



R20-1 COMPONENTES BÁSICOS

En el capítulo RI 8 se describieron los componentes eléctricos como artículos individuales. Ahora es necesario armar los diversos componentes para obtener el producto final que se desea para conectarlo a los suministros eléctricos. Sea cual sea el producto final: calor (carga térmica) o trabajo (carga mecánica), cada circuito debe contener las partes básicas necesarias: fuente de poder, carga y conductores. A menos que se necesite funcionamiento continuo, como en el caso de los motores de reloj, se necesita algún tipo de control.

Además, algunos componentes pueden tener diversos usos, y el más común es la fuente de poder. El transformador del poste ubicado fuera de una residencia es una sola fuente de poder, pero está conectada a muchas cargas que tienen muchos dispositivos de control. *Recuerde: Cada circuito que suministra corriente del transformador común a una carga individual, posiblemente a través de un dispositivo de control, es un circuito individual, y no se relaciona necesariamente con algún otro circuito.* La luz en un comedor que controla un interruptor de pared se conecta a la misma fuente de poder que la lámpara de la sala. Sin embargo, trabajan independientemente una de otra. Por otro lado, puede necesitarse hacer funcionar los focos de un lugar determinado en orden tal que trabajen una de las dos lámparas, pero no ambas al mismo tiempo. Para llevar a cabo lo anterior se usaría un solo control, o dispositivo de conmutación.

R20-2 ACCION DE CONMUTACION

Todos los controles del tipo de interrupción total (dispositivos de conmutación) tienen un factor en común: contactos o dispositivos de conmutación para el control de las cargas eléctricas. Como los dispositivos de conmutación mecánicos (a excepción del interruptor de cuchillas de doble tiro) sólo pueden tener dos posiciones, la selección del arreglo de los contactos depende de si el contacto debe estar cerrado o abierto en las condiciones deseadas. En el caso del arrancador, relevador o contactor del motor, los controles deben cerrar cuando se energice la bobina de operación. En el caso de un control de alta presión, los contactos deben abrir si se reduce la presión de succión a menos del punto de control en el regulador.

Cuando se representan los dispositivos de control en los diagramas eléctricos, los contactos se muestran en la posición que tendrían en las condiciones normales. Las condiciones normales son las siguientes:

1. **Controles de temperatura:** Cuando el control está a 70 °F o 21.1 °C
2. **Controles de presión:** Cuando la presión es la atmosférica (0 psig)
3. **Controles eléctricos:** Cuando no hay corriente, o se ha desconectado la fuente de poder

R20-3 SÍMBOLOS ELECTRICOS

La figura R20-1 muestra los símbolos que recomienda el Comité de Ayuda Educativa de la Refrigeration Service Engineers Society en Estados Unidos, para los diagramas eléctricos. En la parte de los interruptores se dan las diversas aplicaciones de los mismos. Se debe notar que en algunos casos el interruptor se muestra como abierto y en otros como cerrado. Cuando se muestra en la posición abierta a las condiciones normales, el interruptor se llama *normalmente abierto*. Cuando el interruptor o contacto se muestra en posición cerrada a condiciones normales, se dice que es *normalmente cerrado*.

Los contactos normalmente abiertos son aquellos que descansan en posición abierta cuando el control está inactivo. Por ejemplo, cuando se desenergiza la bobina magnética del relevador de la figura R20-2, los contactos abren y descansan en la posición abierta.

Los contactos normalmente cerrados son aquellos que descansan en la posición cerrada cuando el control está inactivo. Por ejemplo, cuando la bobina magnética del relevador de la figura R20-3 se desenergiza, los contactos cierran y descansan en posición cerrada.

También es posible tener distintas combinaciones de contactos, dependiendo de las funciones de control que se desean. Por ejemplo, el relevador de la figura R20-4 tiene un arreglo de un polo y dos tiros, lo cual quiere decir que está formado de un contacto normalmente abierto y uno normalmente cerrado, con una terminal común. Los contactos 1 y 2 se establecen en la posición cerrada, y los contactos 3 y 4 en la posición abierta. Este relevador se usaría cuando hay una fuente de poder con dos cargas: una carga trabajando cuando el relevador está desenergizado y la otra cuando está energizado.

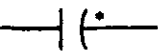

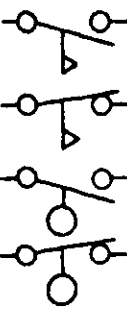
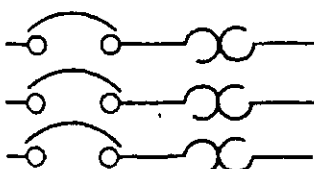

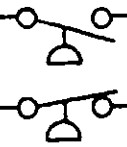
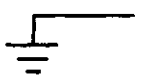
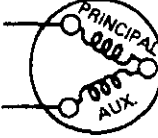
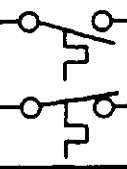

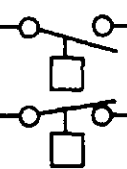
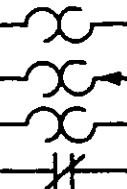


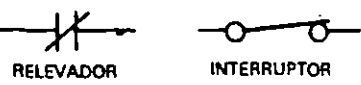

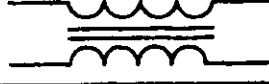
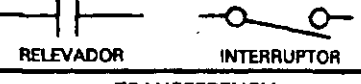


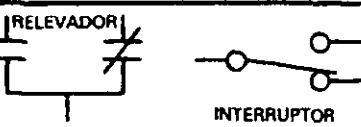
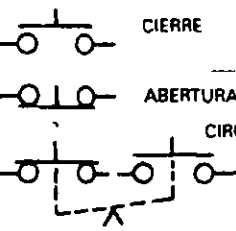
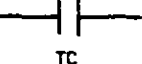
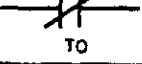
CAPACITOR  • MAS CERCANA A TIERRA	FUSIBLE  DE CARTUCHO O DE TAPON ESLABON FUSIBLE	INTERRUPTORES DE FLUJO  CIERRA AL AUMENTAR EL FLUJO ABRE AL AUMENTAR EL FLUJO CIERRA AL AUMENTAR EL NIVEL ABRE AL AUMENTAR EL NIVEL
DISYUNTOR  DISYUNTOR DE 3 POLOS CON DISPOSITIVO TERMICO DE SOBRECARGA EN TODOS LOS POLOS	MOTOR (GENERAL) 	PRESION O VACIO  CIERRA AL AUMENTAR LA PRESION ABRE AL AUMENTAR LA PRESION
TIERRA 	DEVANADOS DE MOTOR  MONOFASICO (TIPICO)	TEMPERATURA  CIERRA AL AUMENTAR LA TEMPERATURA ABRE AL AUMENTAR LA TEMPERATURA
ACCIONADO POR BOBINA CONTACTOR DE BOBINA O RELEVADOR  • PONER IDENTIFICACION CON LETRA	CONDUCTORES — DE CORRIENTE, DE FABRICA — DE CONTROL, DE FABRICA - - - DE CORRIENTE, DE CAMPO - - - DE CONTROL, DE CAMPO	HUMEDAD  CIERRA AL AUMENTAR LA HUMEDAD ABRE AL AUMENTAR LA HUMEDAD
CONEXION MECANICA - - - (RAYAS CORTAS)	CRUCE DE CONDUCTORES + CRUCE DE CONDUCTORES SIN ESTAR CONECTADOS CUALQUIER ANGULO	ELEMENTO TERMICO  ACCIONADOR CORTE TERMICO RELEVADOR TERMICO RELEVADOR TERMICO
CONEXION MECANICA, PIVOTE - - - (RAYAS CORTAS)	CONDUCTORES CONECTADOS 	TERMOPAR 
CONTACTO CERRADO  RELEVADOR INTERRUPTOR	RESISTOR  (CALENTAMIENTO)	TRANSFORMADOR 
CONTACTO ABIERTO  RELEVADOR INTERRUPTOR	INTERRUPTORES (TIPOICOS) INTERRUPTORES DE TIRO UN TIRO DOBLE TIRO  DOS POLOS DOBLE TIRO	DISPOSITIVO DE SEÑALIZACION VISUAL  FOCO DE SEÑAL (TIPICO) • AGREGAR LETRA DE IDENTIFICACION
TRANSFERENCIA  RELEVADOR INTERRUPTOR	DE BOTON (RESORTE DE RETROCESO) CIERRE ABERTURA CIRCUITO DOBLE  (SIN RESORTE DE RETROCESO)	
CONTACTO ABIERTO DE RELEVADOR  TC		
CONTACTO CERRADO DE RELEVADOR  TO		

FIGURA R20-1 Símbolos recomendados para diagramas eléctricos sencillos. (Cortesía de ACCA.)

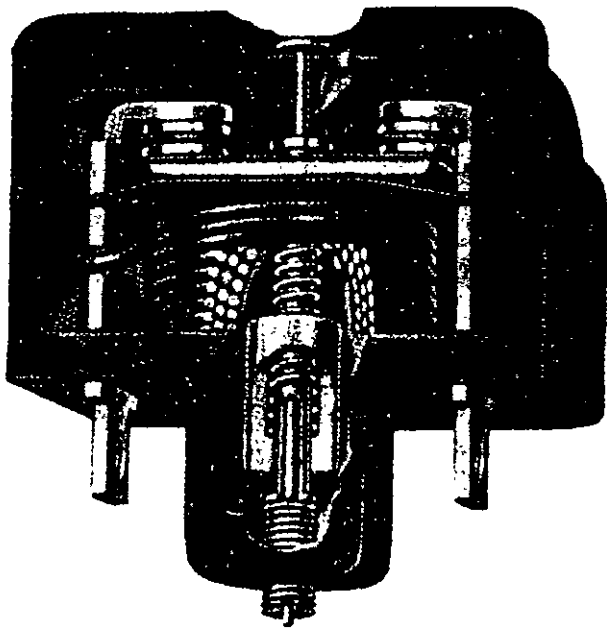


FIGURA R20-2 Contactos normalmente abiertos.



FIGURA R20-3 Contactos normalmente cerrados (Cortesía de Honeywell, Inc.)

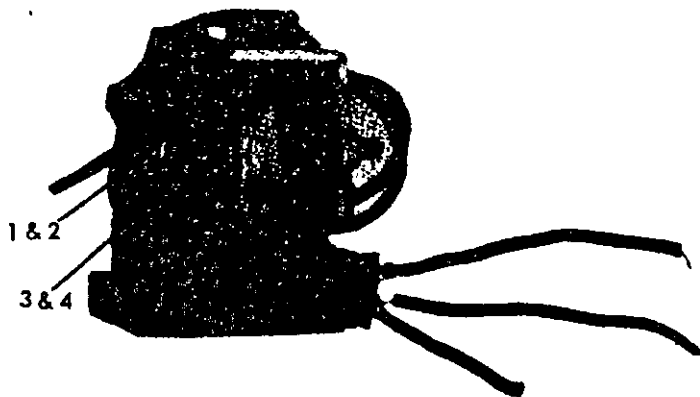
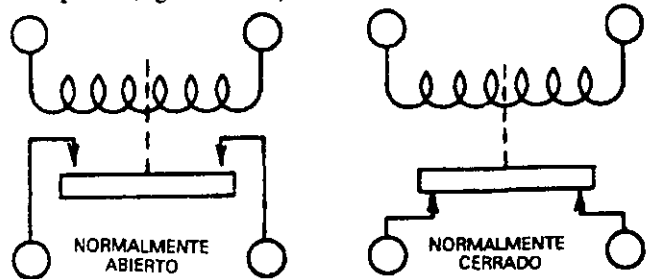


FIGURA R20-4 Relevador de un polo, doble tiro. (Cortesía de Honeywell, Inc.)

Otro arreglo también emplearía un contacto normalmente abierto y uno normalmente cerrado, pero sin terminal común. Este arreglo se podría usar para controlar dos circuitos partir de dos fuentes de poder separadas, posiblemente a voltajes distintos. Un circuito trabajaría cuando el relevador estuviera energizado y el otro cuando estuviera desenergizado. Los arreglos más comunes de contactos son

1. **Un polo, un tiro:** Este arreglo tiene un juego de contactos que controlan una carga con una sola fuente de poder (figura R20-5).



UN POLO, UN TIRO

FIGURA R20-5 (Cortesía de Honeywell, Inc.)

los siguientes:

1. **Un polo, un tiro:** Este arreglo tiene un juego de contactos que controlan una carga con una sola fuente de poder. (figura R20-5).
2. **Un polo, doble tiro:** Este arreglo tiene dos conjuntos de contactos que controlan dos cargas con una fuente de poder común, pero cuando sólo una carga está conectada a la v (figura R20-6).
3. **Dos polos, un tiro:** Este arreglo tiene dos conjuntos de contactos que controlan a dos cargas con dos fuentes de poder separadas. El control real sería como sigue:

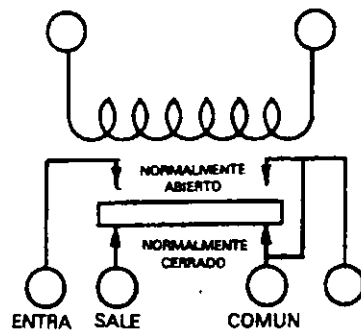


FIGURA R20-6 (Cortesía de Honeywell, Inc.)

3. **Dos polos, un tiro:** Este arreglo tiene dos conjuntos de contactos que controlan a dos cargas con dos fuentes de poder.
 - a. **Ambos contactos normalmente abiertos.** Ambas cargas se desconectan de su respectiva fuente de poder

cuando el relevador está desenergizado (figura R20-7).

b. **Ambos contactos normalmente cerrados.** Ambas cargas se conectan con sus respectivas fuentes de poder cuando se desenergiza el relevador (figura R20-8).

c. **Un contacto normalmente abierto, un contacto normalmente cerrado.** Una carga se conecta con su fuente de poder y la otra se desconecta de la suya cuando se desenergiza el relevador (figura R20-9).

4. Dos polos doble tiro: Este arreglo usaría cuatro conjuntos de contactos dispuestos para controlar una carga con dos fuentes de poder separadas. Cada contacto tiene un contacto normalmente abierto y otro normalmente cerrado con una terminal común. Así, se conectaría una carga a una fuente de poder en posición abierta (o sea, con el relevador desenergizado), y las otras cargas se conectan a las fuentes de poder en la posición cerrada (o sea, con el relevador energizado) (figura R20- 10).

Es posible cualquier número de combinaciones, pero todas ellas serían múltiplos de los arreglos de conmutación anteriores.

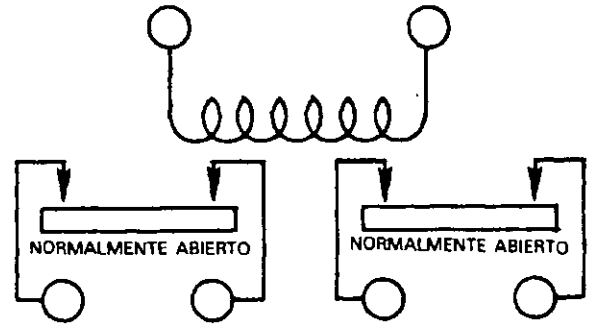


FIGURA R20-7 (Cortesía de Honeywell, Inc.)



En

los contactores y arrancadores se necesitan más juegos de contactos para efectuar el control deseado. Por ejemplo, en un contactor trifásico (figura R20-11), se necesitan tres contactos de un polo y un tiro para desconectar las tres líneas de la fuente de poder cuando se desconecta la unidad. Serían tres contactos normalmente abiertos.

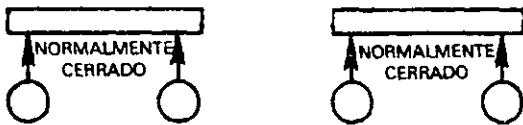


FIGURA R20-8 (Cortesía de Honeywell, Inc.)

También es posible elevar la capacidad de amperes del control sin usar contactos más grandes, empleando cuatro juegos de contactos conectados para igualar el efecto de dos juegos; estos contactos conducen la mitad de la carga total y se eleva al doble la capacidad general del control. Así, se conectan en paralelo cuatro juegos de contactos de un polo y un tiro para formar dos conjuntos de

contactos de un polo y un tiro.

R20-4 SECUENCIA DE CONTROL

Casi la única vez que se encuentra uno con un solo control es cuando se tiene el caso de un solo foco controlado por un único interruptor de pared. En forma normal, se usa una secuencia, o serie de controles. Un caso típico sería la lámpara de mesa de tres intensidades con un interruptor de encendido-apagado en el cable. El interruptor del cable es el control principal de la corriente al foco, mientras que el interruptor de la base selecciona la cantidad de luz disponible al conectar los filamentos del foco que se vayan a emplear. La figura R20-12 muestra el diagrama eléctrico de ese arreglo de alumbrado. El interruptor del cable es el "controlador maestro". Este control decide si la luz enciende o apaga. El interruptor selector escoge sólo cuál filamento del foco estará activo. Por lo tanto, para controlar la acción de todos los elementos en la carga (que es el foco de tres intensidades), debe instalarse el control maestro antes del control selector o de operación.

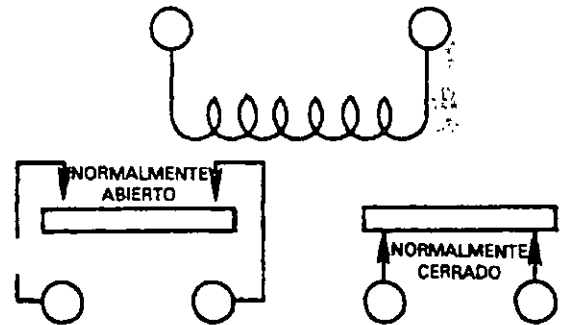


FIGURA R20-9 (Cortesía de Honeywell, Inc.)

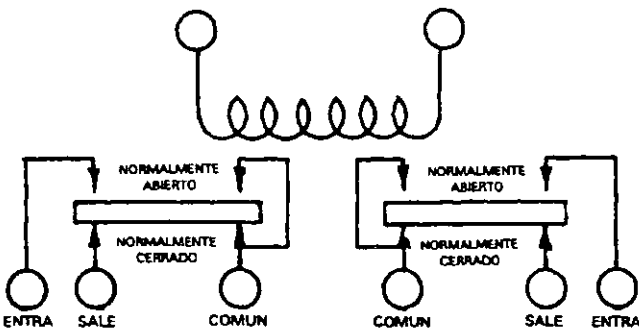


FIGURA R20-10 (Cortesía de Honeywell, Inc.)

Un circuito de control sencillo en el área de refrigeración sería el sistema básico de control de temperatura en un refrigerador doméstico y el circuito de alumbrado interior. En la figura R20-13 vemos dos circuitos a los que se les suministra corriente a través de la clavija macho de 120 V, con un tercer conductor conectado a tierra para tener la protección necesaria. El control adecuado de los circuitos de 120 V necesita que el control esté en la terminal viva, con corriente o negra (aunque esto no siempre se hace en equipo unitario). La terminal negra o viva abastece a dos circuitos:

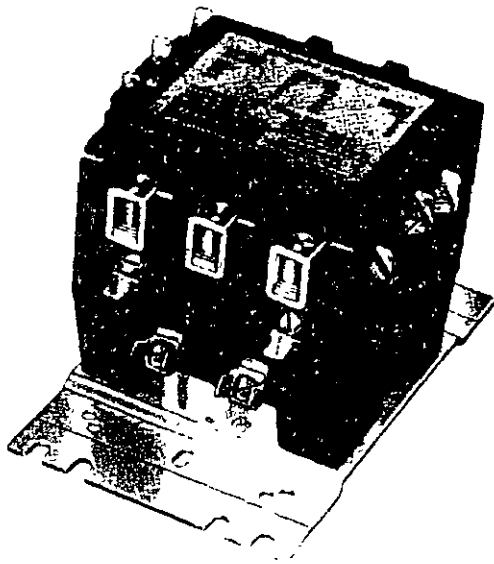


FIGURA R20-11 Contactor trifásico de un polo, un tiro. (Cortesía de Honeywell, Inc.)

1. El alumbrado interior, a través del interruptor de puerta. Al abrir la puerta se completa el circuito y se enciende la luz. El interruptor de puerta es uno normalmente cerrado que se mantiene en posición abierta por la presión del marco de la puerta, cuando cierra ésta.
2. La corriente para hacer trabajar al motor del compresor y al del ventilador para producir el efecto deseado de refrigeración en la caja; en este caso vemos que el control de temperatura es el control maestro.

Al cerrar el control maestro se alimenta corriente a dos circuitos en paralelo: el del ventilador del condensador y el del motor del compresor. El motor del ventilador del condensador es de tipo de polos sombreados y no necesita más control para trabajar. También, a causa de este tipo de construcción, su protección depende del fusible de línea de 120 V.

Como el motor del compresor es de tipo de arranque y marcha por capacitor, se necesita un devanado de arranque para dar el par necesario de arranque para que trabaje el motor. También, al haber arrancado se debe desenergizar el devanado de arranque cuando el motor alcance un 80% de su velocidad a plena carga. Como el conjunto del motor y compresor es de tipo hermético,

se usa un relevador separado de corriente para llevar a cabo lo anterior (figura R20-14).

Cuando cierra el control de temperatura, pasa la corriente por el relevador, por el devanado de arranque del motor y por el protector de sobrecarga y sale al conductor contrario. El alto paso de corriente al motor, que es la corriente de arranque, o de rotor bloqueado, es lo suficientemente grande como para hacer que cierre el relevador y conecte al circuito el devanado de arranque, o auxiliar.

Al acelerar el motor, el paso de corriente baja hasta que no es suficiente la fuerza magnética del relevador para mantener adentro su armadura; el resorte de retroceso empuja esa armadura que cae, abriendo el circuito de arranque o del devanado auxiliar, y el motor sigue trabajando. Como el contacto del relevador está abierto cuando no se aplica corriente, se trata de un contacto normalmente abierto.

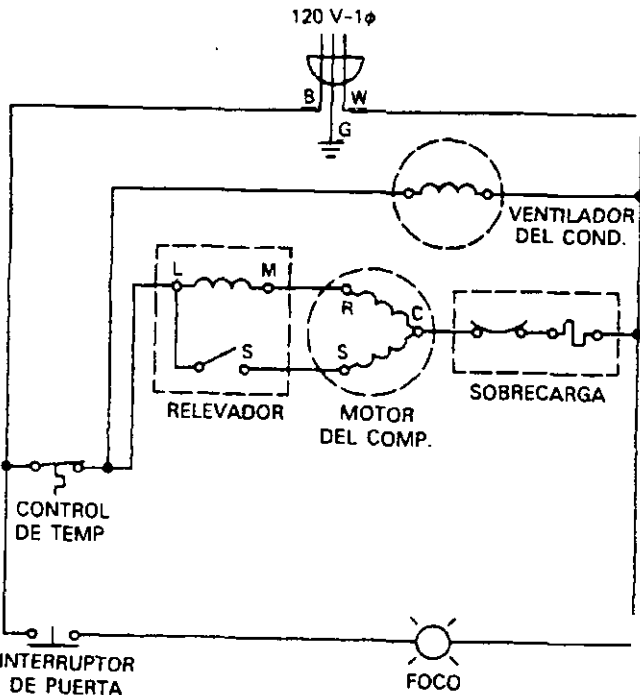


FIGURA R20-13 Control de alumbrado y motores de un refrigerador

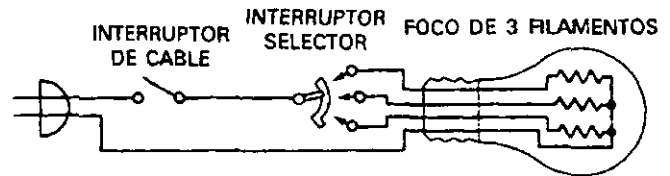


FIGURA R20-12 Control de un foco de tres intensidades.

A la temperatura normal ambiente (70 °F o 21.1 °C), cierra el corte por sobrecarga para permitir que pase la corriente para funcionamiento normal; por lo tanto, este contacto es del tipo normalmente cerrado. Si el motor del compresor no arrancara y continuara necesitando la corriente de arranque, el calentador tipo parásito en el protector de sobrecarga se calienta con rapidez y llega a una temperatura lo suficientemente alta como para hacer que accione el conjunto de contacto bimetalico y abra los contactos. Con ello se interrumpe el paso de corriente a través del motor y evita daños a éste. En el diagrama vemos que tenemos un control maestro en cada circuito. El circuito del compresor también tiene dos controles adicionales: uno normalmente abierto, el del relevador de arranque, y uno normalmente cerrado, el del circuito de sobrecarga.

En el dispositivo que se ve en la figura R20-13, cuando el serpentín del evaporador había acumulado demasiada escarcha y/o hielo, fue necesario detener el funcionamiento del sistema hasta que se hubiese fundido la escarcha y el serpentín quedase limpio. La necesidad de eliminar esta molestia condujo a la inclusión del desescarchamiento automático. Esto se necesitaba en especial en los refrigeradores con compartimiento congelador separado. Cuando la unidad se apagaba durante un período lo suficientemente largo como para

eliminar toda la escarcha, el alimento se podría calentar y quizá echar a perder. Se agregó un calentador al serpentín del evaporador para llevar a cabo un calentamiento rápido, y un calentador a la charola de drenado, así como un tubo de drenado, para evitar que se formara hielo y se acumulara el agua condensada en la charola (figura R20-15).

El funcionamiento de la unidad era entonces de refrigeración o deshielo bajo el control de un temporizador de desescarchado. Para hacer funcionar la unidad después de determinado número de horas de trabajo del compresor (en general 12 horas), el motor del temporizador de deshielo es una carta adicional bajo el control de temperatura. Ahora el control de temperatura controla al ventilador del condensador, al motor del compresor y al motor del temporizador. La corriente llega del lado vivo de la fuente de poder a través del control de temperatura, pasa al motor del compresor a través del contacto normalmente cerrado del temporizador de deshielo, y se tiene operación o trabajo normal. La temperatura del refrigerador se mantiene en el punto de control del termostato (figura R20-16).

Después del tiempo necesario de trabajo del compresor (en realidad, tiempo de funcionamiento del motor del temporizador, ya que ambos trabajan en forma simultánea), se interrumpe el contacto normalmente cerrado del temporizador, se para el compresor, y al mismo tiempo cierra el contacto normalmente abierto y se energizan los calentadores. Como aumenta la presión del refrigerante en el evaporador a causa del calor agregado, se podría tener un arranque muy forzado del motor del compresor. Para tener la presión de descarga tan cerca de la correspondiente a la temperatura ambiente, el motor del ventilador del condensador sigue trabajando.

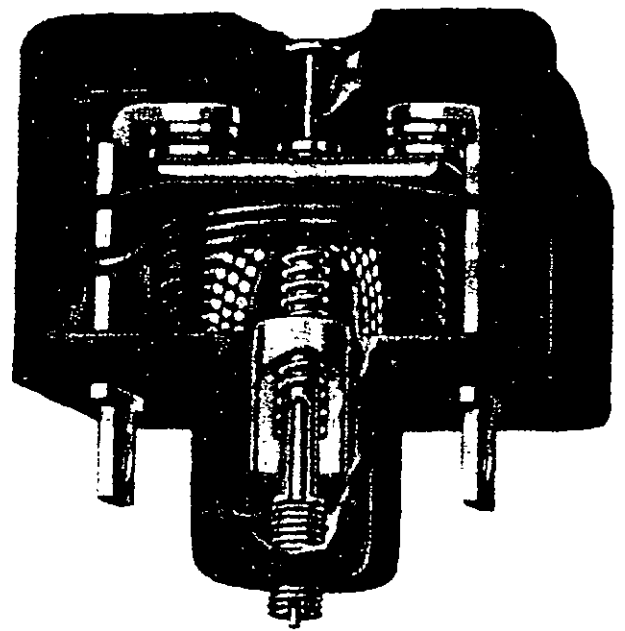


FIGURA R20-14 Relevador de corriente

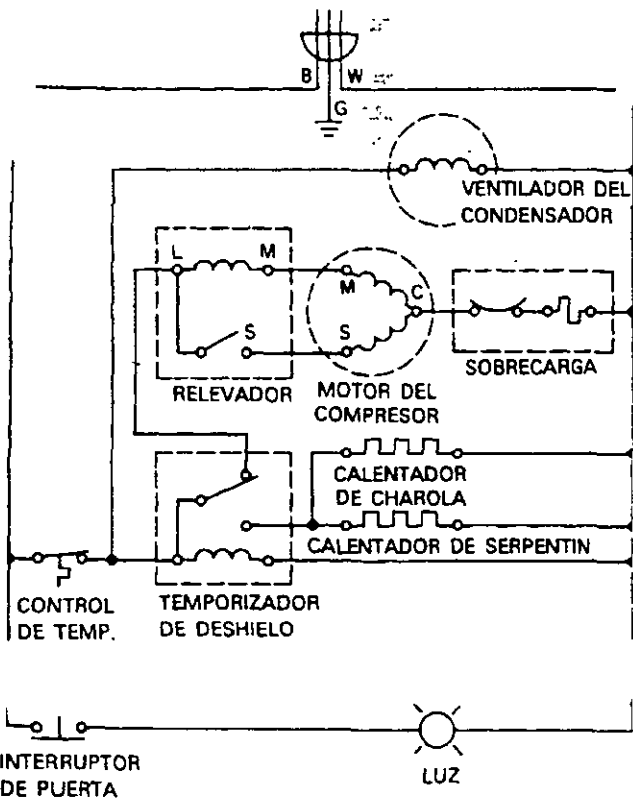


FIGURA R20-15 Controles de un refrigerador con deshielo automático.

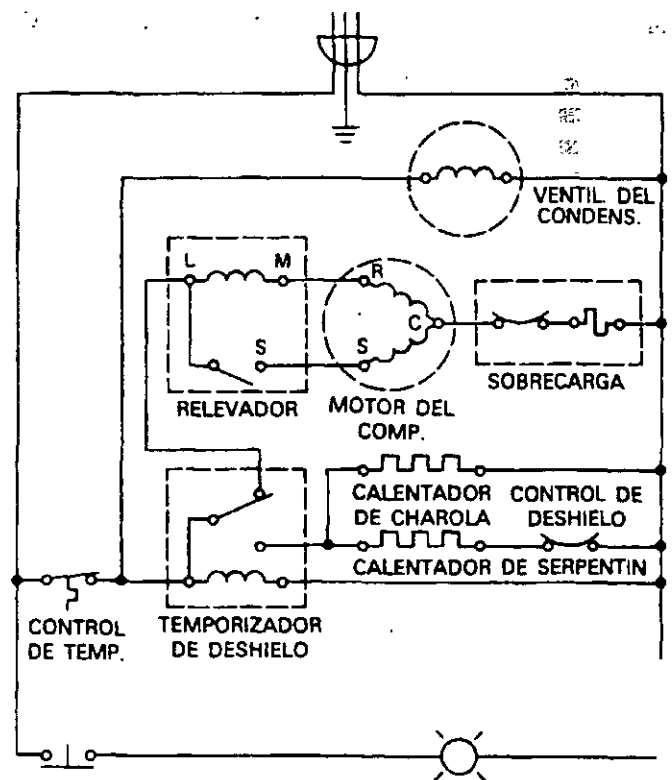


FIGURA R20-16 Controles de un refrigerador con deshielo automático con temporizador.

Después de un período predeterminado, el motor del temporizador invierte los contactos, apaga los calentadores y pone nuevamente en funcionamiento la unidad. Bajo las condiciones normales de funcionamiento el tiempo predeterminado

es suficiente para el completo deshielo o desescarchamiento del serpentín con un mínimo de aumento de temperatura del producto. En zonas con humedad muy alta o con uso más intenso que el normal, a veces es necesario ajustar el motor del temporizador para tener ciclos más frecuentes de desescarchado. Es un problema individual de aplicación que se enfrenta mejor con la colaboración del fabricante del equipo.

En algunas aplicaciones en las que el fabricante diseña el sistema de desescarchado para condiciones máximas de humedad y/o para servicio muy intenso (aberturas frecuentes de puerta) se intercala un dispositivo limitador en el circuito del calentador de deshielo para limitar el calor al serpentín durante baja humedad, o para servicio no muy intenso. Con ello se reduce el consumo de energía y la carga del motor del compresor. Para limitar el control del termostato de desescarchamiento únicamente al calentador del serpentín, el termostato de deshielo sólo está en el circuito del calentador. Nótese que para comodidad de producción el fabricante ha colocado este control en el lado aguas abajo, o muerto, del circuito. Por lo tanto, aun cuando este control esté abierto, *el calentador está activo si se le conecta a tierra; ¡tenga cuidado!*

En toda esta descripción vemos que hemos agregado circuitos sencillos en serie que se pueden seguir desde la fuente de poder (la clavija de 120 V) a través de los dispositivos de control, por una carga sea magnética (trabajo) o térmica (calor), y después al otro conductor de la fuente de poder. Si el técnico de servicio se hace el hábito de seguir cada circuito de la manera que acabamos de ver, será más fácil seguir los circuitos de control y analizar sus problemas.

PROBLEMAS

- R20-1. Los contactos de control que abren cuando el control no se acciona se llaman _____
- R20-2. Los contactos de control que cierran cuando el control no se acciona se llaman _____
- R20-3. Las condiciones normales para representar a los controles en los diagramas eléctricos son las siguientes:
- a) Para los controles de temperatura
 - b) Para los controles de presión
 - c) Para los controles eléctricos
- R20-4. Los contactos de un relevador de corriente para arranque de motor, ¿son normalmente abiertos o normalmente cerrados?
- R20-5. Los contactos en un relevador de voltaje para arranque de motor, ¿son normalmente abiertos o normalmente cerrados?
- R20-6. Se tiene un juego de contactos que cierran sólo en una dirección y controlan a un circuito. ¿Su nombre es dos polos doble tiro, dos polos un tiro, un polo un tiro o un polo doble tiro?
- R20-7. Se tiene un juego de contactos que cierran un circuito de dos que se tienen, al accionar en cualquier dirección de movimiento. ¿Se trata de dos polos doble tiro, dos polos un tiro, un polo un tiro, o un polo doble tiro?
- R20-8. Los contactos del problema anterior, ¿serían ambos normalmente abiertos, normalmente cerrados, o uno de cada uno?
- R20-9. Un contactor que abre las tres terminales de un motor trifásico, ¿qué arreglo de contactos tiene?
- R20-10. ¿Es posible emplear un contactor de cuatro polos un tiro de 20 A de capacidad para una carga de 40 A? Si es así, ¿cómo?
- R20-11. El interruptor que controla la luz de un refrigerador, ¿es de tipo normalmente cerrado o normalmente abierto?



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

ELÉCTRONICA DEL ESTADO SÓLIDO

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

R21-1 GENERALIDADES

Durante muchos años se han usado dispositivos de estado sólido para aplicaciones eléctricas en el campo de refrigeración y aire acondicionado. Los primeros filtros electrostáticos empleaban tubos al vacío como rectificadores, para convertir la corriente alterna de alto voltaje en corriente directa para cargar las celdas de los filtros. Con el desarrollo del rectificador de selenio, se eliminó el tubo al vacío y se simplificó mucho el producto.

La llamada "crisis energética" de la década de 1970 constituyó la chispa de ignición de los electrodomésticos de gas, que a su vez fueron los antecesores del control de temperatura electrónico, o de estado sólido, y del resto de los controles que se incluían. El empleo de sistemas de estado sólido no es nuevo, pero su desarrollo se ha acelerado mucho.

El tema de la electrónica es tan vasto que se necesitarían varios libros para describir las aplicaciones en los campos de TV, comunicaciones, control, etc. Para fines de este capítulo sólo se describirán aquellos temas que se relacionan con los sistemas de control en los campos de refrigeración y aire acondicionado.

R21-2 LA TEORÍA ELECTRÓNICA

La teoría electrónica se describió en el capítulo R16, pero es necesario explicarla con más detalle ahora como respaldo para comprender el empleo del material de estado sólido.

Toda la materia se compone de átomos, que son los componentes más pequeños o básicos de las moléculas. A su vez, los átomos se componen de un núcleo pesado, denso, que contiene "protones" y "neutrones" rodeado de partículas más ligeras llamadas "electrones".

R21-3 PROTONES

El protón lleva una carga eléctrica positiva (+), el electrón tiene carga eléctrica negativa (-), y el neutrón cuando lo hay, no tiene carga eléctrica; es neutro. La atracción entre los protones con carga positiva en el núcleo, y los electrones con carga negativa, tiende a mantenerlos unidos en lo que llamamos átomo (véase figura R21-1).

El número de protones del núcleo determina el tipo del elemento, así como su peso atómico. La figura R21-1a muestra al átomo de hidrógeno que tiene un protón en el núcleo. El hidrógeno tiene número atómico 1, el menor de todos los elementos. La figura R21-1b muestra al átomo de cobre. Tiene 29 protones en el núcleo y se le asigna el número atómico 29.

La figura R21-2 es una lista de los números atómicos de los elementos naturales conocidos (92) y los 11 elementos que se han sintetizado. El orden de cada uno lo determina el número de protones en su núcleo: 1 para el hidrógeno, 29 para el cobre, 32 para el germanio, 34 para el selenio, 42 para la plata, 79 para el oro, etc.

R21-4 ELECTRONES

El número de electrones en un elemento es igual al número de protones, y por lo tanto el elemento está en equilibrio eléctrico. Los electrones también giran en órbitas alrededor del núcleo a una velocidad que compensa la fuerza centrífuga del movimiento y la atracción eléctrica entre protón y electrón. La trayectoria que sigue el electrón alrededor del protón se llama "capa". Por ejemplo, la trayectoria que sigue la luna alrededor de la Tierra, o la de la Tierra alrededor del sol se llama "órbita", pero se podría llamar también "capa", si se comparara con la trayectoria del electrón alrededor del protón.

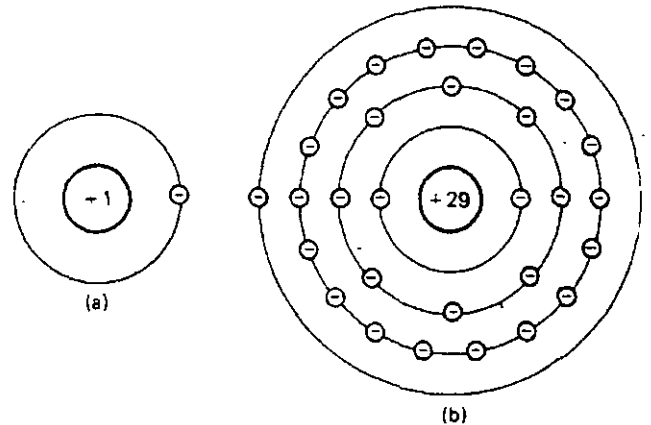


FIGURA R21-1 a) átomo de hidrógeno b) átomo de cobre.

FIGURA R21-2
Pesos atómicos de los elementos.

ELEMENTOS NATURALES								
Nº Atómico	Nombre	Símbolo	Nº Atómico	Nombre	Símbolo	Nº Atómico	Nombre	Símbolo
1	Hidrógeno	H	32	Germanio	Ge	62	Samario	Sm
2	Helio	He	33	Arsénico	As	63	Europio	Eu
3	Litio	Li	34	Selenio	Se	64	Gadolinio	Gd
4	Berilio	Be	35	Bromo	Br	65	Terbio	Tb
5	Boro	B	36	Kriptón	Kr	66	Disprosio	Dy
6	Carbono	C	37	Rubidio	Rb	67	Holmio	Ho
7	Nitrógeno	N	38	Estroncio	Sr	68	Erbio	Er
8	Oxígeno	O	39	Itrio	Y	69	Tulio	Tm
9	Flúor	F	40	Zirconio	Zr	70	Iterbio	Yb
10	Neón	Ne	41	Niobio (Columbio)	Nb	71	Lutecio	Lu
11	Sodio	Na	42	Molibdeno	Mo	72	Hafnio	Hf
12	Magnesio	Mg	43	Tecnecio	Tc	73	Tantalo	Ta
13	Aluminio	Al	44	Rutenio	Ru	74	Tungsteno	W
14	Silicio	Si	45	Rodio	Rh	75	Renio	Re
15	Fósforo	P	46	Rodio	Rh	76	Osmio	Os
16	Azufre	S	47	Paladio	Pd	77	Indio	Ir
17	Cloro	Cl	48	Plata	Ag	78	Platino	Pt
18	Argón	A	49	Cadmio	Cd	79	Oro	Au
19	Potasio	K	50	Indio	In	80	Mercurio	Hg
20	Calcio	Ca	51	Estaño	Sn	81	Talio	Tl
21	Escandio	Sc	52	Antimonio	Sb	82	Plomo	Pb
22	Titanio	Ti	53	Teluro	Te	83	Bismuto	Bi
23	Vanadio	V	54	Yodo	I	84	Polonio	Po
24	Cromo	Cr	55	Xenón	Xe	85	Astato	At
25	Manganeso	Mn	56	Cesio	Cs	86	Radón	Rn
26	Hierro	Fe	57	Bario	Ba	87	Francio	Fr
27	Cobalto	Co	58	Lantano	La	88	Radio	Ra
28	Níquel	Ni	59	Cerio	Ce	89	Actinio	Ac
29	Cobre	Cu	60	Praseodimio	Pr	90	Torio	Th
30	Zinc	Zn	61	Neodimio	Nd	91	Protactinio	Pa
31	Galio	Ga		Prometio	Pm	92	Uranio	U

ELEMENTOS ARTIFICIALES								
Nº Atómico	Nombre	Símbolo	Nº Atómico	Nombre	Símbolo	Nº Atómico	Nombre	Símbolo
93	Neptunio	Np	97	Berkeio	Bk	101	Mendelevio	Mv
94	Plutonio	Pu	98	Californio	Cf	102	Nobelio	No
95	Americio	Am	99	Einsteinio	E	103	Lawrencio	Lw
96	Curio	Cm	100	Fermio	Fm			

R21-5 CAPA

Algunos elementos tienen más electrones que otros; por tanto, tienen más órbitas. También, cada electrón sigue su propia trayectoria; no está alineado con los demás; por consiguiente, los electrones que viajan a la misma distancia del núcleo forman una capa esférica como pelota alrededor del núcleo. También hay un límite del número de electrones que pueden viajar en cada esfera o trayectoria orbital.

FIGURA R21-3
Capas electrónicas.

Nº Atómico	Elemento	Electrones por capa					Nº Atómico	Elemento	Electrones por capa							
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	6	7	
1	Hidrógeno, H	1					53	Yodo, I	2	8	18	18	7			
2	Helio, He	2					54	Xenón, Xe	2	8	18	18	8			
3	Litio, Li	2	1				55	Cesio, Cs	2	8	18	18	8	1		
4	Berilio, Be	2	2				56	Bario, Ba	2	8	18	18	8	2		
5	Boro, B	2	3				57	Lantano, La	2	8	18	18	9	2		
6	Carbono, C	2	4				58	Cerio, Ce	2	8	18	19	9	2		
7	Nitrógeno, N	2	5				59	Praseodimio, Pr	2	8	19	20	9	2		
8	Oxígeno, O	2	6				60	Neodimio, Nd	2	8	19	21	9	2		
9	Flúor, F	2	7				61	Prometio, Pm	2	8	18	22	9	2		
10	Neón, Ne	2	8				62	Samario, Sm	2	8	18	23	9	2		
11	Sodio, Na	2	8	1			63	Europio, Eu	2	8	18	24	9	2		
12	Magnesio, Mg	2	8	2			64	Gadolinio, Gd	2	8	18	25	9	2		
13	Aluminio, Al	2	8	3			65	Terbio, Tb	2	8	18	26	9	2		
14	Silicio, Si	2	8	4			66	Disproseo, Dy	2	8	18	27	9	2		
15	Fósforo, P	2	8	5			67	Holmio, Ho	2	8	18	28	9	2		
16	Azufre, S	2	8	6			68	Erbio, Er	2	8	18	29	9	2		
17	Cloro, Cl	2	8	7			69	Tulio, Tm	2	8	18	30	9	2		
18	Argón, A	2	8	8			70	Iterbio, Yb	2	8	18	31	9	2		
19	Potasio, K	2	8	8	1		71	Lutecio, Lu	2	8	18	32	9	2		
20	Calcio, Ca	2	8	8	2		72	Hafnio, Hf	2	8	18	32	10	2		
21	Escandio, Sc	2	8	9	2		73	Tantalio, Ta	2	8	18	32	11	2		
22	Titanio, Ti	2	8	10	2		74	Tungsteno, W	2	8	18	32	12	2		
23	Vanadio, V	2	8	11	2		75	Renio, Re	2	8	18	32	13	2		
24	Cromo, Cr	2	8	13	1		76	Osmio, Os	2	8	18	32	14	2		
25	Manganeso, Mn	2	8	13	2		77	Indio, Ir	2	8	18	32	15	2		
26	Hierro, Fe	2	8	14	2		78	Platino, Pt	2	8	18	32	16	2		
27	Cobalto, Co	2	8	15	2		79	Oro, Au	2	8	18	32	18	1		
28	Níquel, Ni	2	8	16	2		80	Mercurio, Hg	2	8	18	32	18	2		
29	Cobre, Cu	2	8	18	1		81	Talio, Tl	2	8	18	32	18	3		
30	Zinc, Zn	2	8	18	2		82	Plomo, Pb	2	8	18	32	18	4		
31	Galio, Ga	2	8	18	3		83	Bismuto, Bi	2	8	18	32	18	5		
32	Germanio, Ge	2	8	18	4		84	Polonio, Po	2	8	18	32	18	6		
33	Arsénico, As	2	8	18	5		85	Astato, At	2	8	18	32	18	7		
34	Selenio, Se	2	8	18	6		86	Radón, Rn	2	8	18	32	18	8		
35	Bromo, Br	2	8	18	7		87	Francio, Fr	2	8	18	32	18	8	1	
36	Kriptón, Kr	2	8	18	8		88	Radio, Ra	2	8	18	32	18	8	2	
37	Rubidio, Rb	2	8	18	8	1	89	Actinio, Ac	2	8	18	32	18	9	2	
38	Estroncio, Sr	2	8	18	8	2	90	Torio, Th	2	8	18	32	19	9	2	
39	Itrio, Y	2	8	18	9	2	91	Protactinio, Pa	2	8	18	32	20	9	2	
40	Zirconio, Zr	2	8	18	10	2	92	Uranio, U	2	8	18	32	21	9	2	
41	Niobio, Nb	2	8	18	12	1	93	Neptunio, Np	2	8	18	32	22	9	2	
42	Molibdeno, Mo	2	8	18	13	1	94	Plutonio, Pu	2	8	18	32	23	9	2	
43	Tecnecio, Tc	2	8	18	14	1	95	Americio, Am	2	8	18	32	24	9	2	
44	Rutenio, Ru	2	8	18	15	1	96	Curio, Cm	2	8	18	32	25	9	2	
45	Rodio, Rh	2	8	18	16	1	97	Berkelio, Bk	2	8	18	32	26	9	2	
46	Paladio, Pd	2	8	18	18	0	98	Californio, Cf	2	8	18	32	27	9	2	
47	Plata, Ag	2	8	18	18	1	99	Einsteinio, E	2	8	18	32	28	9	2	
48	Cadmio, Cd	2	8	18	18	2	100	Fermio, Fm	2	8	18	32	29	9	2	
49	Indio, In	2	8	18	18	3	101	Mendelevio, Mv	2	8	18	32	30	9	2	
50	Estaño, Sn	2	8	18	18	4	102	Nobelio, No	2	8	18	32	31	9	2	
51	Antimonio, Sb	2	8	18	18	5	103	Lawrencio, Lw	2	8	18	32	32	9	2	
52	Telurio, Te	2	8	18	18	6										

La trayectoria más cercana al núcleo sólo puede tener dos electrones. Esto se debe a que la atracción de cargas opuestas es mayor a causa de la menor distancia, y a que la velocidad del electrón es mayor, para producir la fuerza centrífuga necesaria para contrarrestar la atracción y mantener en órbita al electrón. Igualmente, la segunda capa no puede tener más que 2 electrones, la tercera un máximo 8 electrones, la cuarta 18 electrones, y la quinta también un máximo de 18. No conocemos la capacidad de las capas sexta y séptima, porque no hemos fabricado elementos cuyo peso atómico sea de la magnitud necesaria para llenar esas capas de electrones. Se supone que, debido a que el máximo de 2 se repite en la segunda y la tercera capas, esto se aplica a todas las capas siguientes. La figura R21-3 muestra el número de electrones y la cantidad de ellos en cada capa para los diversos elementos, tanto naturales como artificiales.

R21-6 CAPA DE VALENCIA

La capa externa de un átomo se llama *capa de valencia* y los electrones que orbitan en esa capa se llaman *electrones de valencia*. En la figura R21-1a, el hidrógeno sólo tiene un electrón en una capa, y por lo tanto tiene un electrón de valencia. El átomo de cobre de la figura R21-1b tiene un electrón en su capa de valencia (la cuarta capa), y por consiguiente tiene también un electrón de valencia.

Al repasar las capas electrónicas que aparecen en la figura R21-3, el lector verá que la tercera, cuarta, quinta y sexta capas tienen un comportamiento peculiar, porque no tienen más que 2 electrones en la capa de valencia. Sólo cuando se inicia una capa más y no se trata de la capa de valencia, puede tener más electrones. Por lo tanto, se puede enunciar una regla: La capa externa, o de valencia, de un átomo, no puede tener más que 2 electrones. Esta regla es importante, porque indica qué átomos son buenos conductores de la energía eléctrica, cuáles son buenos aisladores y cuáles son semiconductores.

R21-7 NIVEL DE ENERGÍA

Cada electrón en el átomo tiene la misma carga negativa, pero no todos los electrones tienen el mismo *nivel de energía*. Aquellos que viajan en las capas externas, como lo hacen a mayor distancia, necesitan de un mayor nivel de energía. Si pudiéramos agregar energía a los electrones que viajan en las capas internas, los podríamos hacer pasar a las capas externas. Si se agrega energía suficiente a un electrón de valencia, se le puede sacar de su trayectoria orbital y como ya no hay órbita a la que pueda entrar, se convierte en un electrón "libre". Cuando se agrega energía, sea térmica, eléctrica, luminosa, etc., a un átomo, la capa de valencia es la que la recibe primero. Por lo tanto, los electrones de valencia son los más fáciles de "liberar" del átomo.

R21-8 ATOMOS ESTABLES E INESTABLES

La facilidad con la que un átomo cede sus electrones de valencia depende del número de electrones en esa capa. Si la capa está llena a menos de la mitad, contiene de uno a tres electrones, tiende a vaciarse. Esto permite que la siguiente capa hacia el interior, que está llena, funcione como capa de valencia. Los átomos que tienen esa tendencia son los mejores conductores de electricidad: por ejemplo tenemos al cobre, con 1 electrón de valencia; aluminio con 3 electrones de valencia; la plata con 1, y el oro con 1. Si la capa de valencia está llena a más de la mitad, por contener 5 o más electrones de valencia, el átomo se resiste a perder electrones y es un buen aislador. Por ejemplo, tenemos a los gases muy estables: neón, argón, etc., todos con 8 electrones de valencia.

R21-9 ENLAZAMIENTO

R21-9.1 Enlazamiento electrovalente

Para poder emplear los átomos como conductores, aisladores o semiconductores, se pueden combinar con otros átomos para formar compuestos. Cuando esto sucede, se combinan en proporciones tales que producen capas de valencia estables. Por ejemplo, se combinan dos átomos de hidrógeno, cada uno con un electrón de valencia, con un átomo de oxígeno, que tiene seis electrones de valencia, para formar un compuesto (agua, H₂O), en el que el oxígeno tiene ocho electrones de valencia.

De más importancia para el técnico en refrigeración es el hecho que las conexiones limpias de cobre conducen bien la electricidad, pero las que están cubiertas con óxido de cobre tienen alta resistencia debido al valor aislante del óxido. El cobre puro sólo tiene un electrón de valencia, que se libera con facilidad para conducir la energía eléctrica. Sin embargo, dos átomos de cobre y uno de oxígeno se combinan para producir una molécula de óxido de cobre con ocho

electrones de valencia. Como resultado de ello, el óxido de cobre tiene alta resistencia a la corriente eléctrica. Se clasifica como aislador. Cuando se combinan distintos átomos para formar moléculas estables, o capas de valencia llenas, se dice que son *enlaces electrovalentes*, porque se enlazan compartiendo sus electrones de valencia. También se mantienen unidos debido a las cargas positivas y negativas entre los átomos.

Cuando un átomo tiene igual número de protones y electrones, está en equilibrio. Si cede o toma electrones y se elimina el equilibrio, se llama *ion*. Si el átomo cede un electrón, tiene sobrante de protones y es un ion positivo. Si toma electrones, tiene sobrante de electrones y es un ion negativo. Como las cargas opuestas se atraen, los iones cobre (positivos) y los iones oxígeno (negativos) se atraen y se combinan para formar la molécula de óxido de cobre.

A este proceso de combinar iones de signo contrario se le llama *enlazamiento iónico*.

R21-9.2 Enlazamiento metálico

El enlazamiento metálico se presenta principalmente en materiales que son buenos conductores, como cobre, aluminio, plata, oro, etc. Todos ellos tienen un mínimo de electrones de valencia que se desprenden con facilidad y vagan libremente de átomo a átomo en el material. Como resultado, el electrón de valencia deja su órbita al azar, pero encuentra otra órbita de inmediato, a la que se une. Esto libera al electrón de la nueva órbita que puede buscar una órbita en átomos vecinos. Esta facilidad de movimiento permite la transferencia de energía de átomo a átomo con poca necesidad de energía externa. Como consecuencia, esos materiales son excelentes conductores de energía eléctrica.

R21-9.3 Enlazamiento covalente

En el enlazamiento electrovalente, uno de los átomos implicados debe ser inestable para poder ceder el electrón y producir la diferencia iónica. En el enlazamiento metálico, los átomos deben ser inestables para tener acción de electrones libres. Si se combinan dos átomos que se resisten tanto a ceder como a tomar electrones, para enlazarse deben compartir los electrones. Cuando se encuentran dos átomos de esos, cada uno permite que se comparta uno de sus electrones de valencia con el otro. Por ejemplo, si tenemos dos átomos de germanio, cada uno con cuatro electrones de valencia, cada uno permite compartir un electrón. Cada uno mantiene tres en su propia capa de valencia, y hay dos que alternan de capa a capa. De este modo ninguno cede en realidad un electrón, pero en lugar de ello, la trayectoria orbital del electrón se amplía para incluir los otros átomos. Haciendo esto los átomos en combinación, y compartiendo electrones con átomos en distintas direcciones, cada átomo necesitará cuatro electrones adicionales viajando por su capa de valencia; y se estabilizan. A este enlazamiento se le llama *enlace de par electrónico*, aunque el término establecido es *enlace covalente*.

El germanio y el silicio que se usan en la mayor parte de la electrónica de semiconductores están unidos por enlazamiento de par electrónico o covalente. En esos materiales el enlazamiento covalente se da entre varios átomos en grupos que se combinan con otros grupos para formar grupos mayores, en los que cada átomo está ligado a otros cuatro. A este arreglo se le llama *red creptal*. Se usa este término porque el patrón básico de un átomo enlazado a otros se repite por la estructura molecular del material. Este arreglo se mantiene por el material, excepto en la superficie, donde los átomos de la superficie no tienen átomos de un lado a los cuales enlazarse. Es el por qué la superficie de esos materiales tiene propiedades eléctricas distintas al interior.

R21-10 AGUJEROS

Un material semiconductor puro permite que cada uno de sus átomos tenga ocho electrones en la capa de valencia, tres únicamente para su uso y cinco en base compartida con otros cuatro átomos. Por lo tanto, cada átomo tiende a ser estable y el material trabaja como aislador porque no hay electrones libres que transporten la electricidad por el material.

Esto sería cierto si no interviniera un exceso de energía térmica. Aun a la temperatura ambiente en el material se encuentra energía térmica como para permitir que los electrones de valencia no compartidos eleven su nivel de energía lo suficiente para abandonar su capa de valencia. Esos electrones se encuentran libres y pueden vagar de una capa de valencia a otra. Debido a que los enlaces covalentes entre los átomos individuales hacen uso de todos los electrones de valencia, tanto personal como compartido, la existencia de cualquier electrón libre hace que se rompa el enlace de par electrónico. Por lo tanto, cuando un electrón sale de su lugar en la capa de valencia, deja un espacio vacío que se llama *agujero*. Había un electrón en ese lugar, pero se liberó y se creó un agujero por agitación térmica. En consecuencia, un semiconductor puro o cualquier otra clase de compuestos tiene algo de electrones libres que pueden tomar parte en el paso de la corriente. Además, el material tiene agujeros en los enlaces covalentes que aceptan con facilidad electrones.

Si se eleva el nivel de energía de los electrones por cualquier adición de energía (térmica, eléctrica, luminosa, etc.), muchos electrones aumentan su nivel de energía hasta el punto en el que, aunque no están libres para vagar, pueden saltar de una capa de valencia para llenar un agujero en la siguiente capa de valencia. Cuando sucede esto, el agujero que queda salta al enlace covalente que ha perdido al electrón. A su vez, ese agujero será llenado por o electrón de valencia, de modo que parece que el agujero se vuelve a mover. En consecuencia, un semiconductor puro, en la práctica, tiene electrones libres y agujeros moviéndose de modo aleatorio.

Debido al hecho que la mayor parte de los átomos son estables, el semiconductor puro tiene unos pocos electrones libres, y sólo pasa poca corriente. Esto muestra que el semiconductor tiene alta resistencia. Sin embargo, esta resistencia está influida por la temperatura; mientras mayor sea la temperatura, mayor es la actividad de los electrones y habrá más transferencia de electrones y agujeros, siendo mayor el paso de corriente y menor la resistencia. Este fenómeno es la base del "termistor"

R21-11 FLUJO DE CORRIENTE

Aun cuando un semiconductor puro trata de producir átomos estables, sigue conduciendo la corriente con algunos electrones libres del mismo modo que lo hace un conductor. Como el semiconductor sólo tiene pocos electrones libres, únicamente pasa una corriente muy pequeña.

En comparación, un buen conductor, que tiene abundancia de electrones libres, tiene capacidad de conducir grandes corrientes. También, en el buen conductor los electrones no dejan agujeros, porque proceden de capas inestables de valencia.

En el semiconductor, el flujo de corriente se debe a la ruptura de enlaces entre pares de electrones, y a los agujeros que quedan cuando sale el electrón. Los agujeros permiten que los demás electrones de valencia se muevan porque los agujeros tratan de llenarse continuamente. El movimiento de los electrones de valencia no necesita grandes energías, porque sólo se mueven a agujeros adyacentes, y la atracción de éstos los hace moverse. El espacio entre el electrón y el agujero actúa como una atracción de cargas positiva y negativa, y por lo tanto se considera que el agujero tiene carga positiva.

Si se aplicara voltaje de corriente directa a través del semiconductor, el voltaje resultante atraería los electrones, negativos, hacia el voltaje positivo. Esto haría que los agujeros parecieran moverse hacia el voltaje negativo. Los electrones libres serían atraídos naturalmente hacia el voltaje positivo.

El lector puede ver que hay dos tipos de flujo de corriente: electrones hacia el voltaje positivo y agujeros hacia negativo. Aun cuando los agujeros sólo se mueven de modo virtual, son los que se usan para describir el paso de la corriente en la zona de "valencia" porque van en dirección opuesta al flujo de electrones libres. Por lo tanto, se pueden identificar las dos corrientes. Un semiconductor tiene una corriente negativa de electrones libres y una corriente positiva de agujeros.

El flujo de la corriente de electrones continúa, porque un electrón libre entra al semiconductor del lado del voltaje negativo, por cada uno que abandona del lado positivo. También, por cada agujero que se llena en el lado negativo, se crea uno nuevo del lado positivo cuando el electrón sale y entra al conductor fijo en ese lado. Los agujeros no abandonan ni entran al semiconductor. No pueden porque no hay enlaces covalentes, o agujeros, en los conductores.

El flujo de corriente en el conductor es el total del flujo de electrones libres y de agujeros en el semiconductor. Se debe recordar que en un semiconductor el flujo de corriente se lleva a cabo en dos distintos niveles de energía; una corriente está en el enlace de conducción de los electrones libres y la otra está en la capa de valencia, con electrones de valencia o agujeros. En un conductor, el flujo de corriente sólo se efectúa en el enlace de conducción de electrones libres.

Hasta ahora hemos supuesto que la corriente de agujeros y la de electrones por el semiconductor son iguales. Esto puede ser cierto para los semiconductores puros, cuando sólo se aplica una energía de pequeña intensidad. Sin embargo, cuando aumenta el nivel de energía, sube la corriente de electrones de modo lineal con respecto al aumento de voltaje. Sin embargo, la corriente de agujeros no aumenta en forma apreciable hasta que el nivel aplicado de energía es apreciable. Debido a las distintas reacciones del flujo de corriente hacia la energía (voltaje) aplicada, la resistencia óhmica de un semiconductor no sigue la ley de Ohm.

R21-12 DOPADO

Para mejorar la capacidad de transporte de energía de los semiconductores, se mezclan átomos extraños con los del semiconductor. El tipo de átomos extraños que se use dependerá de la acción conductora de corriente que se desee en el semiconductor. Aunque los electrones y los agujeros del átomo no son la corriente real, son medios de transporte de ella. Los electrones se mueven de negativo a positivo, y por lo tanto se dice que son *portadores de*

corriente negativa. Los agujeros parecen moverse de positivo a negativo, y por lo tanto se les llama *portadores de corriente positiva*.

Si se agrega un material al semiconductor que tenga cinco electrones de valencia, como el arsénico, y el semiconductor básico es el silicio, que tiene cuatro electrones de valencia, el átomo de arsénico formará un enlace de par de electrones con el de silicio, pero sobrará un electrón. Esto suelta un electrón libre que se puede mover libremente entre los átomos. Esta combinación tendrá una mayor capacidad de conducción de corriente negativa.

Si el material agregado al material básico del semiconductor (silicio) tiene menor número de electrones de valencia, por ejemplo el boro que sólo tiene tres, la combinación tendrá el enlace de par electrónico con un electrón faltante. En otras palabras, tendrá un exceso de agujeros. Esta combinación tiene una mayor capacidad de conducir corriente positiva.

Este proceso de control de la cantidad de electrones y agujeros de las combinaciones de átomos se llama *dopado*. También, si el material extraño que se use tiene cinco electrones de valencia para producir electrones libres, será un material de átomos *pentavalentes*. Si el material que se use tiene tres electrones de valencia, a sus átomos se les llama *trivalentes*. Recuérdese que las impurezas pentavalentes dan exceso de electrones libres, o portadores de corriente negativa; las impurezas trivalentes dan un exceso de agujeros, o portadores de corriente positiva.

Los semiconductores dopados para tener un exceso de electrones libres son principalmente portadores de corriente negativa y se llaman *tipo N*. Los que están dopados para tener exceso de agujeros y tener mayor capacidad de transporte de corriente positiva se llaman *tipo P*. Los semiconductores tipo P conducirán la corriente con más facilidad que los semiconductores puros, pero no con tanta facilidad como los semiconductores tipo N.

R21-13 DIODOS DE ESTADO SÓLIDO

En los diodos, la corriente pasa a través de ellos en una dirección, pero no en la dirección contraria, igual que en un tubo al vacío. Hay dos tipos generales de diodos con esta capacidad: el rectificador metálico y el diodo semiconductor.

R21-13.1

Rectificadores metálicos

Se han empleado principalmente dos tipos de rectificadores metálicos, aunque se conocen otros. Esos dos son el rectificador de óxido de cobre y el de selenio.

El rectificador de óxido de cobre está fabricado con un disco grueso de cobre, sobre el que se ha depositado una capa delgada de óxido de cobre. Cuando se aplica un voltaje negativo al cobre y uno positivo al óxido de cobre, la resistencia a la corriente es muy baja y pasa con facilidad. Sin embargo, cuando el voltaje se invierte, la resistencia se hace muy alta y casi desaparece el flujo de corriente. El rectificador de selenio-hierro, que se compone de una placa de hierro sobre la que se ha depositado una capa de selenio, tiene las mismas características.

Esos rectificadores tienen altas capacidades de conducción de corriente, así como la capacidad de manejar altos voltajes. La combinación selenio-hierro es la más durable y se usa en la mayor parte de las aplicaciones. En el campo del aire acondicionado, la aplicación principal es en los limpiadores electrónicos de aire, cuando el flujo de corriente es del orden de 0.25 A, pero el voltaje que interviene es de 6000 volts para arriba. Esta aplicación se explica con mayor detalle en las secciones R21-6 y R21-6. 1. En controles como termostatos, centros de carga, etc., los rectificadores tienen un trabajo mucho más ligero, y los voltajes son bastante menores. Por lo tanto se usan allí semiconductores tipo N y tipo P.

R21-13.2 Diodos semiconductores

Cuando se combinan semiconductores tipo N y tipo P, en una unidad se llaman *diodos P-N*, o *diodos semiconductores*. Como cada mitad de la unidad P-N tiene una corriente de mayoría y minoría opuestas, la resistencia de la unidad al flujo de corriente que va en una dirección es mucho mayor que la correspondiente a la corriente que va en la otra dirección.

Recuérdese que en el tipo P la mayor parte de los portadores de corriente en los agujeros son portadores de corriente positiva, y que los electrones libres son minoría de portadores de corriente. En el tipo N, los electrones libres son mayoría de portadores de corriente y los agujeros son minoría. Cuando se pegan los dos tipos de semiconductores, al momento del enlace se desarrolla una "región de carencia", o de "agotamiento".

R21-14 REGION DE AGOTAMIENTO

Antes de unir a los semiconductores cada uno de ellos, el tipo *N* y el tipo *P* eran neutros, y el tipo *N* tenía electrones libres y el tipo *P* tenía agujeros libres. Cuando se efectúa la unión atómica de los dos tipos, en la conexión empalme, los electrones libres del tipo *N* cruzan el empalme para tratar de llenar los agujeros en el tipo *P*. Como resultado, los iones positivos en la sección *N* son más numerosos que los electrones libres negativos y la sección *N* torna una carga positiva en la región de empalme. Al mismo tiempo, la sección *P* toma carga negativa a medida que más y más electrones cruzan el empalme para llenar los agujeros. Al llenarse los agujeros, la carga negativa se hace mayor hasta que tiene el valor suficiente para repeler a los electrones libres de la sección *N*. Con ello se detienen las acciones. Al mismo tiempo, la carga positiva desarrollada en la sección *N* atrae a los electrones libres del lado *N* del empalme. La acumulación de carga eléctrica detiene la formación de combinaciones electrón-agujero en el empalme y limita la profundidad a la cual se llevan a cabo esos cambios. La sección de cada semiconductor a cada lado del empalme se llama *zona de agotamiento*. Debido a la formación de la región de agotamiento, las secciones *P* y *N* del diodo tienen cargas iguales y opuestas. Al igual que en una pila, existe una diferencia de voltaje entre las dos partes. A la región se le llama *barrera de potencial* ("potencial" quiere decir voltaje en este caso).

R21-15 FLUJO DE CORRIENTE EN AVANCE

Si se conecta una fuente externa de energía, una pila, con el electrodo negativo conectado al lado *N* del semiconductor y el electrodo positivo conectado al lado *P* del semiconductor, los electrones de la pila y del conductor entrarán al semiconductor y originarán un aumento en la cantidad de electrones en el lado *N* (véase figura R21-4). Al mismo tiempo, el electrodo positivo de la batería sacará los electrones del lado *P* del semiconductor y dejará un exceso de agujeros en el lado *P*. Teniendo el lado *P* un exceso de agujeros y el lado *N* un exceso de electrones, la transferencia de electrones a través de la barrera de potencial aumentará y tendremos flujo de electrones (corriente) a través del diodo.

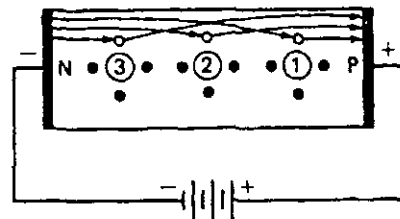


FIGURA R21-4 Flujo de corriente en avance.

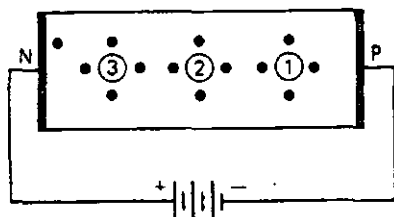


FIGURA R21-5 Flujo de corriente inversa.

R21-16 FLUJO INVERSO DE CORRIENTE

Si se invirtiera la pila, con su electrodo negativo conectado al lado *P* y su electrodo positivo al lado *N* (véase figura R21-5), el voltaje positivo del lado *N* atraería los electrones y los alejaría de la barrera de potencial. Los electrones no podrán combinarse con los agujeros del lado *P* y se detendrá la mayor parte del flujo de corriente. La menor parte de ese flujo entre las dos regiones seguirá existiendo, y por lo tanto habrá algo de paso de corriente, aunque de menores consecuencias en comparación del flujo de la mayor parte de corriente.

R21-17 RECTIFICADOR DE DIODO P-N

Como el diodo *P-N* conduce corriente con más facilidad en una dirección que en la otra, se puede emplear para convertir una corriente alterna en una corriente directa pulsante. La figura R21-6 muestra un diodo conectado a una fuente de corriente alterna, suministrando a una carga térmica, o de resistencia. También se ve la forma resultante de la onda que pasa a través de la resistencia.

Los diodos se representan como una punta de flecha contra una superficie, y la punta de flecha representa la parte *P* del diodo. El triángulo o punta se dirige hacia el flujo si se convierte la fuente de poder teniendo la corriente positiva hacia el diodo positivo y la corriente negativa hacia el diodo negativo. La resistencia del diodo en esa dirección puede ser baja, quizá de unos cientos de ohms. Si se invierte la polaridad de la fuente, el diodo presentaría una resistencia muy alta al paso de la corriente, del orden de los 500,000 Ω.

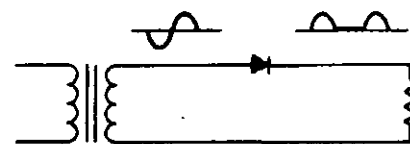


FIGURA R21-6 Circuito de ca con un diodo *P-N*.

Quando se usa un óhmetro para revisar los diodos, si la fuente de poder del mismo es mayor que la capacidad de potencial del diodo, éste puede alcanzar el punto de *descarga*, al cual se le llama *punto de descarga en avalanche*.

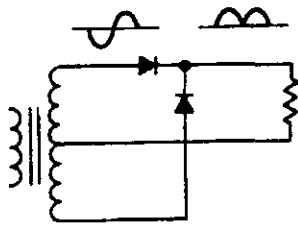


FIGURA R21-7 Circuito de ca con 2 diodos P-N.

Para producir un suministro más parejo de corriente, se puede producir un voltaje de cd de onda completa empleando dos diodos conectados como se ve en la figura R21-7. En este caso la fuente de poder consiste en un transformador doble para suministrar la misma corriente a cada lado del circuito del diodo, dependiendo de la dirección de la corriente. La forma de onda que resulta muestra flujo positivo hacia el resistor empleando cada una de las mitades de los ciclos de ca. A este tipo de corriente se le llama *cd de onda completa*. También se indica la forma de onda para mostrar que los ciclos alternos los conducen los diodos respectivos.

La figura R21-8 muestra un *circuito de puente rectificador*, que no necesita de un transformador doble o con salida central. En algunos casos se puede colocar directamente entre los conductores de la línea sin un transformador, si el voltaje deseado de cd queda a 10% del voltaje de la fuente. En la mitad positiva del ciclo, la corriente pasa por el diodo 3, por la carga y regresa por el diodo 2. Los diodos D1 y D4 tienen voltaje inverso y alta resistencia, como la de un interruptor abierto.

En la parte negativa del ciclo, los diodos 2 y 3 tienen la resistencia alta y los diodos 1 y 4 la resistencia baja. La corriente pasa por el diodo 4, por la carga, y regresa por el diodo 1. Esto produce de nuevo una corriente directa pulsante de onda completa. A este arreglo se le llama *rectificador de onda completa*.

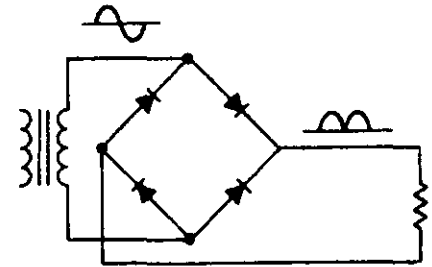


FIGURA R21-8 Circuito rectificador de puente.

R21-18 FILTROS

El voltaje de cd que producen los rectificadores de semiconductor es pulsante, sea de media onda o de onda completa, según el tipo de circuito rectificador empleado. A causa de la velocidad de reacción del control del tipo de estado sólido, una onda de 60 o de 120 pulsos por segundo causaría encendido y apagado rápidos de cualquier sistema de control. Por lo tanto, es necesario filtrar esas pulsaciones para producir un voltaje uniforme de cd.

Para lograr esto, se usan arreglos de capacitores, resistores e inductores en varias combinaciones. Dos arreglos generales son una sección L, con un capacitor y dos resistores, o un capacitor y un inductor, o bien, la sección pi (II), que usa dos capacitores y un resistor, o dos capacitores y un inductor.

R21-18.1 Filtros capacitivos

El filtro capacitivo simplemente es un capacitor conectado con las terminales de una fuente de poder. Al aplicar el voltaje pulsante del circuito rectificador de media onda o de onda completa al capacitor, lo carga hasta el voltaje máximo de la onda de voltaje. Si no hubiera carga en el circuito, entraría el capacitor y retendría este alto voltaje. Sin embargo, con la carga conectada, el paso de corriente por ella hace que el capacitor se descargue y que baje el voltaje durante la parte de voltaje máximo negativo del ciclo.

La figura R21-9 muestra la diferencia entre el cielo de voltaje que entra al capacitor y el de voltaje después del capacitor. De aquí se puede ver que el capacitor, al tomar tiempo para llenarse y tiempo para vaciarse, hace que disminuyan los máximos del ciclo de entrada y se llenen los valles. Los límites de la pulsación del voltaje de cd se han reducido, pero la variación que queda sigue siendo demasiada para tener aplicaciones adecuadas.

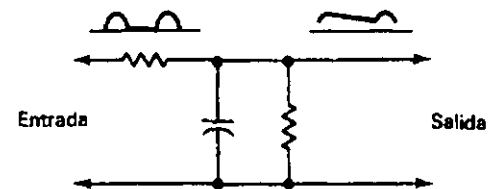


FIGURA R21-9 Circuito de filtro con un capacitor

R21-18.2 Filtros seccionales

La posibilidad que tiene el capacitor de tomar voltaje provoca un golpe de corriente cuando se está cargando. Esto puede originar sobrecargas y fallas de los rectificadores de semiconductor P-N. Para eliminar esa posibilidad, se conecta una resistencia antes del capacitor para limitar el golpe de corriente. Recuérdese que la resistencia que desarrolla un resistor depende de la cantidad de corriente que trata de pasar: una gran cantidad de corriente, una alta resistencia al flujo, una baja cantidad de corriente, pequeña resistencia al flujo. Otro modo de decir lo mismo sería: alta corriente, alta caída de voltaje a través del resistor; baja corriente, baja caída de voltaje. El resultado son límites más estrechos del voltaje aplicado al capacitor, lo que permite que éste produzca menos variación de voltaje. El resistor limitador controla el golpe de corriente introduciendo un periodo resistivo para desacelerar la carga del capacitor.

A este arreglo de resistor y capacitor se le llama filtro *sección L*. En lugar del resistor se puede usar un inductor, al que con frecuencia se le llama reactor. Un inductor consiste en varias vueltas de conductor alrededor de un núcleo de hierro. Cuando se aplica un voltaje y la corriente comienza a pasar a través de la bobina, se desarrolla un contravoltaje inducido mientras que la corriente crece. Esto se describió en la sección 16-9. Esta reactancia inductiva también da un factor de tiempo para el crecimiento de voltaje, que limita el golpe de corriente. Los inductores también reaccionan con el capacitor y producen una nivelación más completa del voltaje, mayor que con el resistor. En los grandes filtros de potencia, se usa principalmente el inductor. Sin embargo, su costo de producción es mayor, lo cual impulsa el empleo del filtro sección L tipo resistor en sistemas pequeños de trabajo liviano.

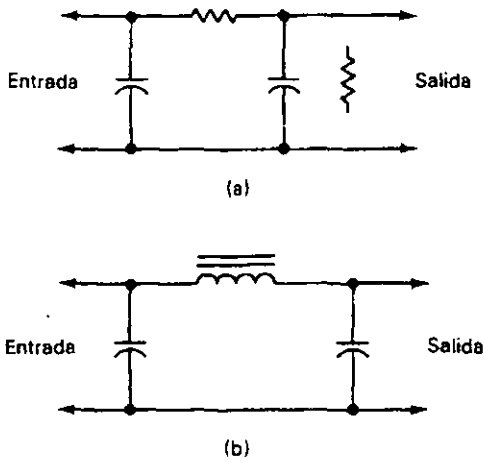


FIGURA R21-10 Circuito de filtro con capacitor doble.

R21-18.3 Filtros sección pi

Cuando se necesita un voltaje uniforme de cd, se instala otro capacitor antes del resistor limitador de picos, o inductor, para dar un efecto de primera etapa de supresión de variación. Esto reduce más la variación de voltaje al resto del sistema de filtro y permite que el inductor o el resistor y el capacitor final emitan un voltaje uniforme de cd a la carga conectada. La figura R21-10 muestra los dos tipos de filtros sección pi, uno en la parte superior que usa un resistor, y el de la parte inferior, con un inductor o reactor.

Si se emplea un rectificador de semiconductor, podemos convertir la ca en cd a cualquier voltaje que deseemos, desde los 6000 V que se usan a través de las celdas del filtro de un limpiador electrónico de aire hasta los 0.5 v cd que se usan en los microcircuitos de los controles de carga, todo ello sin emplear pilas o baterías que se gastan, y cuyo tamaño es tan voluminoso que son totalmente imprácticas.

R21-19 APLICACIONES DE LOS DIODOS DE SEMICONDUCTOR

Sería imposible hacer aquí una lista de todas las aplicaciones del diodo semiconductor sin ocupar varios tomos. Para tener un conocimiento más amplio de las aplicaciones en especial, se sugiere usar el material publicado por el fabricante, como por ejemplo el que publican Honeywell, Penn Control, Ranco, White Rodgers, Robertshaw, etc. La información de este capítulo se presenta principalmente por cortesía de Honeywell.

Sin embargo, trataremos de mencionar algunos ejemplos comunes del empleo de semiconductores P-N en los equipos más frecuentes.

R21-19.1 Filtros electrónicos de aire

Como se mencionó antes, el limpiador electrónico de aire fue una de las primeras aplicaciones del estado sólido. La parte del filtro se describe en el capítulo A6. El funcionamiento eléctrico es como sigue. La figura R21-11 muestra el diagrama eléctrico de un limpiador normal de aire. Algunos limpiadores tienen medidores que

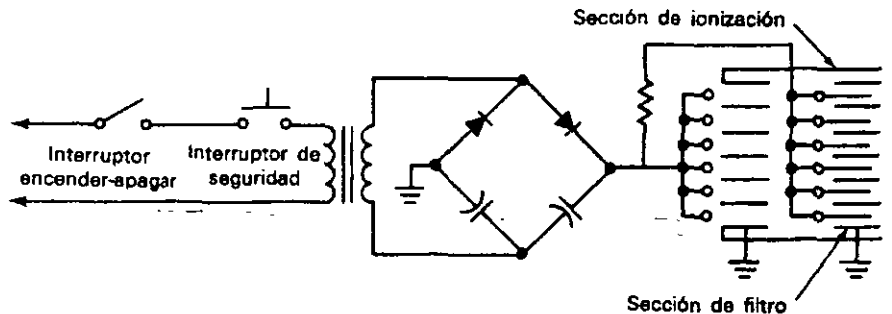


FIGURA R21-11 Circuito de un limpiador electrónico de aire.

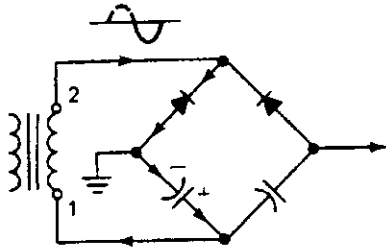


FIGURA R21-12 Duplicador de voltaje; mitad positiva del ciclo

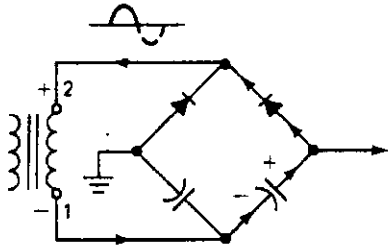


FIGURA R21-13 Duplicador de voltaje; mitad negativa del ciclo

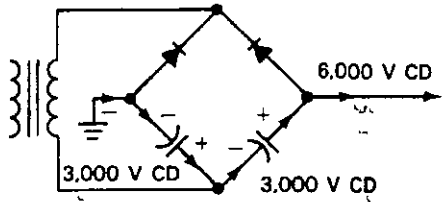


FIGURA R21-14 Duplicador de voltaje; ciclo completo.

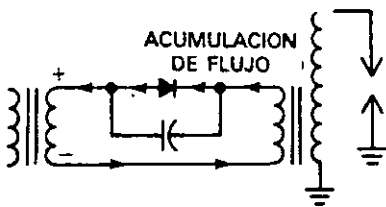


FIGURA R21-15 Sistema de ignición; mitad del ciclo para carga.

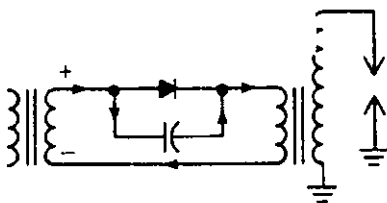


FIGURA R21-16 Sistema de ignición; mitad del ciclo para ignición

indican los niveles de eficiencia; otros emplean luces indicadoras; otros más tienen variaciones de voltaje para "control de ozono", etc. Estos últimos se omiten de la descripción para limitarla a los semiconductores P-N. Siguiendo el diagrama, la corriente pasa de la terminal viva o con corriente de la fuente de 120 V a través del interruptor de control, el interruptor de seguridad en la puerta, al transformador primario de subida y regresa por el otro lado (blanco) de la fuente de poder de 120 V. El transformador aumenta la corriente alterna de 120 V a 5000 V. Estos 3000 V son a través del rectificador de selenio o circuito de puente de capacitores. Nótese que se usan dos capacitores en lugar de dos rectificadores para dar un efecto de duplicación de voltaje de la cd de onda completa. Como no necesitamos que el voltaje sea uniforme para tener acción filtrante, no se usan filtros de voltaje. Los capacitores se cargan a toda su capacidad para tener voltaje máximo de salida.

La figura R21-12 muestra el flujo de corriente durante la mitad positiva de la corriente alterna aplicada. Los electrones pasan de la terminal 1 del lado de salida de 3000 V del transformador al capacitor, produciendo la carga negativa. Se produce una carga positiva en el otro lado del capacitor, por los electrones que salen del capacitor y pasan por el rectificador de selenio a la terminal 2 de la salida del transformador. Esto carga al capacitor C1 con 3000 V.

La figura R21-13 muestra el flujo de corriente durante la mitad negativa del ciclo de la corriente alterna aplicada. En este caso se invierten las polaridades. Los electrones pasan ahora de la terminal 2 de salida del transformador, pasan por el rectificador 2 de selenio y van al capacitor 2, produciendo una carga negativa de 3000 V en el capacitor. Los electrones pasan del otro lado del capacitor al otro lado de la fuente de poder en la terminal 1. El voltaje aplicado en este momento al rectificador 1 de selenio se invierte. La resistencia del rectificador ahora es alta, y no permite que pase la corriente. Cuando la corriente alterna ha completado un ciclo (60 por segundo para la corriente de 60 Hz), hemos almacenado 3000 V cd en cada uno de los dos capacitores (véase figura R21-14). Como esos capacitores están en serie entre la sección del ionizador de la celda del filtro y la tierra, los dos voltajes se suman y producen un voltaje de 6000 V cd a través del filtro.

R21-19.2 Ignición electrónica

La chispa que enciende la flama de gas en el sistema electrónico de ignición también la produce la acción P-N de semiconductor como interrupción total que actúa sobre un transformador para producir un alto voltaje en una unidad de ignición. Este sistema es semejante al de un automóvil, donde un platino cierra y carga la bobina; a continuación abre; un capacitor que se carga provoca un colapso rápido del campo en la bobina y un impulso de alto voltaje a través de una bujía enciende la mezcla del cilindro del motor (figura R21-15).

La figura R21-16 muestra el diagrama básico del sistema de ignición y muestra al semiconductor P-N con un capacitor en paralelo conectado con un transformador de subida, llamado "bobina de pulso", la cual a su vez tiene unos electrodos de ignición montados en un quemador, y conectados a la salida de la bobina de pulso. Al aplicar 24 V de ca al sistema, en el lado negativo del ciclo, el flujo de electrones se tiene a través del diodo P-N, y el flujo a través de la bobina del primario del transformador de pulso produce saturación magnética en la bobina. Es una gran cantidad de flujo magnético la que hay. Al mismo tiempo, la acción de cerrar del diodo P-N pone en corto y vacía al capacitor.

Cuando se invierte la acción, en la mitad positiva del ciclo, la acción inversa del voltaje provoca un colapso de los campos en la bobina. Al mismo tiempo, a causa de que el diodo P-N funciona como interruptor y abre, el capacitor ya no está en corto y toma una carga. La acción de la carga de voltaje acelerada por la acción absorbente del capacitor origina un colapso muy rápido del campo magnético en la bobina. Como el voltaje producido en una bobina es igual a la

velocidad con que cortan las líneas de fuerza los conductores de la bobina, el aumento rápido de esa velocidad induce un voltaje extremadamente alto (más de 10,000 V), lo suficiente como para originar un salto en la bujía, del electrodo a tierra, y se produce una chispa. Esta acción se repite cada ciclo.

R21-19.3 Sistemas de control

El estado de avance en el campo del control es que los controles se fabrican en unidades encapsuladas para evitar daños por humedad, lo cual también evita que se puedan reparar las unidades. Por lo tanto, el servicio consiste en cambios de los componentes individuales. El procedimiento de servicio también varía con cada artículo o sistema individuales. El mismo sistema producido por distintos fabricantes puede requerir de distintos procedimientos de servicio. Lo único que se puede hacer para dar un servicio adecuado y eficiente a los controles electrónicos es *seguir las instrucciones del fabricante al pie de la letra.*

PROBLEMAS

- R21-1. El átomo se compone de _____ y _____.
- R21-2. Los protones portan carga eléctrica _____.
- R21-3. Los electrones portan carga eléctrica _____.
- R21-4. ¿Qué determina el peso atómico de un elemento?
- R21-5. Si el cobre tiene 29 protones en el núcleo, ¿cuántos electrones habrá en sus capas?
- R21-6. La trayectoria que el electrón sigue alrededor del protón se llama _____.
- R21-7. El número de electrones en la primera capa es _____.
- R21-8. La capa más alejada del núcleo se llama _____.
- R21-9. La capa externa no tiene más que _____ electrones.
- R21-10. ¿Qué es lo que tiene mayor nivel de energía, los electrones que viajan en la capa interna o los que lo hacen en la capa externa?
- R21-11. Definir qué es un electrón "libre".
- R21-12. El cobre, la plata y el aluminio son buenos conductores de electricidad. ¿Por qué?
- R21-13. Si el cobre es buen conductor de electricidad, ¿Por qué el óxido de cobre es aislador?
- R21-14. Definir a un átomo en equilibrio.
- R21-15. Si un átomo en equilibrio cede un electrón, pasa a ser un _____.
- R21-16. Un átomo con sobrante de protones se llama _____.
- R21-17. Un átomo con sobrante de electrones es un _____.
- R21-18. Describir al enlazamiento "iónico".
- R21-19. Los buenos conductores de electricidad dependen de _____ ¿qué condición en los átomos?
- R21-20. Describir el enlazamiento covalente.
- R21-21. ¿Por qué los átomos con enlace covalente son malos conductores de electricidad?
- R21-22. Describir qué es un agujero.
- R21-23. Describir la acción de un termistor.

- R21-24. Un semiconductor tiene dos corrientes que pasan por él. ¿Cuáles son?
- R21-25. En un conductor sólo se lleva a cabo un flujo de corriente. Dar su nombre. _____.
- R21-26. Al proceso de controlar la cantidad de electrones y agujeros de las combinaciones de átomos se le llama _____.
- R21-27. Se producen portadores de corriente negativa agregando impurezas llamadas _____.
- R21-28. Se producen portadores de corriente positiva agregando impurezas llamadas _____.
- R21-29. Los semiconductores dopados para que conduzcan corriente negativa se clasifican como tipo _____.
- R21-30. Los semiconductores dopados para que conduzcan corriente positiva se clasifican como tipo _____.
- R21-31. Definir un diodo de estado sólido.
- R21-32. Dar los nombres de los dos tipos generales de diodos.
- R21-33. Los dos rectificadores metálicos que más se usan son el de _____ y el de _____.
- R21-34. Describir la región de agotamiento de un semiconductor.
- R21-35. El empleo de un diodo P-N y un transformador de ca producirá una corriente directa _____.
- R21-36. Describir el punto de descarga en avalancha de un diodo.
- R21-37. ¿Cuántos diodos usa un circuito rectificador de puente?
- R21-38. ¿Cuándo puede usarse un circuito rectificador de puente sin transformador como fuente de poder?
- R21-39. ¿Por qué se usan resistores en el circuito entre la salida del diodo y la sección de filtro de una fuente de poder de ca/cd?
- R21-40. En lugar de un resistor se puede emplear un inductor, llamado _____.
- R21-41. El arreglo de un resistor y un capacitor para filtro se llama filtro _____.
- R21-42. El arreglo de dos capacitores con un resistor de límite o bobina de reactor se llama filtro _____.
- R21-43. El arreglo de dos capacitores y dos rectificadores en el circuito de puente se llama _____.
- R21-44. En el sistema electrónico, ¿qué efectúa la misma función que los platinos del distribuidor de un automóvil?
- R21-45. ¿Cuál es la mejor política a seguir para dar servicio a los controles electrónicos?



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

EQUIPO DE MEDICIÓN Y PRUEBAS DE REFRIGERACIÓN

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

R22-1 GENERALIDADES

En trabajos de refrigeración (y aire acondicionado) usará usted muchos instrumentos y equipo de medición de diversos tipos. En los capítulos anteriores se han descrito con detalle las herramientas de mano básicas, al igual que el equipo de medición y pruebas relacionado con los aspectos eléctricos de los sistemas de refrigeración. En este capítulo repasaremos el equipo de medición y pruebas que se necesitan para determinar las condiciones de temperatura y presión.

R22-2 MEDICIONES DE TEMPERATURA

Al analizar un sistema de refrigeración es importante contar con indicaciones exactas de la temperatura. El instrumento más común para medirla es el termómetro de vidrio de bolsillo, que se muestra en la figura R22- 1. Nótese que cabe en una caja protectora de metal. La parte superior tiene un anillo para fijar un hilo y colgarlo, si es necesario. Los límites de temperatura varían en esos termómetros, pero una escala que se acostumbra es la de -30 a $+120$ °F (-34 a 48 °C), y tiene marcas cada 2 °F. Algunos son de mercurio, pero otros tienen alcohol teñido de rojo que es más fácil de ver.

Para comprobar la calibración de un termómetro de vidrio de bolsillo, introdúzcalo en un vaso de agua con hielo durante varios minutos. Debe indicar 32 °F más o menos 1 °F. Si se separa el líquido, coloque el termómetro en un congelador, y es probable que con la contracción resultante se vuelvan a unir las columnas separadas del fluido. Otro modo de conectar un líquido separado es calentar con cuidado la columna, *no el bulbo*. En la mayor parte de los casos el líquido se reunirá al expandirse.



FIGURA R22-1 Termómetro de vidrio. (Cortesía de Robinair Manufacturing Corporation.)



FIGURA R22-2 Termómetro de carátula, de bolsillo. (Cortesía de Robinair Manufacturing Corporation.)

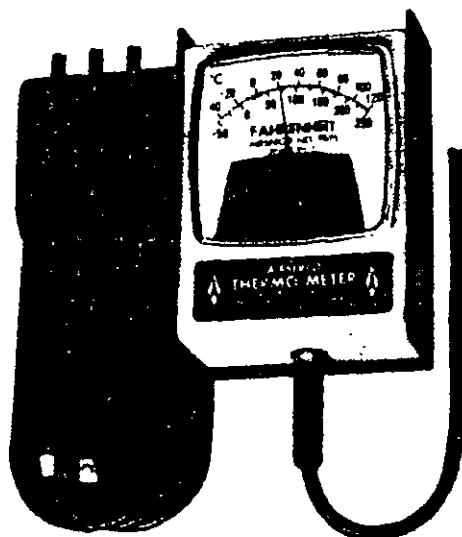


FIGURA R22-4 Termómetro con sensor remoto (Cortesía de Aircs)

Otra forma de termómetro de bolsillo es el de carátula, que se muestra en la figura R22-2. También tiene un estuche con un broche para el bolsillo. El termómetro de carátula es más cómodo o más práctico para medir temperaturas de aire en un ducto. El vástago se introduce en el ducto, pero la carátula queda visible. Se consiguen en varios rangos, dependiendo de la exactitud necesaria y de la naturaleza de la aplicación. Unos límites frecuentes son de -40 a $+160$ °F (-40 a $+71$ °C). En la figura R22-3 se muestra un tipo distinto de termómetro de carátula, el de sobrecalentamiento.

El termómetro de bulbo de expansión, muy exacto, se usa para medir la(s) temperatura (s) del tubo de succión para calcular, comprobar y ajustar el sobrecalentamiento. Los límites normales son de -40 a $+65$ °F (-40 a $+18$ °C). El bulbo sensor se encinta o se fija al tubo del refrigerante y se cubre con material aislante, como por ejemplo una lámina de esponja de hule, para evitar que circule aire por el bulbo mientras se toma una lectura. Desde luego, este termómetro de sobrecalentamiento se puede usar para medir también temperaturas de agua o de aire.

Los termómetros que acabamos de describir han sido las herramientas básicas de medición de temperatura durante muchos años. Sin embargo, tienen ciertas limitaciones; por ejemplo, se necesita que el

operador esté físicamente cerca al tomar las temperaturas. Por ejemplo, cuando se trata de medir la temperatura interna de su refrigerador sin abrir la puerta.

El termómetro que se ve en la figura R22-4 también es un dispositivo manual, pero tiene una longitud de sensor de 75 cm (30 ") para permitir mediciones hasta cierto punto remotas.

Se consiguen sensores distintos para medir temperaturas superficiales o de aire. Para uso en refrigeración, el sensor de superficie determina los ajustes de sobrecalentamiento en las válvulas de expansión, temperaturas de motor, temperatura de condensación, y temperatura de agua. Es un instrumento útil para muchas aplicaciones, pero también es limitado, porque sólo se puede tomar una indicación a la vez, en un solo lugar.

Como resultado del desarrollo rápido de dispositivos electrónicos de bajo costo, hoy es común la disponibilidad y el empleo de termómetros electrónicos. El termómetro electrónico como el que se ve en la figura R22-5 consiste en un probador con lugar para fijar una o varias (de tres a seis) terminales de sensor. Los elementos sensores en realidad son termistores que, al exponerse al calor o al frío varían la corriente eléctrica en el circuito de prueba porque su resistencia cambia cuando cambia la temperatura. El instrumento convierte las variaciones en la corriente eléctrica a indicaciones de temperatura. La longitud de las terminales de los sensores varía, dependiendo de la marca de la unidad, pero se pueden emplear extensiones para poder tomar lecturas remotas.

Una vez que el operador coloca el o los sensores en los lugares que se escogen para la medición, puede cambiar de posición a posición y anotar las temperaturas sin tener que ir realmente a cada zona de medición, como por ejemplo en el refrigerador, cuarto enfriador, congelador o ducto de aire. El elemento sensor también se puede emplear para medir el sobrecalentamiento.

A veces se puede necesitar registrar temperaturas durante largo tiempo, como por ejemplo durante un día o hasta una semana, para examinar los cambios en las condiciones del sistema. Se dispone de termómetros registradores muy complicados, para trabajos también muy complejos, pero para la instalación promedio se tienen termómetros registradores razonablemente baratos, compactos y portátiles, como el que se ve en la figura R22-6, que consiste en una carta que se mueve con un motor de cuerda. Con un termómetro registrador se omiten los tanteos para ajustar las condiciones de trabajo del sistema, o para diagnosticar y ubicar las zonas problema; además da un registro permanente de los resultados.

La selección final de los instrumentos medidores de temperatura dependerá del propósito del trabajo con el que esté relacionado el técnico. Para dar servicio a refrigeración, aire acondicionado y calefacción, el técnico necesitará una gran variedad de termómetros. Es importante recordar que son dispositivos sensibles y que necesitan de cuidado y calibración constantes para dar exactitud y confiabilidad.

R22-3 MEDICIONES DE PRESION

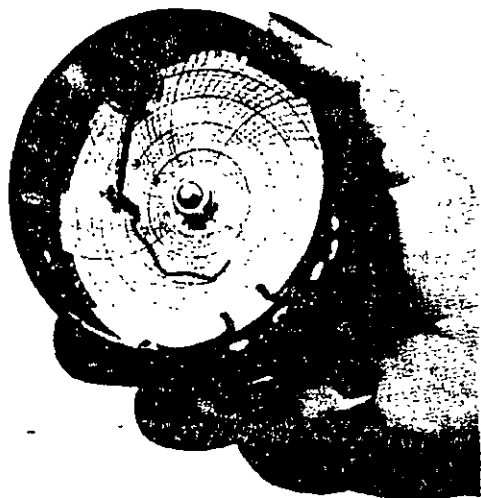


FIGURA R22-6 Termómetro registrador portátil.
(Cortesía de Airserco Manufacturing Company.)

Las mediciones de temperatura se llevan a cabo, en general, fuera del sistema trabajando. Pero también es necesario que el técnico de servicio conozca lo que sucede dentro del sistema, y esto se conoce principalmente a través de mediciones de presión.

El capítulo R3 describió dos manómetros como instrumentos necesarios para obtener las indicaciones de presión (véase figura R22-7). A la derecha de la figura se encuentra el *manómetro de alta presión*, que mide la presión del lado de alta o de condensación. En el caso normal, está graduado de 0 a 500 psi en divisiones de 5 psi. El *manómetro compuesto* (izquierda) se usa en el lado de baja, o de presiones de succión, y sus graduaciones en general son de 30 pulg de vacío a 120 psi; así, puede medir presiones arriba y abajo de la presión atmosférica. Este manómetro tiene divisiones de 1 psi. Para los dos manómetros que hemos descrito se consiguen instrumentos con otros límites de presión pero los dos mencionados son los más comunes.

Nótese que en las carátulas hay una escala interior,

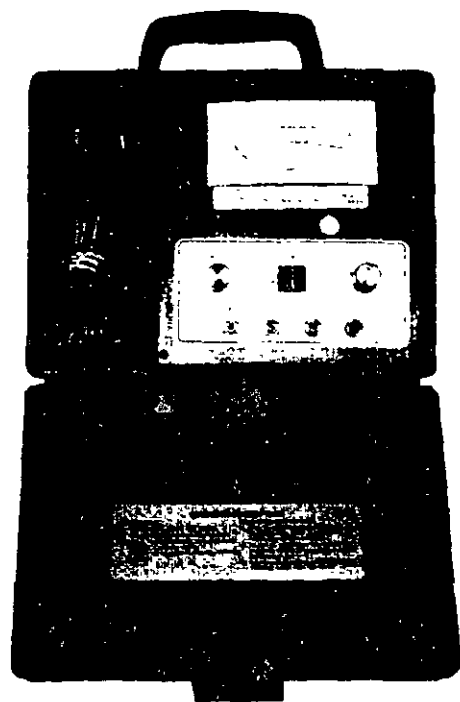


FIGURA R22-5 Termómetro electrónico.
(Cortesía de Robinaur Manufacturing Corporation.)

que marca las temperaturas de saturación de varios refrigerantes, determinadas por su presión. Recuérdese que, según el capítulo 7, hay una relación definida entre presión y temperatura de saturación para un refrigerante dado. En la figura R22-7 las carátulas tienen escalas para R-12 y R-22. También se consiguen manómetros para otros refrigerantes y para unidades métricas.¹

Un artículo que se usa mucho en el servicio y que tiene manómetros de alta y compuesto se llama *cabezal de manómetros*. Permite que el técnico de servicio compruebe las presiones de funcionamiento del sistema, que agregue o quite refrigerante, que agregue aceite, purgue no condensables, omita el paso por el compresor, analice las condiciones del sistema y lleve a cabo muchas otras operaciones sin remplazar los manómetros ni tratar de manejar conexiones de servicio en lugares inaccesibles.

El cabezal de pruebas como el que se ve en la figura R22-8 consiste en un cabezal con tres válvulas de servicio. A la izquierda se encuentra colocado el manómetro compuesto (succión) y a la derecha el de alta presión (descarga). En la parte inferior del cabezal se encuentran mangueras que llevan la válvula de servicio de succión en el equipo, la del recipiente del refrigerante (parte media) y la de la válvula de descarga del equipo, o del tubo de líquido (derecha).

Muchos fabricantes de equipo identifican con colores el manómetro y la manguera de baja, de azul, y el manómetro y la manguera de alta con rojo. La manguera del centro, o del refrigerante tiene color blanco. Este sistema ayuda mucho para evitar cruzamientos de mangueras y daños a los manómetros. Se dispone de un gancho para colgar el conjunto y liberar las manos

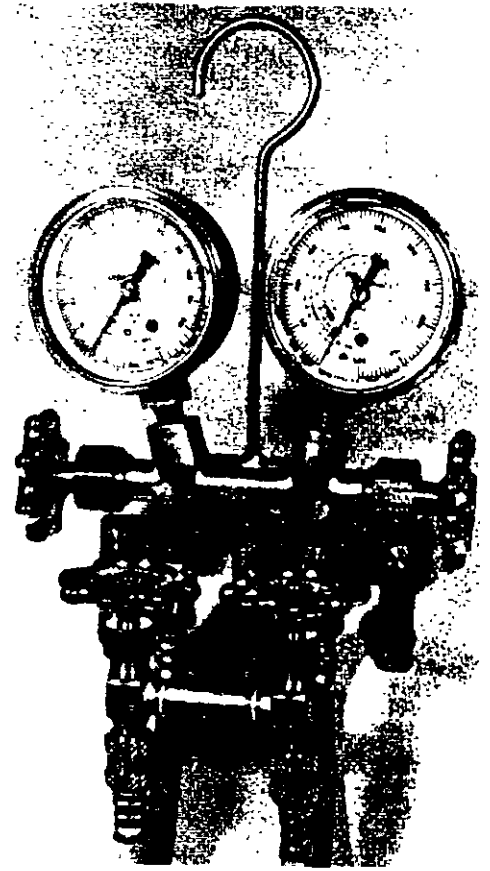


FIGURA R22-7 Cabezal con manómetros. (Cortesía de Robinar Manufacturing Corporation)

del operador.

Al abrir y cerrar las válvulas de refrigerante A y B en el cabezal de manómetros (figura R22-9) podemos obtener varias trayectorias de flujo del refrigerante. Las válvulas están instaladas de tal manera que cuando se cierran (asientos delanteros) la conexión central del múltiple cierra los manómetros (figura R22-9). Cuando las válvulas están cerradas, las conexiones 1 y 2 de los manómetros quedan abiertas hacia ellos, permitiendo que indiquen las presiones en el sistema.

Cuando la válvula 1) del lado de baja está abierta y la del lado de alta 2) cerrada (figura R22-9), se permite que pase el refrigerante a través del lado de baja del cabezal y la conexión central. Este arreglo se podría emplear cuando se agregan al sistema refrigerante o aceite.

La figura R22-9 muestra el procedimiento para hacer que pase refrigerante del lado de alta al de baja sin pasar por el compresor o el reductor de presión. Se abren ambas válvulas y se tapa la conexión central. El refrigerante siempre pasa de la zona de alta presión a la de menor presión.

En esa figura se indica el arreglo de válvulas para purgar o sacar refrigerante. La válvula del lado de baja se cierra. La *conexión central se abre a la atmósfera* o se conecta a un tambor vacío de refrigerante. Se abre la válvula de alta, con lo que se permite el flujo de alta presión, y que salga por la conexión central.

Nota: No se recomienda la purga de grandes cantidades de fluorocarburos a la atmósfera, a menos que sea absolutamente necesario.

¹ N. del T.: Las escalas métricas que más se usan en los manómetros son: kg/CM² (1 kg/cm² = 14.2 psi), atmósferas (atm) (1 atm = 1.033 kg/CM² = 14.7 psi), y "bar". (1 bar = 0.9869 atm = 1.02 kg/cm² = 14.5 psi). En los vacuómetros se usan mm Hg (1 pulg Hg = 25.4 mm Hg).

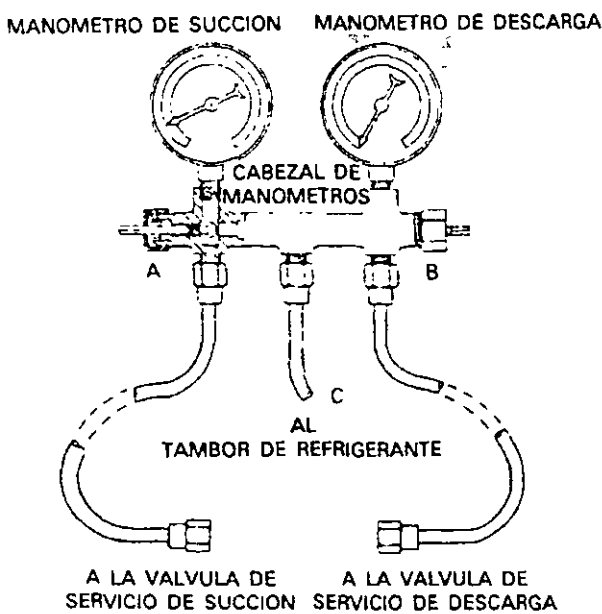


FIGURA R22-8 Cabezal de pruebas.

El método de conexión del cabezal de manómetros a un sistema de refrigerante depende del estado del sistema esto es, si el sistema está trabajando o tan sólo se está instalando. Por ejemplo, supongamos que el sistema, está trabajando y tiene asientos traseros en las válvulas de servicio en línea (figura R2210).

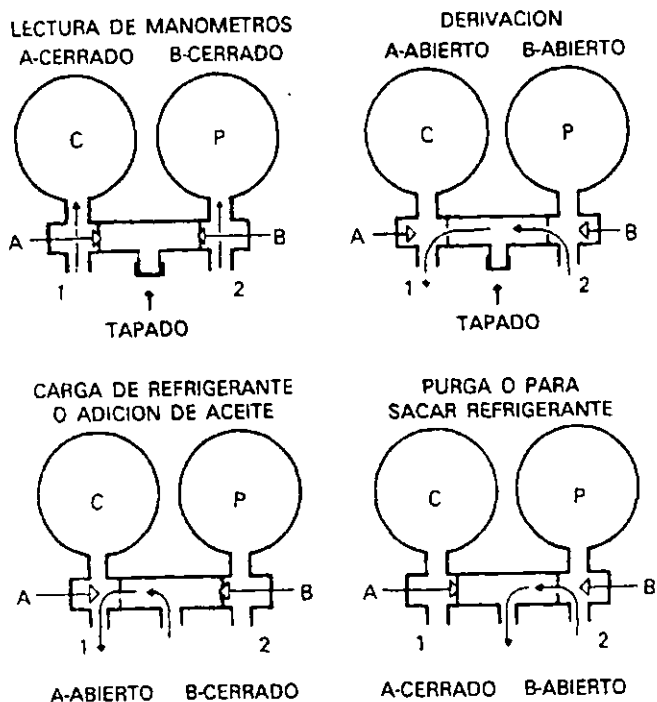


FIGURA R22-9 Funcionamiento de las válvulas del cabezal. C, manómetro compuesto; P, manómetro de presión; 1, tubo del manómetro a la válvula de servicio en el tubo de succión; 2, tubo del manómetro a la válvula de servicio en el tubo de descarga. (Cortesía de BDP Company.)

El primer paso es purgar el múltiple de manómetros para sacarle los contaminantes antes de conectarlo al sistema:

1. Saque las tapas de los vástagos en las válvulas de servicio del equipo y revíselas para asegurarse que las dos válvulas de servicio tienen asientos traseros.
2. Quite las tapas de conexión del cabezal, en ambas válvulas de servicio.
3. Conecte la manguera central del múltiple de manómetros con un cilindro de refrigerante, que sea igual al que se encuentra en el sistema, y abra ambas válvulas en el cabezal de manómetros.
4. Abra la válvula del cilindro de refrigerante durante unos 2 segundos y ciérrela. Con ello se purgarán los contaminantes del múltiple o cabezal de manómetros, y de las mangueras.
5. A continuación, conecte las mangueras del cabezal con las conexiones de los manómetros: el manómetro compuesto de baja presión con la válvula de servicio en la succión y el de alta presión con la válvula de servicio del tubo de líquido, como se ve en la figura R22-1 1.
6. Cierre ambas válvulas, o métalas a su asiento delantero en el cabezal de manómetros. Abra ambas (de izquierda a derecha) una vuelta para sacarlas del asiento trasero. Con ello se permite que el sistema se conecte con cada manómetro. Estando purgados el múltiple y las mangueras, conectados con el sistema, se queda en libertad de llevar

cabo la función de servicio que sea necesaria en el ciclo de refrigeración.

Para desconectar el cabezal de manómetros del sistema, siga este procedimiento:

1. Abra, o llegue las válvulas de servicio de líquido y de succión, a su asiento trasero (es decir, girándolas en sentido contrario al de las manecillas del reloj).
2. Quite las mangueras de las conexiones de los manómetros y selle sus extremos con tapones de 1/4" para evitar que se contaminen las mangueras. Algunos cabezales tienen conexiones de sello ínter construidas para mangueras.
3. Cambie todas las tapas de conexión de manómetro y de vástago de válvula. Asegúrese que todas las tapas *tengan las empaquetaduras que se proporcionan con ellas, y que queden apretadas.*

El cabezal y los manómetros son herramientas necesarias para llevar a cabo muchas operaciones en el sistema. Una vez que se ha terminado de armar y purgado la mayor parte del aire, se debe probar para ver si presenta fugas. O bien, siempre que se ha reparado o cambiado un componente, es imperativo revisar todo el sistema para ver si presenta fugas.

R22-4 PRUERA DE FUGAS

En la mayor parte de los casos se puede usar un refrigerante de baja presión para que el sistema acumule la presión suficiente para poderlo revisar para ver si presenta fugas, como se ve en la figura R22-12. Instale el cabezal de manómetros como se describió antes. Abra sus dos válvulas, y las de servicio del sistema. Abra la válvula del cilindro del refrigerante y haga que el sistema llegue a la presión del cilindro, con vapor de refrigerante, manteniendo aquél en posición vertical. Con cualquiera de los tres métodos que se describieron en el capítulo R7 vea si hay fugas. Cuando la aplicación o los reglamentos locales pidan una presión de prueba mayor que la presión de vapor del refrigerante, se puede usar algún otro gas para probar, como por ejemplo, nitrógeno seco. *Por ningún motivo emplee oxígeno.*² El nitrógeno se introduce al sistema por la conexión central después de desconectar el cilindro del refrigerante.

² N. del T.: El oxígeno a presión puede provocar explosiones violentas cuando se pone en contacto con sustancias orgánicas, incluyendo grasas o aceites lubricantes.

Precaución: El cilindro de gas de prueba debe estar equipado con un medidor de presión y regulador, de forma que las presiones de prueba del sistema no excedan los límites máximos permisibles, de acuerdo con los códigos nacionales o locales o por el fabricante del equipo.

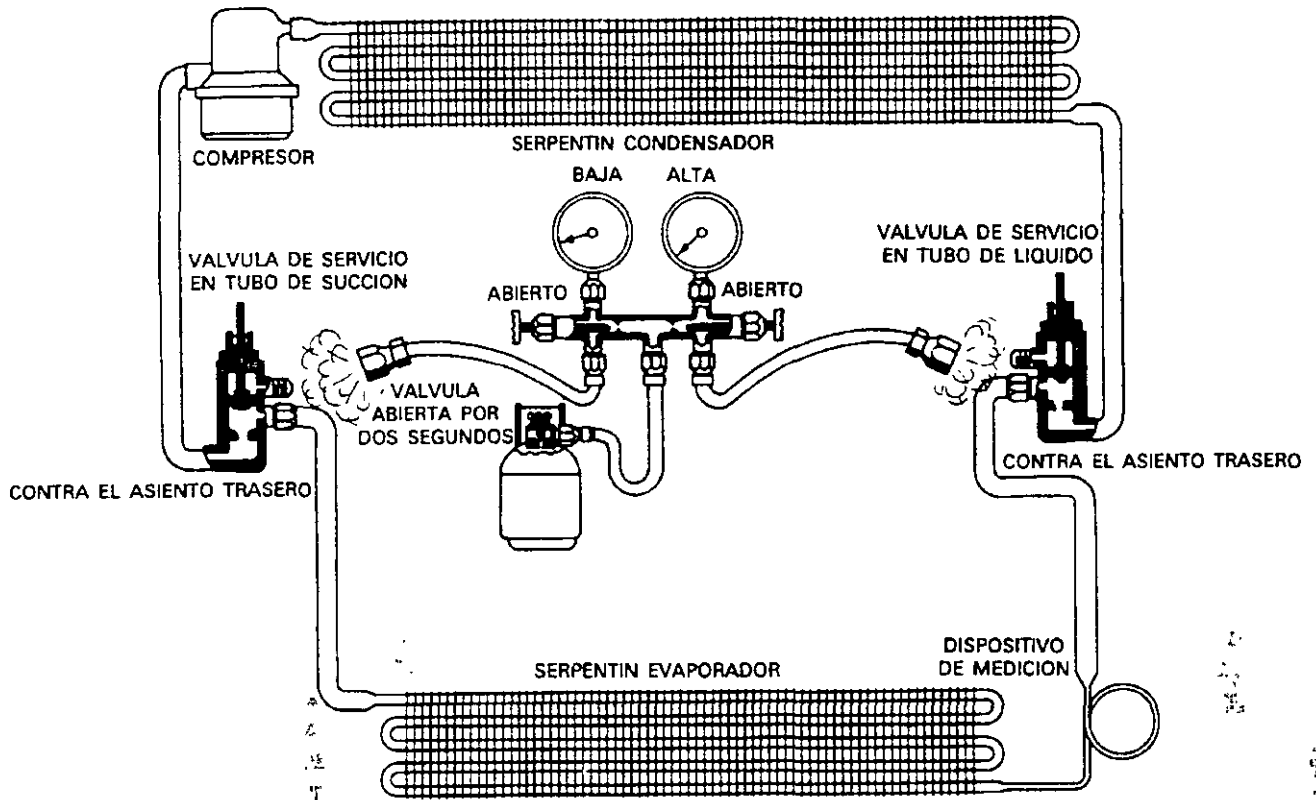


FIGURA R22-10 Purgado del cabezal de manómetros. (Cortesía de BDP Company)

R22-5 PURGADO

Cuando un sistema queda expuesto a las condiciones atmosféricas durante un corto tiempo (menos de 5 min, por ejemplo) al cambiar un componente, se hace necesario purgar el sistema para sacar cualquier contaminante que pudiera haberle entrado. Igualmente, durante la instalación, si los tubos del refrigerante se abren durante más de 5 minutos, se debe purgar el sistema.

La teoría del purgado es emplear una carga de refrigerante gaseoso a alta velocidad para soplar cualquier contaminante del sistema. Para purgar un sistema acabado de instalar, proceda como sigue:

Instale el cabezal de manómetros como se ve en la figura R22-13, con la válvula del lado de baja cerrada y sin conectar la válvula de servicio en la succión. Conecte la manguera central al tambor de refrigerante. Conecte la manguera del lado de alta con la válvula del tubo de líquido. Abra (recargue con el asiento delantero) las dos válvulas de servicio y abra la válvula del cabezal del lado de alta. Abra por completo la válvula del cilindro del refrigerante y permita que pase una carga de alta velocidad de vapor de refrigerante (de 1/2 a 1 lb, o más, dependiendo del tamaño del equipo) a todo el sistema. El refrigerante empujará cualquier contaminante por el sistema hasta la válvula de servicio en la succión, a través de la cual se purgará.

Siempre que se tenga que quitar un componente defectuoso, como por ejemplo una válvula de expansión, se debe almacenar al refrigerante en el receptor o en el condensador, y aislar el componente con las válvulas de servicio. A continuación, cuando se instale el componente nuevo, se deben purgar los tubos de ambos lados.

R22-6 EVACUACION

La evacuación correcta de una unidad eliminará los no condensables (principalmente aire, agua y gases inertes) y asegurará un sistema hermético y seco antes de la carga. Hay dos métodos para evacuar un sistema: el de alto vacío, y el de evacuación triple. Cada uno tiene sus ventajas y desventajas. La selección depende de varios factores: tipo de bomba de vacío disponible, tiempo del que se dispone para hacer el trabajo, y si hay agua líquida en el sistema.

En el trabajo de refrigeración, en especial en aquellos sistemas que trabajan a presiones de succión muy bajas, se recomienda el método de alto vacío. En los sistemas de refrigeración a mayor temperatura, y en aire acondicionado, se practica la evacuación triple. Describiremos ambos métodos.

Las herramientas necesarias para evacuar un sistema dependen del método que se use. Para el método de alto vacío, se necesita una buena bomba de vacío y un vacuómetro, y para el de triple evacuación se necesitan una buena bomba de vacío y un manómetro compuesto.

La figura R22-14 muestra una herramienta que se usa para sacar y cambiar la válvula interna de las válvulas Schrader o Dill. Otro empleo es como válvula de carga de vacío. Si se quita la válvula interna, se puede hacer vacío con mucha más rapidez. La válvula interna es una gran restricción al flujo de gas, y es mejor quitarla. Esto se puede hacer sin abrir el sistema a la atmósfera, usando esta herramienta

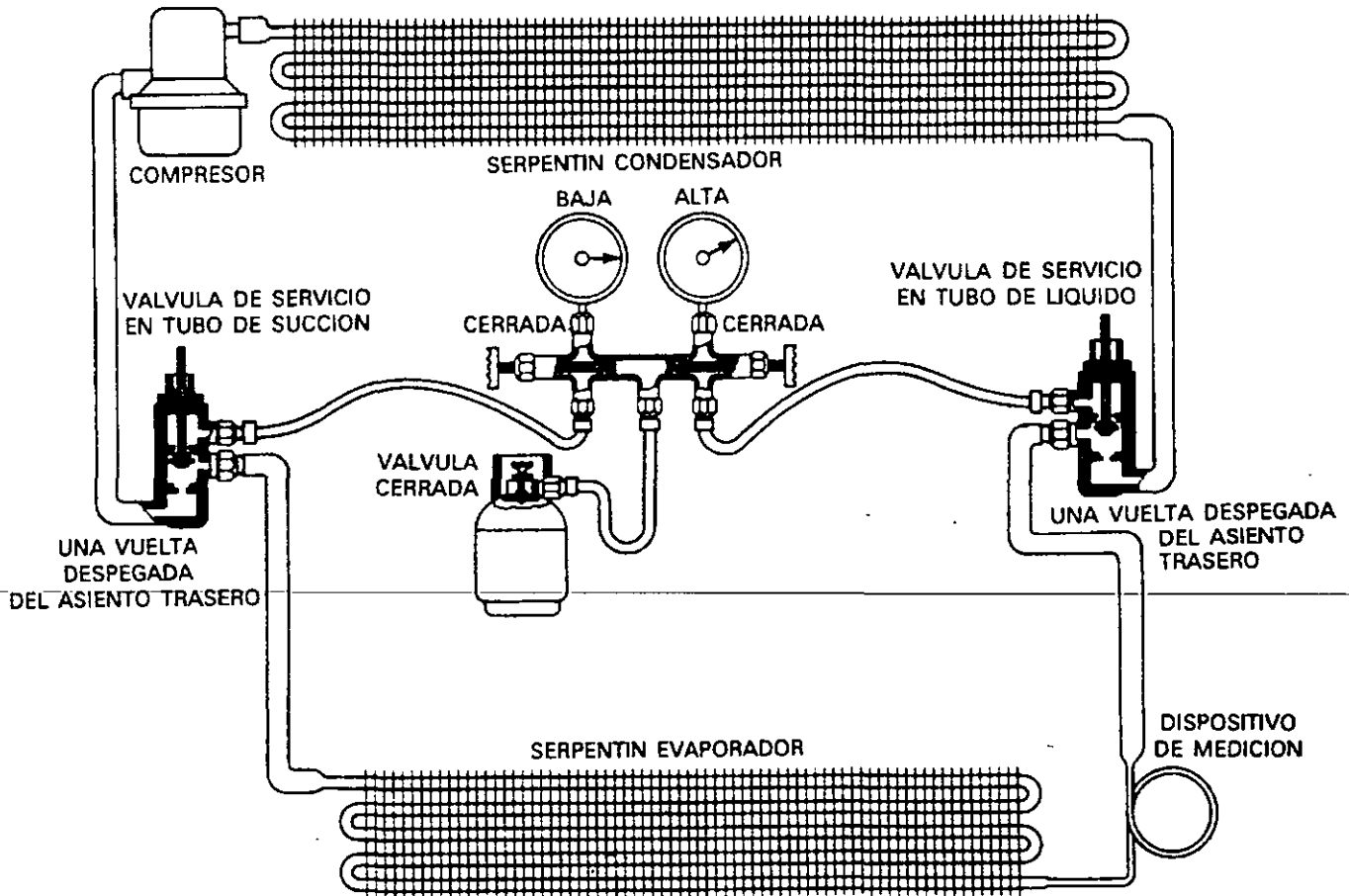


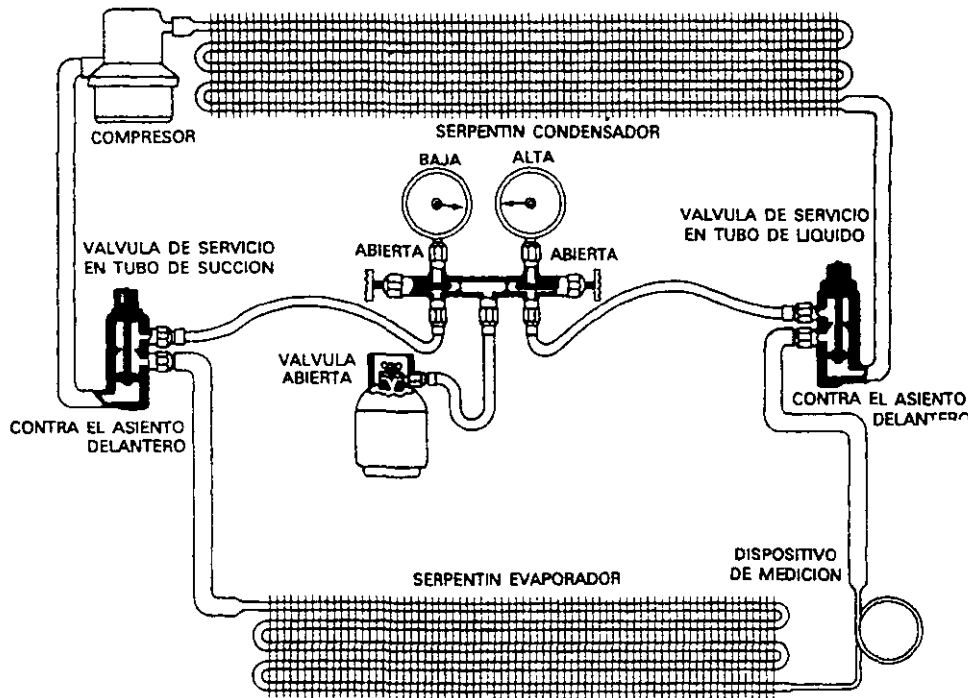
FIGURA R22-11 Conexión del cabezal (Cortesía de BDP Company.)

R22-7 BOMBA DE VACIO

Una bomba de vacío, como la que se ve en la figura R22-15, es algo así como un compresor de aire a la inversa. La mayor parte de ellas son de impulsión directa o por bandas, con motor eléctrico, aunque también se consiguen con motor de gasolina. La bomba puede ser de una o dos etapas, dependiendo del diseño. La mayor parte de las bombas para uso normal en campo son portátiles; tienen asas de transporte o están montadas en carritos. Los tamaños de esas bombas se dan según el desplazamiento de aire libre, en pies cúbicos por minuto o litros por minuto. Las especificaciones pueden comprender también el vacío que se puede hacer con la bomba, expresado en micras de mercurio.

¿Qué es una micra de mercurio? Cuando el vacío se acerca a 29.5 ó 30 pulgadas de mercurio en el manómetro compuesto, se está trabajando en la última media pulgada de depresión, y la indicación más allá de las 29.5" no es precisa para el método de alto vacío. Por lo tanto, la industria ha adoptado otra unidad, que se llama micra. La micra es una unidad de medida lineal, igual a $1/25,400$ o $1/1016$ mm y se da en presión absoluta sobre el cero, en contraste con la presión del manómetro, que puede quedar influida por los cambios de presión atmosférica. La figura R22-16 es un comparación de medidas que se inicia a condiciones atmosféricas normales y que abarca al alto vacío.

La figura R22-16 no sólo demuestra la comparación en unidades de medida, sino que muestra muy claramente los cambios en el punto de ebullición del agua a medida que la evacuación se acerca al vacío perfecto. Es el principal fin de la evacuación: reducir la presión o vacío lo suficiente para hacer que el agua hierva o se evapore y a continuación sacarla del sistema con la bomba de vacío. Se notará que el manómetro compuesto no indicaría cambios tan diminutos en pulgadas de mercurio.



R22-8 INDICADORES DE ALTO VACIO

Para medir esos vacíos tan altos, se han desarrollado instrumentos electrónicos, como el que se ve en la figura R22-17. En general, son dispositivos sensores de calor en los que el elemento sensor, conectado en forma mecánica con el sistema que se está evacuando, genera calor. La rapidez a la que se transfiere el calor cambia a medida que se extraen los gases y vapores que rodean al sensor. Así, la salida del elemento (sea termopar o termistor) cambia a medida que cambia la disipación del calor, y este cambio en la señal de salida se indica en un medidor que está calibrado en micras de mercurio.

La exactitud de esos instrumentos es de unas 10 micras, y por lo tanto

FIGURA R22-12 Empleo del cabezal de manómetros en detección de fugas (Cortesía de BDP Company)
se acercan al vacío perfecto, como se ve en la figura R22-16.

R22-9 METODO DE EVACUACION CON ALTO VACIO

El método más positivo que asegura que un sistema está libre de agua y aire es el de alto vacío. Tarda más, pero los resultados son mucho más positivos. Seleccione una bomba de vacío capaz de hacer cuando menos 500 micras de vacío, y un indicador electrónico de vacío. El procedimiento se muestra en la figura R22-18, y se describe a continuación:

1. Instale el cabezal de manómetros como se describió antes.
2. Conecte la manguera central con el cabezal de medición de vacío. Es tan sólo un cabezal de tres válvulas que le permite conectar la bomba de vacío y el indicador de vacío, así como un cilindro de refrigerante, cada uno con su válvula de cierre.
3. Abra las válvulas que dan a la bomba y al indicador. Cierre la del refrigerante. Siga las instrucciones del fabricante de la bomba acerca del diámetro del tubo de succión, aceite, posición de los indicadores y calibración.
4. Abra por completo ambas válvulas del cabezal de manómetros y abra parcialmente ambas válvulas de servicio en el equipo.
5. Ponga a funcionar la bomba de vacío y evacúe el sistema, hasta que se tenga un vacío cuando menos de 500 micras.
6. Cierre la válvula de la bomba y aisle el sistema. Pare la bomba durante 5 minutos y observe el indicador de vacío para ver si el sistema realmente ha alcanzado 500 micras y se mantiene. Si no se mantiene, revise todas las conexiones para ver si su ajuste es hermético y repita la evacuación hasta que el sistema mantenga el vacío.

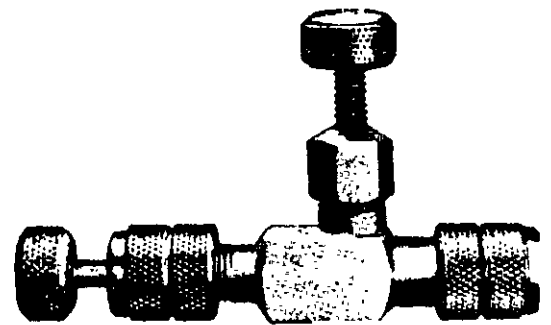


FIGURA R22-14 Extractor de válvula interna. (Cortesía de Ritchie Engineering Co., Inc.)

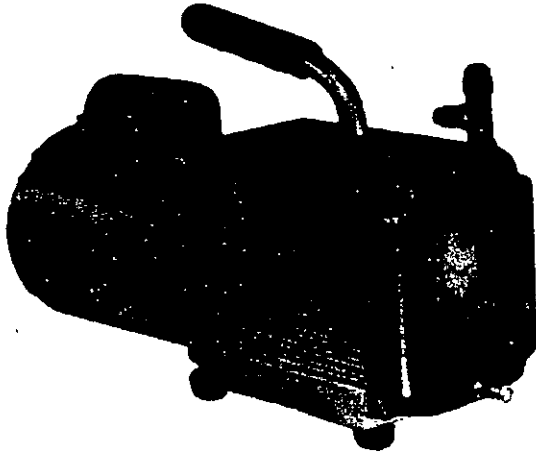


FIGURA R22-15 Bomba de vacío (Cortesía de Robinair Manufacturing Corporation)

Este método de evacuación se basa en el principio de diluir los no condensables y humedad con vapor limpio y seco de refrigerante. Ese vapor se saca del sistema, y arrastra con él una parte de los contaminantes. Al repetir el procedimiento, los contaminantes restantes se reducen proporcionalmente hasta que el sistema queda libre de ellos. La figura R22-19 muestra el dispositivo y el procedimiento se describe a continuación.

1. Instale el cabezal de manómetros como se describió antes.
2. Conecte la manguera central con la válvula correspondiente del cabezal de vacío.
3. Conecte la bomba y el cilindro del refrigerante con sus válvulas del cabezal. Purgue los tubos con refrigerante.
4. Cierre la válvula del cilindro del refrigerante y abra la de la bomba.
5. Abra por completo ambas válvulas del cabezal de manómetros y abra parcialmente ambas válvulas de servicio.

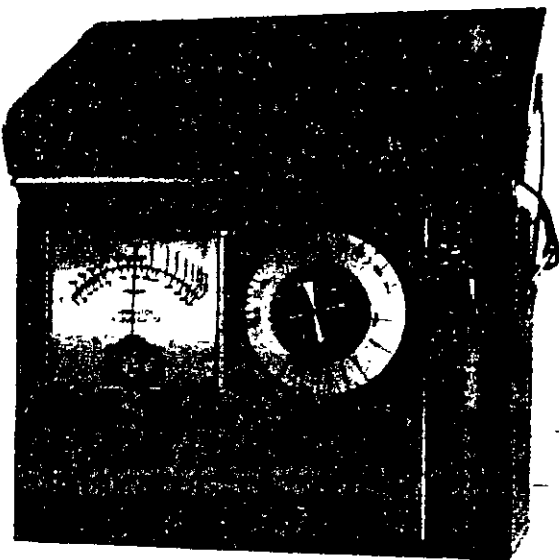


FIGURA R22-17 Manómetro electrónico para alto vacío. (Cortesía de Robinair Manufacturing Corporation.)

7. Cierre la válvula que da al indicador.
8. Abra la válvula que da al cilindro del refrigerante y eleve la presión hasta cuando menos 10 psig, o cargue el sistema hasta nivel correcto (que se describe después).
9. Desconecte la bomba y el indicador.

R22-10 EVACUACION TRIPLE

El método de triple evacuación no necesita de equipo especializado de alto vacío. Sin embargo, no debe usarse este método si se cree que hay agua en el sistema. Se necesitará una bomba de vacío de capacidad suficiente para llegar a 500 micras de mercurio. Es importante contar con buenos manómetros para servicio

de



FIGURA R22-16

Relación entre presión absoluta y temperatura de ebullición del agua.

PUNTO DE EBU- LLICIÓN DEL AGUA		PRESIÓN ABSOLUTA		
°F	°C	Psia	Micras de mercurio	Vacío en pulgadas de mercurio
212	100	4.7	—	0
79	26	0.5	25,400	29.0
72	22	0.4	20,080	29.8
32	0	0.09	4,579	29.99
-25	-31	0.005	250	29.99
-40	-40	0.002	97	29.996
-60	-51	0.0005	25	29.999

6. Ponga a trabajar la bomba de vacío y evacúe el sistema hasta que se alcance un vacío mayor que 29.5" de mercurio en el manómetro compuesto. Deje que la bomba trabaje durante 10 minutos por caballo. Por ejemplo, 30 minutos una bomba con motor de 3 hp.
7. Cierre la válvula de la bomba y pare la bomba.
8. Abra la válvula del refrigerante. Deje que la presión a continuación cierre esa válvula. Permita que el refrigerante se difunda por el sistema y absorba la humedad durante 5 minutos antes de la siguiente evacuación.
9. Cierre la válvula de refrigerante. Abra la válvula de la bomba y repita los pasos de evacuación para alcanzar de nuevo 29.5 "de mercurio o más, y continúe con la bomba durante 10 minutos por caballo.
10. Cierre la válvula de la bomba y apague ésta. Abra la válvula del refrigerante y cargue a 20 psig, esperande nuevamente 5 minutos.
11. Cierre la válvula del refrigerante. Abra la válvula de la bomba. Ponga a trabajar ésta y evacue de nuevo hasta 29.5 "de vacío, o más, y siga bombeando durante 20 minutos por caballo (por ejemplo, 60 minutos para la unidad de 3 hp).

12. Pare la bomba y rompa el vacío con refrigerante cargando esta vez al sistema a su presión correcta.

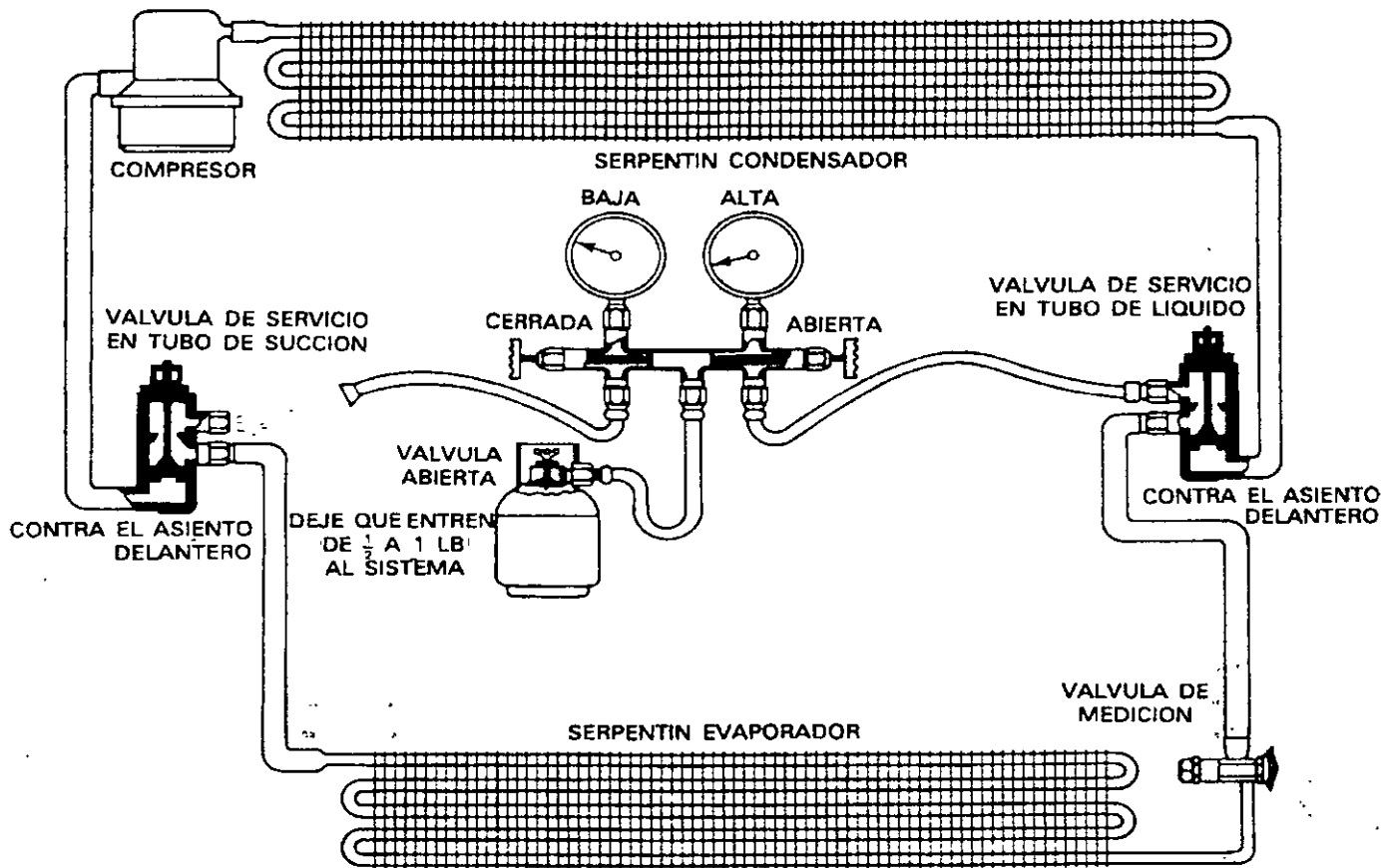


FIGURA R22-13 Purgado del sistema. (Cortesía de BDP Company.)
SERPENTIN CONDENSADOR

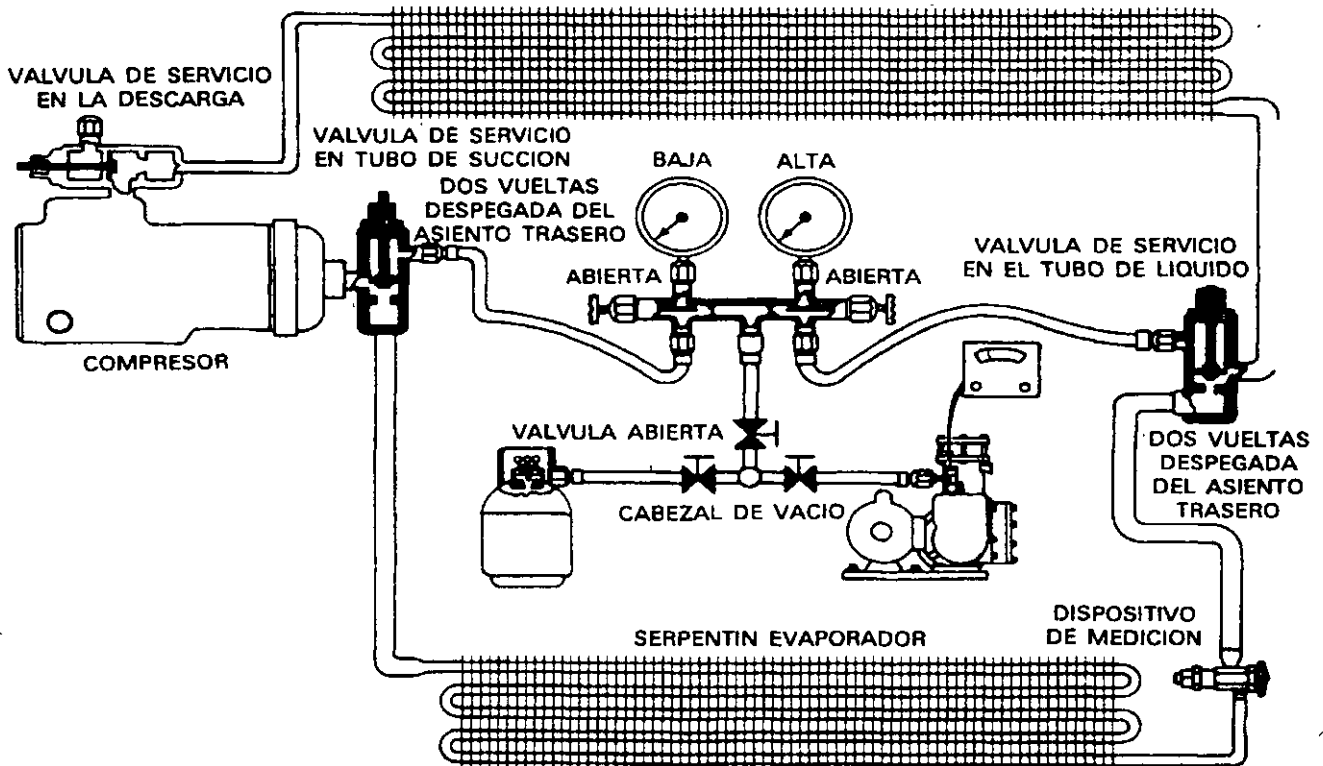


FIGURA R22-18 Dispositivo para evacuaciones con alto vacío. (Cortesía de BDP Company.)

R22-11 CARGA DEL SISTEMA

La cantidad de refrigerante que se debe poner en el sistema como carga inicial o como recarga depende del tamaño del equipo y de la cantidad de refrigerante que se debe circular. En los sistemas muy grandes se acostumbra sencillamente a pesar la carga colocando el cilindro o tambor del refrigerante en una báscula adecuada y observando la reducción de su peso. Este método es bueno para sistemas que tienen recibidores o con volumen de condensador lo suficientemente amplio para poder admitir una ligera sobrecarga.

En los sistemas más pequeños, y en especial en los que son unidades de paquete autocontenidas sin recibidores, la carga de refrigerante en el sistema, en onzas, es crítica, y no en libras. En este caso se recomienda un "cilindro cargador" como el que se ve en la figura R22-20. El refrigerante del tambor de refrigerante se pasa al cilindro de carga. El cilindro de carga tiene una báscula visible al operador, para que pueda medir con precisión la cantidad de un refrigerante determinado y compense las condiciones de temperatura y presión. Esos cilindros tienen exactitud de 1/16 de onza (7 gramos). Se pueden tener calentadores eléctricos opcionales para acelerar la operación de carga.

Cuando se tiene mucho trabajo de instalación y de servicio, muchos contratistas emplean una estación móvil de evacuación y carga, como la que muestra la figura R22-21. Tiene una bomba de vacío, un cilindro de carga, cabezal de servicio y manómetros. Los modelos más complicados también pueden tener un indicador de vacío y lugar para el cilindro de refrigerante



FIGURA R22-20 Cilindro de carga
(Cortesía de Robinar Manufacturing Corporation)

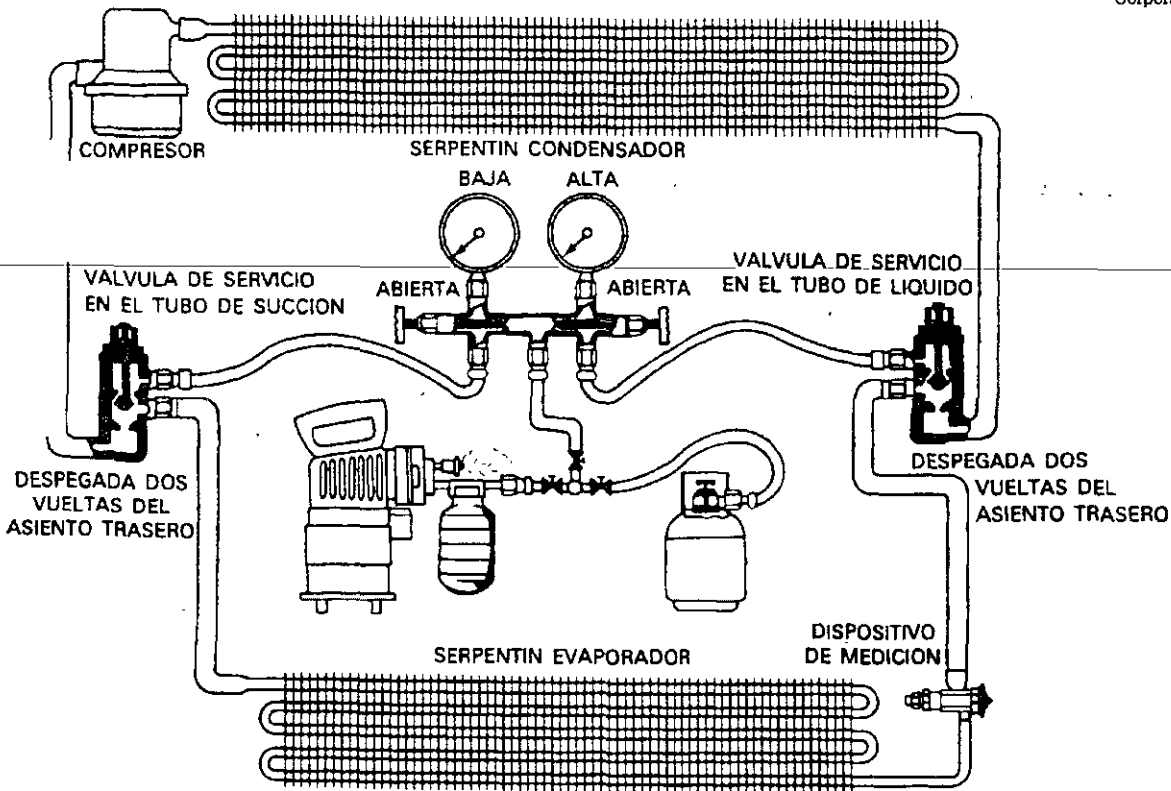


FIGURA R22-19 Dispositivo para el método de triple evacuación. (Cortesía de BDP Company.)

R22-12 TECNICAS DE CARGA

El refrigerante se puede cargar en forma tanto líquida como de vapor. Se agrega en forma de vapor, cuando la unidad está trabajando, a través de la válvula de succión. El refrigerante puede agregarse en forma líquida, cuando la unidad está apagada y evacuada, sólo por la válvula de servicio del tubo de líquido.

La figura R22-22 muestra el procedimiento de carga para carga en forma de vapor, cuando la unidad está trabajando. Por simplicidad sólo indicamos un cilindro de refrigerante y suponemos que la carga se pesa durante la operación

1. Instale el cabezal de manómetros.
2. Conecte el cilindro de refrigerante a la manguera de la conexión central y abra la válvula del lado de baja del múltiple.
3. Coloque el cilindro en posición vertical
4. Abra la válvula de servicio de succión a dos vueltas del asiento trasero.
5. Abra la válvula del cilindro del refrigerante y vea que salga el peso correcto de la carga.
6. Cuando haya agregado la carga correcta, cierre la válvula del cabezal de vacío del lado de baja y la del cilindro de refrigerante.
7. Regrese las válvulas de servicio en el tubo de succión y en el de líquido a su asiento trasero. Quite las mangueras y tape las conexiones.

El procedimiento de carga en forma líquida, cuando la unidad no trabaja y está evacuada, se detalla a continuación y se muestra en la figura R22-23.

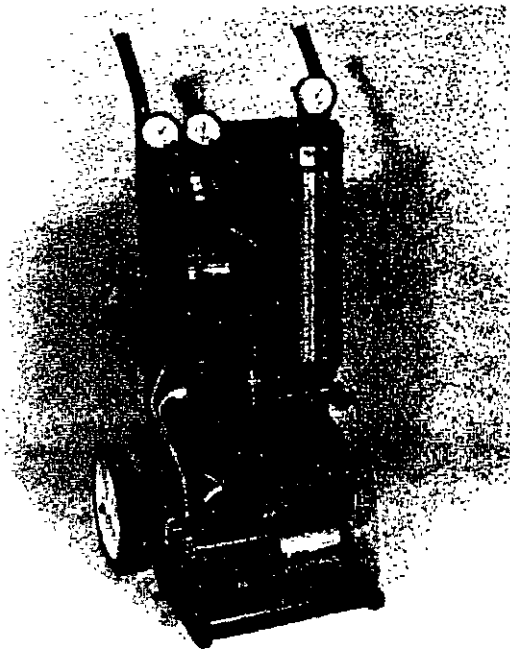


FIGURA R22-21 Estación móvil para vacío y carga. (Cortesía de Robnar Manufacturing Corporation.)

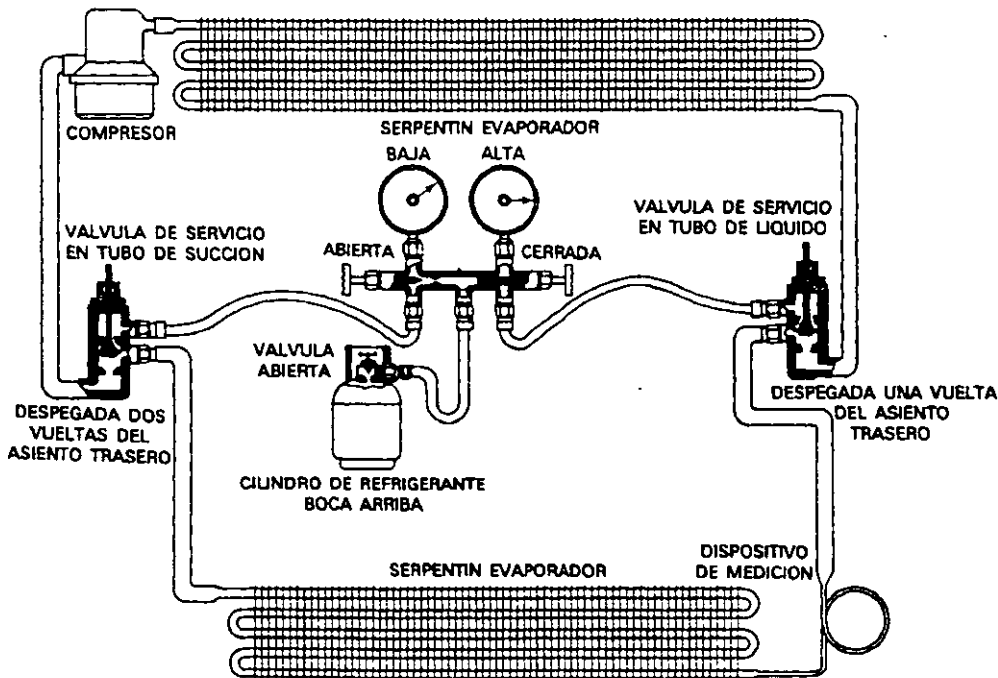


FIGURA R22-22 Dispositivo para carga de refrigerante en estado de vapor. (Cortesía de Imperial Eastman)

7. Quite el múltiple de manómetros.

En las dos descripciones anteriores se recomienda el uso de un cilindro de carga en los sistemas de menor tamaño, con carga crítica, los que requieren más exactitud.

1. Instale el múltiple de manómetros.
2. Conecte el cilindro del refrigerante. Inviértalo hacia abajo, a menos que tenga una válvula de líquido, que permita sacar líquido cuando su posición es boca arriba.
3. Abra las válvulas de servicio en la succión y en el tubo de líquido hasta una vuelta de distancia del asiento trasero.
4. Abra la válvula del lado de alta del cabezal de manómetros.
5. Abra la válvula del cilindro de refrigerante y agregue refrigerante.
6. Después de haber introducido la carga correcta, cierre la válvula del lado de alta del cabezal de manómetros y cierre la del cilindro de refrigerante. Cierre las válvulas de servicio de succión y de líquido contra su asiento trasero.

R22-13 COMPROBACION DE LA CARGA

Otra función de los manómetros del cabezal de servicio es la comprobación de la carga de una instalación nueva o una unidad existente. Por ejemplo, se efectúa el siguiente procedimiento para una unidad enfriada por aire.

1. Instale el múltiple de manómetros.
2. Permita que el sistema trabaje hasta que se estabilicen las indicaciones de los manómetros, lo cual tarda unos 15 minutos.
3. Cuando esté trabajando la unidad, anote la siguiente información:
 - a. Indicación del manómetro de alta presión.
 - b. Temperatura de bulbo seco del aire que entra al serpentín del condensador
 - c. Temperatura de bulbo húmedo del aire que entra al serpentín evaporador. Esto se hace con termómetro de mecha húmeda.
4. Al comparar las indicaciones anteriores con la tabla de presiones diferenciales de carga que se suministra con la unidad, se sabrá si el sistema tiene carga correcta y trabaja bien.

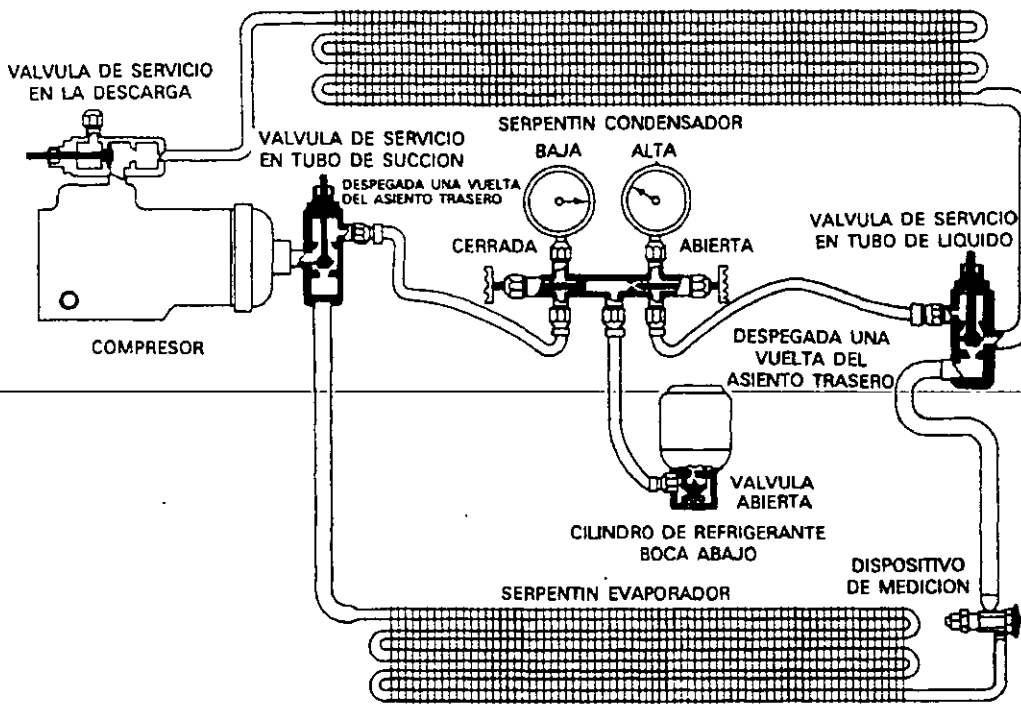


FIGURA R22-23 Dispositivo para carga de refrigerante en estado líquido. (Cortesía de Imperial Eastman.)

El equipo de medición y pruebas para refrigeración, y su empleo correcto como se describió arriba, son las herramientas más fundamentales para servicio de campo e instalaciones. Con la experiencia, o por necesidad, se puede complementar con otros aparatos para mejorar las posibilidades o ahorrar tiempo.

PROBLEMAS

- R22-1. Dar el nombre de dos termómetros de bolsillo que emplean frecuentemente los técnicos en refrigeración.
- R22-2. El sensor del termómetro electrónico emplea el elemento de _____ para registrar cambios de temperatura.
- R22-3. Un manómetro compuesto mide presiones _____ y _____ que la presión atmosférica.
- R22-4. Las escalas de los manómetros, especiales para refrigerantes, indican la _____ del refrigerante en cuestión.
- R22-5. El aparato que tiene un manómetro de presión y una válvula de servicio se llama _____.
- R22-6. La válvula extrema de un cabezal de manómetros cierra el paso entre el manómetro y su manguera de conexión. ¿Cierto o falso?
- R22-7. A la eliminación de contaminantes de los sistemas se e llama _____.
- R22-8. El acto de sacar los contaminantes de cada manguera del cabezal no debe durar más de _____ segundos.
- R22-9. El empleo de oxígeno en pruebas de presión para detección de escapes podría provocar una _____.
- R22-10. Dar el nombre de los dos métodos de evacuación.
- R22-11. Una micra es igual a _____ de pulgada.
- R22-12. Para evacuar con cualquiera de los métodos se recomienda una bomba capaz de alcanzar _____ micras.
- R22-13. La evacuación triple necesita del empleo de un medidor electrónico para alto vacío. ¿Cierto o falso?
- R22-14. Lo que se usa para cargar un sistema en forma crítica o precisa se llama _____.
- R22-15. Para cargar refrigerante al lado de succión del sistema, el refrigerante siempre debe estar en estado _____.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

INSTALACIÓN Y ARRANQUE

**EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA**

R23-1 GENERALIDADES

La importancia de esta fase en la aplicación exitosa de un sistema de refrigeración no puede ser sobreenfatizada. No importa qué tan bien ha sido diseñado y fabricado el equipo, o qué tan bien planearon los ingenieros el sistema, una instalación inapropiada puede fácilmente arruinar el mejor sistema.

Una buena instalación requiere algo más que habilidades técnicas o mecánicas; requiere integridad personal, para efectuar el mejor trabajo posible para el usuario y el desarrollo de una actitud llamada "orgullo en el trabajo". En otras palabras demanda profesionalidad.

La instalación de un equipo depende, por supuesto, del tipo de producto y el sistema en cuestión. Las instrucciones del fabricante prescriben los procedimientos específicos, que deben seguirse, pero hay algunos factores que son comunes a casi cualquier situación.

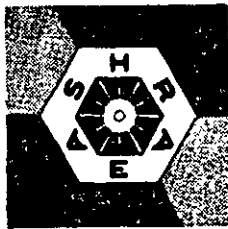


FIGURA R23-1

a normas reconocidas.

R23-2 CODIGOS, ORDENANZAS Y NORMAS

En las discusiones iniciales ocasionalmente nos hemos referido a cumplimiento de "códigos y regulaciones nacionales o locales". Esto, realmente tiene varios significados. Algunos códigos o normas se relacionan con el diseño y comportamiento del producto, con su aplicación o consideraciones de seguridad. Otros códigos se dirigen a las fases de instalación. Las normas nacionales más importantes para los productos de refrigeración son establecidas por las siguientes organizaciones (figura R23-1).

R23-3 ARI

El ARI (Air-Conditioning and Refrigeration Institute), tiene sus oficinas en Arlington, Virginia. Como se mencionó en la introducción de este texto, el ARI es una asociación de productores de equipo de refrigeración y aire acondicionado. Aunque es un centro de relaciones públicas y de información para datos de industria, una de las funciones del instituto es la de establecer las normas de los productos o su aplicación. En algunos casos, los productos se someten a prueba y están sujetos a certificaciones y listados en directorios publicados nacionalmente. Se trata de proveer al usuario con equipo que se ajuste

R23-4 ASHRAE

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers), es una organización que empezó en 1904 como la American Society of Refrigeration Engineers, con unos 70 miembros. Hoy tiene miles de ingenieros y técnicos de todas las fases de la industria. ASHRAE, también crea normas de equipos para la industria, pero su contribución más importante ha sido la publicación de una serie de libros que han venido a ser las biblias de referencia de la industria. Esto incluye: *Guide and Data Books for Equipment, Fundamentals, Applications, and Systems*.

R23-5 ASME

ASME (American Society of Mechanical Engineers) trata primariamente con códigos y normas relacionados con los aspectos de seguridad de los recipientes a presión.

R23-6 UL

UL (Underwriters Laboratories), es una agencia de prueba y códigos la cual trata principalmente con los aspectos de seguridad de los productos eléctricos, aunque su alcance algunas veces incluya también una revisión total del producto. Es muy familiar el sello UL en las aplicaciones domésticas (planchas, tostadores, etc.), pero también

aprueba equipo de refrigeración y aire acondicionado. Su actividad se ha expandido ahora a las grandes máquinas de refrigeración centrífugas.

La aprobación UL para ciertos tipos de productos de refrigeración y aire acondicionado, es casi obligatoria para que sean aceptados localmente por los inspectores eléctricos. Cumplir con UL es responsabilidad del productor y los productos aprobados son listados en un directorio enviado a todas las agencias locales. La instalación de acuerdo con las normas aprobadas es responsabilidad del instalador y la violación de estas normas puede obviamente causar un riesgo en la seguridad o anular el cubrimiento del seguro del usuario, en caso de fuego. Así que una regla primordial en los procedimientos de instalación es: *ajústese a las normas UL aprobadas.*

R23-7 NFPA

Estrechamente relacionado con el trabajo de UL en términos de seguridad eléctrica está el *National Electrical*

Code ® (figura R23-2), auspiciado por el NFPA (National Fire Protection Association). El código original fue desarrollado en 1897 como un esfuerzo unido de varios intereses: seguros, eléctricos, arquitectónicos. Aunque se llama el National Electrical Code, su intención es lograr la aplicación e instalación apropiada de los aparatos eléctricos. Es el apoyo de la mayoría de los códigos y ordenanzas estatales o locales, así que la regla número 2 en la instalación es: *obtener una copia del National Electrical Code Book y familiarizarse completamente con su alcance y dónde encontrar cualquier información que contenga.*

Hay otras agencias nacionales envueltas en la industria y sus nombres y actividades serán aprendidas a través de la exposición y experiencia.

Cumplir con los códigos locales es la segunda fase de proveer una buena instalación. La mayoría de los estados y ciudades tienen o están en el proceso de adoptar códigos locales, los cuales están basados en lo sugerido en los códigos nacionales y también suplementados por interpretación local. Se dividen usualmente en 1) eléctricos, plomería y refrigeración y 3) otros códigos, tales como control de sonido. Familiarizarse con los requisitos es importante para minimizar las violaciones y los cambios. Las correcciones son usualmente caras y son responsabilidad del instalador.

Los códigos locales, ordenanzas o regulaciones no siempre son administradas por agencias civiles, sino que pueden representar situaciones especiales tales como restricciones de las compañías de potencia. Así, la regla número 3 de suministrar una buena instalación es: *familiarizarse con todos los códigos y regulaciones locales aplicables. Si no está seguro, consulte. No espere a que el inspector coloque tarjeta roja en la instalación.*

¡Recuerde! Las *normas* sirven como guía para mejorar el comportamiento y confiabilidad de un sistema, pero los *códigos y ordenanzas* son reglas obligatorias que deben ser cumplidas.

R23-8 COLOCACION DEL EQUIPO

A pesar de que parece haber muchas posibilidades al posicionar los mayores componentes del ciclo, durante cualquier instalación, deben considerarse tres factores en la ubicación del equipo. Primero, cuando se instala equipo con condensación por aire, debe suministrarse amplio espacio para circulación del aire. Segundo, todos los componentes mayores deben instalarse de tal modo que pueda fácilmente dárseles mantenimiento. Cuando un conjunto no es accesible fácilmente para mantenimiento, el costo de éste es excesivo. Tercero, siempre debe considerarse el aislamiento de la vibración, no sólo del equipo en sí mismo, sino también con relación a la tubería de interconexión y la ductería. Cuando se selecciona la posición de los mayores componentes de un sistema de refrigeración, estos factores deben considerarse para asegurar una instalación satisfactoria con operación apropiada. Deben seguirse todas las recomendaciones suministradas por el fabricante, en lo referente a espacio.

La figura R23-3 muestra una unidad condensadora apropiadamente colocada. Aunque la unidad ha sido instalada en un rincón interior, se ha dejado suficiente espacio para el paso del aire.

El ruido es también factor importante en la colocación del equipo condensado por aire. El ruido generado dentro de la unidad será llevado por el aire en la descarga. Es práctica inadecuada "apuntar" la descarga del aire en una dirección en donde el ruido pueda perturbar, tal como las oficinas

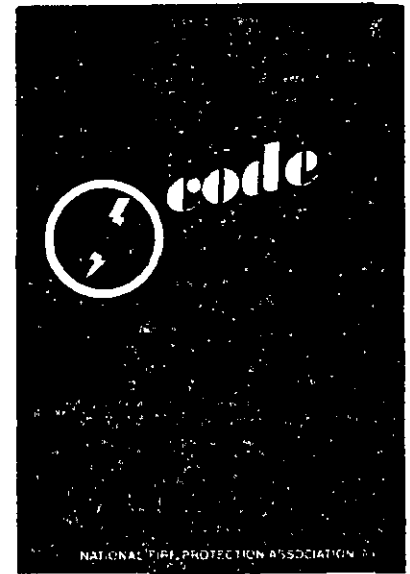


FIGURA R23-2 (Cortesía de NFPA).

Cuando se posicionan los mayores componentes del sistema, debe tenerse cuidado de asegurar accesibilidad de mantenimiento. La figura R23-4 es un ejemplo de un error común. Un condensador enfriado por agua, de carcasa y tubo, ha sido colocado en tal posición que toda la unidad condensadora debe ser movida para remplazar un solo tubo del condensador. Así, asegúrese de dejar espacio para remplazar ítems como el compresor, motores de ventilador, ventiladores y filtros. Los altos costos de mantenimiento se atribuyen a menudo a la colocación inadecuada de los componentes del sistema.

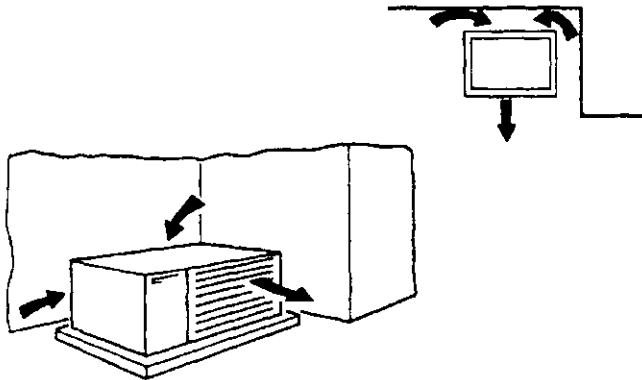


FIGURA R23-3 Movimiento de aire. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

vibración en su fuente, el aislamiento respecto a vibración en el compresor, es esencial durante la instalación. Un método de minimizar la vibración del compresor en la fuente es atornillar el compresor firmemente a una base sólida. Un ejemplo de esto es el uso de pernos empotrados en el concreto. Se colocan las anclas al colar el concreto y el compresor o la unidad de condensación se atornilla firmemente a la base, como se ve en la figura R23-5.

Cuando el compresor o la unidad condensadora debe instalarse en el techo o en los pisos superiores de un edificio, deben usarse aisladores de vibración como los mostrados en el extremo superior derecho de la figura R23-5. Este tipo de aislador, usualmente se consigue con el fabricante de la unidad y es en muchos casos, equipo estándar.

Una base especialmente diseñada para amortiguar vibraciones, se muestra en el extremo inferior izquierdo en la figura R23-5. Este tipo de material se diseña para amortiguar la vibración de una cantidad dada de peso por pulg² de área.

Como la cantidad y tipo de este material puede seleccionarse apropiadamente sólo cuando se tienen en cuenta el peso y la frecuencia de la vibración, debe consultarse a un ingeniero competente.

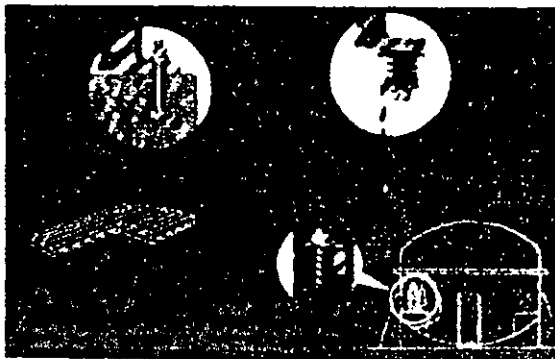


FIGURA R23-5 Aislamiento de vibración en el compresor (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

bases diferentes, pero bastante cercanas entre sí.

Cuando se instalan los mayores componentes del sistema es importante controlar las vibraciones provenientes de equipo de gira, tal como los compresores, ventiladores y motores. Estas vibraciones pueden romper las líneas de refrigerante, causar daño estructural al edificio y crear ruido.

Se requiere aislamiento de la vibración en todos los equipos de refrigeración y aire acondicionado en donde el ruido o la vibración pueda perturbar. Casi todos los productores usan alguna forma de aislamiento de la vibración, en su construcción. Esto es generalmente suficiente para la instalación promedio, sin embargo, circunstancias no usuales pueden requerir otras medidas correctivas

El compresor es considerado la mayor fuente de vibración del sistema. Ya que es buena práctica aislar la

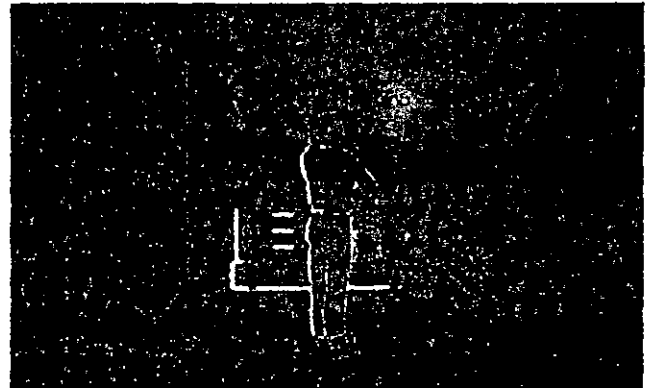


FIGURA R23-4 Accesibilidad para mantenimiento. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

Un método final de aislamiento de vibración, usado en pequeños compresores herméticos, es el mostrado en el extremo inferior derecho en la figura R23-5. En este caso el compresor es montado sobre resorte dentro de la carcasa hermética.

La figura R23-6 ilustra un aislador de vibración que se inserta en la línea de descarga. Este aislador se diseña para absorber las pulsaciones de la descarga del compresor, antes de que genere ruido o rompa las líneas de refrigerante. El aislador se compone de un material flexible recubierto y mantenido en su lugar por una malla metálica. La malla permite algún movimiento lineal del material flexible pero no expansión. Este tipo de aislador, se coloca normalmente en la línea de descarga del compresor, tan cerca a éste como sea práctico. Es particularmente efectivo en instalaciones en donde el compresor y el condensador están en

El eliminador debe colocarse en la línea de tal manera que el movimiento que absorbe esté en un plano en ángulo recto al aparato. No lo coloque en donde pueda recibir tensión, pues su vida útil se acortará.

Algunos componentes del sistema, tales como el evaporador, pueden suspenderse del cielo raso. Como las unidades manejadoras de aire generalmente contienen un motor ventilador, son una posible fuente de vibración. La mayoría de los fabricantes aíslan el ventilador y el motor dentro de la unidad con cauchos. Si esto suministra suficiente aislamiento a la vibración, la unidad puede colocarse directamente al cielo raso, como se muestra en la figura R23-7. Cuando se requiere más aislamiento, este método usado en compresores es efectivo. Se puede soportar también la unidad manejadora de aire, sobre resortes para mayor aislamiento.



FIGURA R23-6 Aislamiento de vibración en la línea de descarga (Cortesía de Anaconda Metal Hose.)

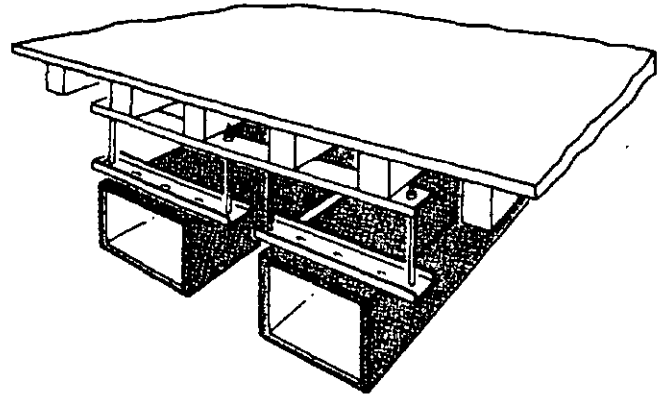


FIGURA R23-7 Aislamiento de vibración en evaporadores. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company)

Además de la localización de los mayores componentes del sistema, la mayoría de las instalaciones de refrigeración tienen tres fases importantes. Estas son:

1. Erección de la tubería (refrigerante y agua).
2. Conexiones eléctricas.
3. Erección de la ductería.

La erección de la tubería de refrigerante es una responsabilidad primaria del instalador de refrigeración, además de la colocación de los mayores componentes del sistema.

Aunque no siempre es responsabilidad del instalador de refrigeración, el trabajo eléctrico y de ductería son parte de la mayoría de las instalaciones. El instalador debe estar familiarizado con las técnicas correctas de instalación eléctrica y de ductos, porque con mucha frecuencia, en especial en equipos pequeños, se le llama para hacer el cableado eléctrico y hacer conexiones a la ductería.

El arte de hacer conexiones acampanadas o soldadas en la tubería de cobre ya se discutió, así como los procedimientos para dimensionar líneas, instalar trampas, etc., pero varios puntos importantes deben recordarse al montar la tubería.

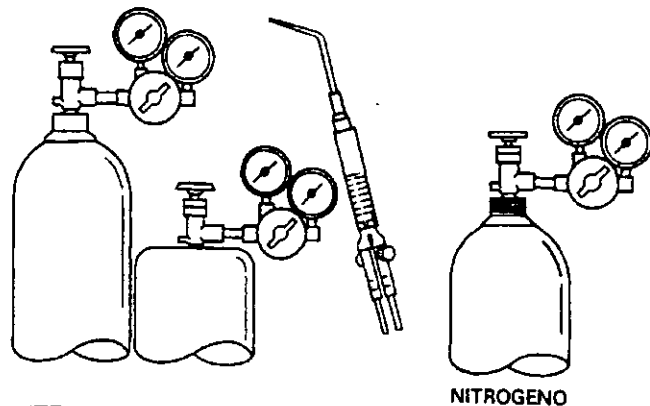


FIGURA R23-8 Equipo de soldadura. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

Cuando la tubería dura de cobre es la seleccionada para la tubería de refrigeración, se recomienda usar soldadura de aleación de plata de baja temperatura. Estas aleaciones tienen puntos de fluencia de 1,100 a 1,300 T.

Para obtener estas temperaturas, se requiere un equipo oxiacetilénico. La figura R23-8 muestra el equipo necesario para este tipo de soldadura. Se necesitan tanques de oxígeno y acetileno con manómetros y válvulas reductoras. A la derecha está la botella de nitrógeno seco también equipada con manómetros y válvulas reductoras. Se recomienda el uso de nitrógeno, pues sirve para mantener el interior del tubo limpio durante el proceso de soldadura. Durante la soldadura de baja temperatura, la superficie de cobre alcanzará una temperatura a la cual el metal reacciona con el oxígeno del aire para formar un óxido de cobre. Si esto se forma en la superficie interior del tubo

puede ser lavado por el refrigerante y se hace circular en el sistema. Este óxido puede taponar los filtros o tubos capilares dañando los orificios.

Este óxido puede evitarse remplazando el aire en la tubería por nitrógeno. Como el nitrógeno es un gas inerte y no cambia con el cobre aun bajo altas temperaturas, el interior del tubo permanecerá limpio durante la soldadura y no se formará óxido, aunque puede ocurrir decoloración con el sobrecalentamiento.

La figura R23-9 muestra un método para introducir el nitrógeno a la tubería de refrigerante, durante la aplicación de la soldadura. En vez de conectar la línea de líquido a la válvula "rey" o válvula de parada en la línea de líquido, conéctela directamente a la botella de nitrógeno, como se muestra. Con el uso de una válvula reductora en la botella de nitrógeno, se admite una ligera presión a la tubería. Esta es suficiente para asegurar que el aire sea evacuado de la tubería. Como se muestra en el inserto, es suficiente si el flujo de nitrógeno puede sentirse en la palma de la mano. Esta presión de nitrógeno, es mantenida en la tubería durante la operación de soldadura, asegurando así que se mantiene libre de oxígeno.

Una tubería limpia es esencial en la instalación de refrigeración y por consiguiente, el nitrógeno es una parte extremadamente importante de la operación de soldadura, asegurando así que se mantiene libre de óxido.

Las altas temperaturas durante las operaciones de soldadura pueden deformar los metales y quemar o distorsionar los asientos plásticos de las válvulas. Es importante que el calor de la soldadura no alcance los componentes plásticos o metálicos, que puedan ser dañados. La figura R23-10 muestra los resultados de daños por el calor de soldadura y también un método de protección. La válvula en el extremo superior izquierdo no fue protegida contra el calor; el asiento plástico fue dañado. También el soporte del asiento se deformó, como se muestra en el inserto. Esta válvula obviamente no operará apropiadamente y requiere reemplazo inmediato. Sin embargo la válvula en el extremo inferior derecho tiene un paño húmedo alrededor del cuerpo. Esto absorbe el calor que fluye al cuerpo de la válvula durante la soldadura. Manteniendo húmedo el paño, se protege la válvula y sus componentes.

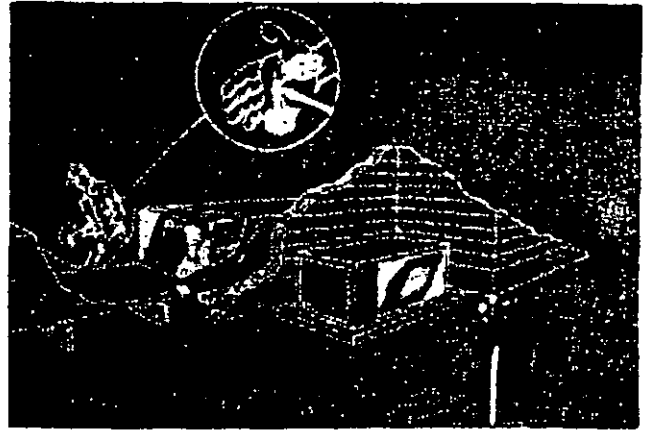


FIGURA R23-9 Soldando con nitrógeno. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

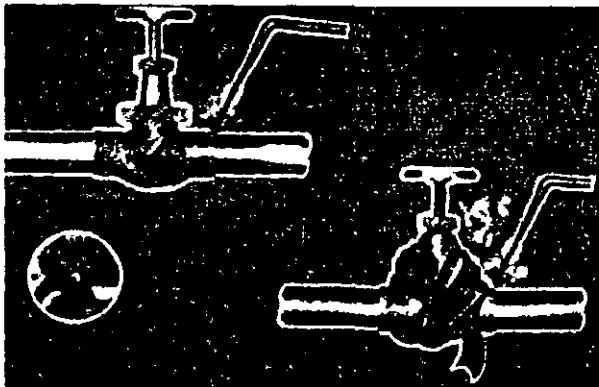


FIGURA R23-10 Protección contra el calor. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

produciendo así condensación bajo el aislamiento.

Hay disponibles muchos tipos de aislamientos; algunos son diseñados para usos específicos. El aislamiento para una instalación específica de refrigeración debe ser escogido por un técnico competente.

El propósito primario de los soportes de tubería, es mantenerla en su lugar pero también puede servir como aislador de vibración. Si los problemas de vibración no son graves, pueden usarse prácticas comunes de plomería, tales como las mostradas en la figura R23-1 1. El único propósito de este soporte es sujetar firmemente la tubería.

El soporte mostrado a la izquierda, tiene un ajuste en altura. Esto permite al instalador elevar o inclinar la tubería, según se requiera para el flujo de aceite. Este tipo de soporte puede usarse con o sin aislante.

A la derecha en la figura R23-1 1 se muestra un soporte típico que puede encontrarse en una instalación comercial pequeña de refrigeración. Servirá además como aislador de vibración. Este ejemplo se usa en una línea aislada. Un pedazo corto de metal de bajo calibre, a prueba de óxido, ha sido enrollado sobre la tubería aislada. Una lámina metálica ha sido adherida a este trozo de metal. El extremo libre de la lámina se asegura luego a la viga o cielo raso.

El aislamiento en tal soporte actúa como el aislador de vibración. El propósito del pedazo corto de metal es evitar que la lámina delgada corte el aislamiento.

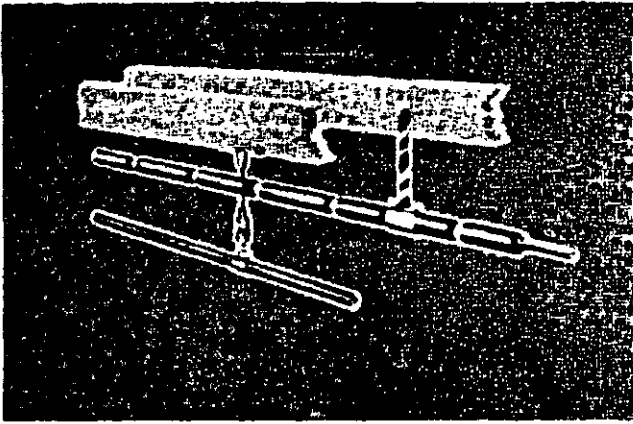


FIGURA R23-11 Soportes de tubería (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

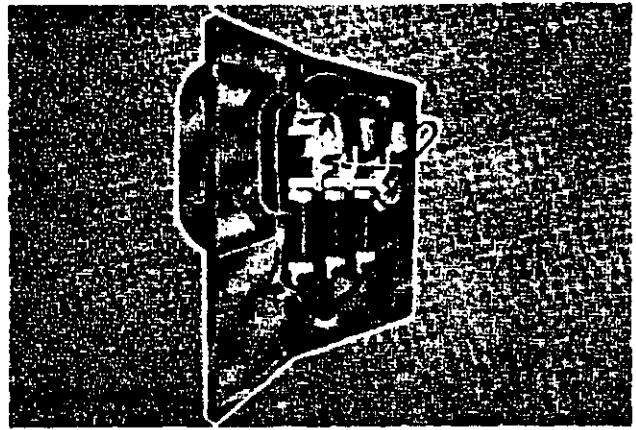


FIGURA R23-12 Interruptor de fusibles (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

El técnico de servicio, es a veces responsable de las conexiones eléctricas finales entre la unidad instalada y el interruptor de fusibles mostrados en la figura R23-12. Toda la potencia eléctrica debe pasar a través de este interruptor. Cuando éste es halado o abierto, toda potencia eléctrica que vaya a la unidad debe ser desconectada. Este mismo interruptor también contiene fusibles, los cuales impiden el flujo de corriente, siempre que ocurra una sobrecarga eléctrica severa. Este mecanismo es una protección contra fuegos y explosiones y contra choques eléctricos a la gente.

Los códigos eléctricos, nacionales y locales, están hechos para proteger propiedades y vidas; siempre deben ser seguidos. Todas las instalaciones de refrigeración que tienen conexiones eléctricas, están gobernadas por códigos eléctricos nacionales y locales. Por ejemplo, los códigos eléctricos requieren que el interruptor de fusibles, como lo muestra la figura R23-12, siempre se coloque a la vista de la unidad, que recibe la potencia a través del interruptor.

Cuando los circuitos eléctricos deben ser conectados por el instalador de refrigeración, deben seguirse técnicas apropiadas para asegurar buenos contactos eléctricos y se deben hacer todos los esfuerzos necesarios para asegurar buenos contactos eléctricos. Se recomiendan conectores de presión.

Cuando se utiliza cable eléctrico, un solo alambre puede separarse y crear un riesgo potencial. Los alambres flojos pueden hacer contacto con otros alambres o "aterrizarse", causando problemas eléctricos. El cable trenzado debe cortarse a la longitud requerida y asegurarse sus extremos con soldadura suave. Esto asegura buen contacto y elimina el riesgo de separación de alambres.

El instalador del sistema de refrigeración con frecuencia debe hacer la conexión final entre el evaporador o unidad manejadora de aire y el ducto (figura R23-13). Esta conexión final es con lona, que elimina cualquier paso de vibración de la unidad de manejo de aire a la ductería. Debe usarse lona a prueba de agua y asegurar un buen sellado. Si, como se muestra en la ilustración en el extremo superior izquierdo, es demasiado flojo, caerá en la corriente de aire y obstruirá este flujo normal. También puede ondular y causar ruido. Si está demasiado tenso, se estirará, endurecerá y desintegrará con el tiempo, produciendo fugas. Si la lona está húmeda y se instala muy tensa, el ducto puede quedar fuera de alineamiento. El centro de la figura R23-13 muestra la aplicación adecuada: la lona está suficientemente floja para absorber vibraciones pero no tanto que interfiera el flujo de aire.

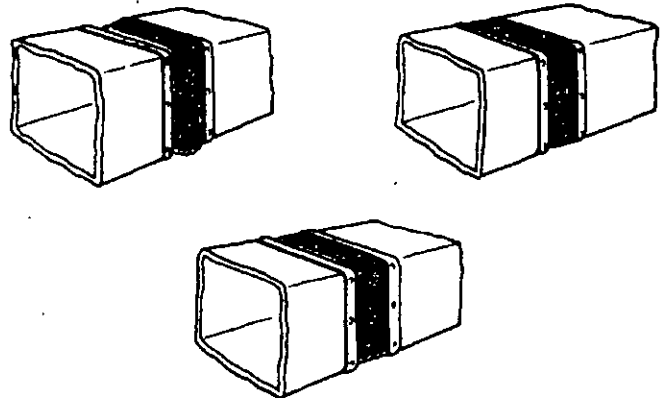


FIGURA R23-13 Conexión de ductos con lona. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company)

Cuando el sistema de refrigeración ha sido completamente montado y completadas todas las conexiones eléctricas y de ductos, hay aún varios pasos importantes que deben tenerse en cuenta antes de arrancar el equipo.

La unidad debe ser verificada para evitar fugas y debe cargarse; todas las correas deben ser chequeadas en tensión y alineamiento. Deben probarse los motores eléctricos en cuanto a la dirección de rotación y deben ser lubricados los cojinetes. Debe tenerse certeza de que se aplicará a la unidad la potencia eléctrica correcta. Ninguno de estos pasos es demorado o difícil de cumplir, son extremadamente importantes y no pueden suprimirse. La dirección de fugas de los hidrocarburos halogenados generalmente se hace usando el soplete halógeno o los detectores electrónicos de fuga.

Después de que toda la tubería ha sido montada, algo de refrigerante se introduce al sistema como un gas. Aunque una prueba de fuga ya debería haberse hecho en este tiempo, algunos refrigerantes no ejercen suficiente

presión a temperatura ambiente, para asegurar resultados confiables. Al usar nitrógeno, la presión en el sistema puede ser llevada aproximadamente a 250 psig, a la cual puede hacerse una nueva prueba de fuga (figura R23-14). La mezcla de refrigerante y nitrógeno dentro de la unidad, causará una reacción en el detector si se presenta una fuga. Ya que el nitrógeno es un gas inerte, el sistema debe ser purgado con gas refrigerante después de que esté libre de fugas.

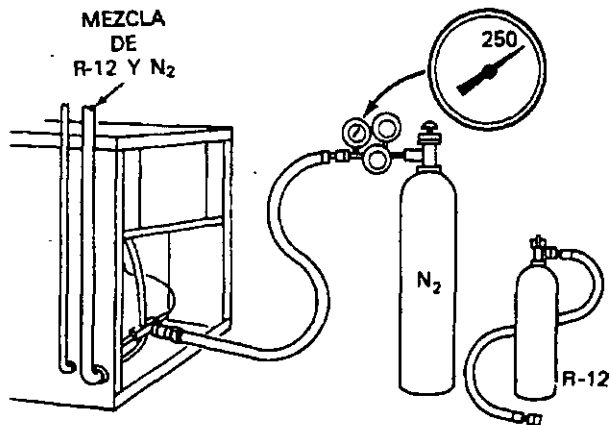


FIGURA R23-14 Prueba de fuga. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

A continuación de la prueba de fugas, el sistema está listo para carga o deshidratación. En un sistema pequeño que opera a temperaturas medias en el evaporador, no se requiere procesos complejos de deshidratación, una simple purga con gas refrigerante será suficiente. Si alguna humedad ha entrado al sistema se mostrará en el indicador de humedad descrito anteriormente. Un programa de reemplazo del secador debe iniciarse y continuarse hasta que el sistema esté seco.

Si hay humedad en el sistema o si el sistema se diseña para aplicación a baja temperatura, se recomienda deshidratación por evacuación. Cuando haya duda, deshidrate. La deshidratación por evacuación se logra con el uso de una bomba de vacío, como se detalla en el Capítulo 22.

R23-9 CARGA DEL SISTEMA

El sistema puede ser cargado con refrigerante en su estado normal, como líquido o como gas. Aunque numerosos factores pueden afectar el método de carga, el más importante es la cantidad de refrigerante envuelto.

Relativamente hablando, la mayoría de los recipientes de refrigerante, independientemente de su tamaño, tienen una salida pequeña. En unidades pequeñas debe pasar suficiente gas a través de esta salida, para completar la carga total en un tiempo razonable. En las grandes unidades, sin embargo, el tiempo requerido para que la cantidad apropiada de vapor pase a través de la pequeña salida puede ser tan grande que la carga de gas es impráctica. Cuando éste es el caso se usa una carga líquida. Por el pequeño orificio pasará un peso mucho mayor de refrigerante líquido en cualquier cantidad dada de tiempo.

El punto en el cual se introduce el refrigerante al sistema, se determina por medio de una consideración básica: si la unidad va a ser cargada con refrigerante líquido o gaseoso.

Bajo condiciones normales de carga, el cilindro de refrigerante estará a temperatura ambiente y a la presión correspondiente. Como la mayoría de cargas de refrigerante se hacen con la unidad en operación, la presión en el cilindro refrigerante estará usualmente bajo la presión en el condensador y sobre la contrapresión en el evaporador.

El orificio del aparato de medición no es lo suficientemente grande para hacer práctica la carga de gas en el lado de alta de aparato, a causa del tiempo consumido; por consiguiente el gas normalmente se carga en el sistema después del aparato de medición. Esta carga puede hacerse en cualquier punto adecuado entre el aparato de medición y el compresor.

Si el refrigerante debe cargarse como líquido, la carga debe hacerse antes del aparato de medición para proteger el compresor de daño debido a inundación con líquido.

Con sistemas de tipo abierto y semiherméticos, que son lo suficientemente pequeños para hacer práctica la carga con gas, o donde sólo se requiere una pequeña cantidad de refrigerante la carga usualmente se hace a través de la válvula de servicio en la succión, sobre el compresor. Ya que los sistemas herméticos son por lo general lo suficientemente pequeños para que la carga de gas sea práctica, se tienen tomas disponibles para este propósito en el compresor. Estas tomas están conectadas en la succión del compresor y están diseñadas para permitir que el compresor tome gas directamente del tambor de refrigerante.

La carga original en unidades de este tipo se coloca en la fábrica durante la producción, pero ocasionalmente la carga debe remplazarse en el campo. Cuando esto es necesario, las tomas pueden cortarse y se coloca una conexión sobre el tubo. Ocasionalmente, se colocan válvulas sobre las tomas. Es práctico cuando el tubo de pellizco es muy corto o no se puede alcanzar.

Hay también aparatos que se diseñan para insertarse en una línea de refrigerante, para propósitos de carga. El aparato permanece en la línea y sirve como una válvula para cargas futuras o como conexión de manómetros.

Otro aparato usado para cargar los circuitos herméticos, es la válvula tipo *neumático*. Esta válvula contiene un vástago, el cual, cuando se descomprime, abre el circuito. Un adaptador especial en la manguera de carga descomprimirá el vástago cuando la manguera se fije firmemente a la válvula. El refrigerante fluirá luego a través de la válvula al sistema. Cuando se retira la manguera de carga el vástago retorna a su posición original y sella el circuito de refrigerante. Siempre vuelva a colocar la tapa de la válvula después del servicio. Hay cuatro modos de determinar si

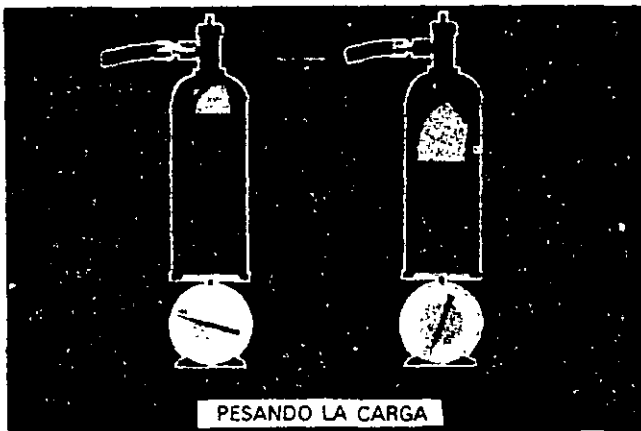


FIGURA R23-15 Pesando la carga. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company)

Para cargar correctamente con el método de la mirilla, el refrigerante se añade en la forma usual. Después de la adición de un porcentaje razonablemente grande de la carga estimada de gas o líquido, el cilindro de refrigerante se cierra y se permite que el sistema se "asiente". Cuando se han estabilizado las presiones de operación, se observa de nuevo la mirilla. Si todavía hay burbujas presentes, se añade lentamente carga, hasta que desaparezcan. Si, después de estabilizar las presiones, no hay burbujas presentes, cuando la unidad está operando bajo máximas condiciones de carga, la unidad está apropiadamente cargada.

Un método común para determinar si la cantidad de carga apropiada está siendo introducida al sistema es "pesarla". Este es el método más preciso de añadir la carga total cuando la carga requerida se conoce. El método es bastante simple como se muestra en la figura R23-15.

Con el sistema evacuado y listo para recibir el refrigerante, se pesa la botella de refrigerante. A la izquierda la báscula mide 190 lb. Si el sistema requiere una carga de 40 lb, como lo ha determinado el fabricante, se libera gas o líquido de la botella al sistema. Cuando han salido 40 lb, el peso total de la botella será: $190 - 40 = 150$ lb, como se muestra a la derecha de la figura R23-15.

Este método se usa principalmente en equipo tipo paquete y sólo cuando requiere la carga completa; el método es de poco uso cuando se requiere carga parcial. Raramente se conoce la carga exacta bajo tales condiciones.

Un tercer método de carga, el cual puede usarse con paquetes diseñados y balanceados en fábrica, es el método de la cabeza de presión. Mediante pruebas, la fábrica determina las cabezas de presión apropiadas bajo varias cargas o temperaturas en el evaporador. Esta información se suministra al instalador, en gráficas o en forma tabulada, la cual consiste en una lista de posibles presiones en el lado de baja junto con las cabezas de presión apropiadas suplidas por los datos de prueba de la unidad.

Después de cargar con una cantidad estimada por la fábrica, la unidad se opera suficiente tiempo, para permitir que las presiones se establezcan. Las lecturas de presión son tomadas y comparadas con las de la carta.

Si la cabeza de presión es menor que la de la carta, debe añadirse refrigerante. Si la presión es mayor que la indicada en la carta, debe retirarse refrigerante.

La figura R23-16 muestra cómo se usa el método de la cabeza de presión. Una carga sugerida por el fabricante ha sido introducida a la unidad. La unidad ha operado suficientemente para estabilizar las presiones y la contrapresión es de 35 psig. Este punto está en el eje horizontal en A. La carta se lee verticalmente hacia arriba hasta la intersección con la línea de temperatura exterior en B. Desde B, lea horizontalmente a la izquierda hasta el punto C. Esta es la cabeza de presión bajo la cual la unidad debe operar cuando la contrapresión sea de 35 psig. La carta muestra que este dato es 244. Si el manómetro de descarga está por debajo, deberá añadirse refrigerante, hasta que el manómetro marque 244 psig. Si el manómetro está por encima, debe retirarse refrigerante hasta bajarlo a 244 psig.

El cuarto método de carga es el de la línea congelada. Este método puede usarse solamente en sistemas herméticos pequeños que usan tubos capilares; tales sistemas no son muy comunes en el trabajo de refrigeración.

se ha introducido al sistema de calidad apropiada de refrigerante. Estos métodos son: viendo por la mirilla, cargando por presiones, pesando la carga y usando un línea helada.

Los cuatro métodos se usan extensamente en el trabajo de refrigeración comercial y la selección del método depende del tamaño y tipo del sistema en cuestión. Los métodos de "carga crítica", comunes a los sistemas pequeños de aire acondicionado residencial, *no están incluidos* son críticos hasta onzas de refrigerante.

El primer método que se va a discutir es la carga, viendo por la mirilla. En un sistema apropiadamente cargado, debe haber siempre un flujo sólido de líquido (no burbujas), al aparato de medición. Una mirilla (como se discutió previamente) indicará la presencia de gas, con las burbujas que haya en ella.

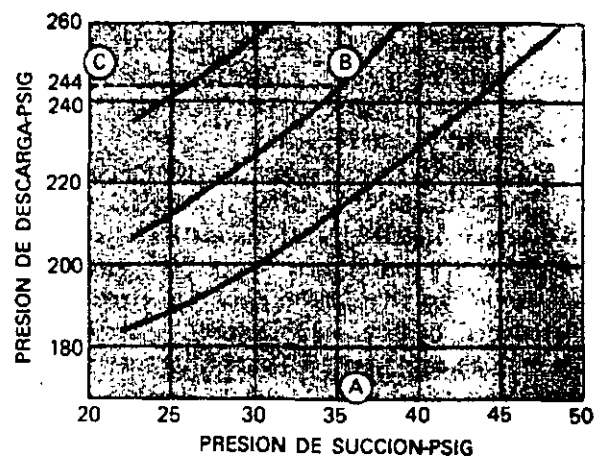


FIGURA R23-16 Carta de carga. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

comercial. Cuando un sistema de este tipo se opera sin carga en el evaporador, las presiones normalmente caerán bajo la temperatura de congelamiento y se formará escarcha sobre el serpentín.

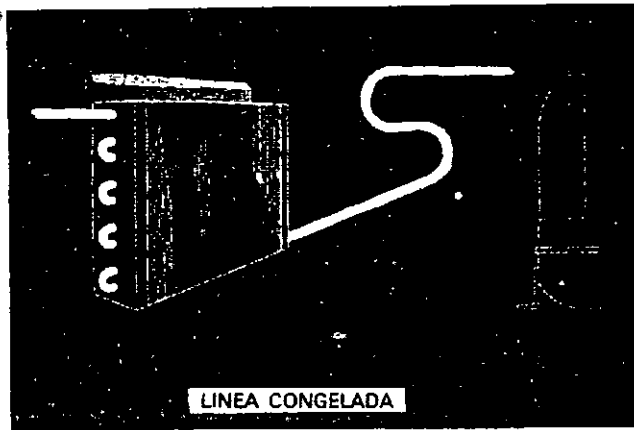


FIGURA R23-17 Línea congelada. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

En la figura R23-17 la carga en el evaporador ha sido retirada colocando un cartón sobre su cara, cortando así el flujo de aire. Puesto que la carga ha sido retirada del evaporador, el refrigerante no evaporará tan rápidamente y algo de éste pasará y evaporará en la línea de succión. Las pruebas han demostrado que en estas condiciones una unidad apropiadamente cargada por lo general se congelará hasta pocas pulgadas antes del compresor. Mediante pruebas de fábrica puede determinarse este punto final de congelamiento y se da esta información al instalador.

Variando la línea congelada en la línea de succión el instalador puede determinar la carga apropiada. Si la línea congelada no alcanza el punto establecido por las pruebas de fábrica, debe añadirse más refrigerante. Si el congelamiento va más allá del punto diseñado, debe retirarse refrigerante.

En la mayoría de los sistemas puede tolerarse algo de sobrecarga, pero la subcarga raramente es aceptable. La sobrecarga creará alta cabeza de presión y alta temperatura.

Con todos los problemas resultantes tales como sobrecarga de motor, formación de lodos y falla de la válvula del compresor. La cabeza de presión alta puede producir también un control deficiente de la carga con inundación al compresor.

Aunque el mayor problema con la subcarga es el de capacidad, puede crear condiciones de escarchamiento sobre el evaporador en equipo de refrigeración de alta temperatura y puede también causar alto supercalentamiento en el evaporador. Como muchos motores de compresores herméticos dependen del gas de succión para su enfriamiento, pueden ser dañados por el supercalentamiento.

Tanto la sobrecarga, como la subcarga deben evitarse, puesto que una u otra condición pueden producir daño o destruir los componentes del sistema.

R23-10 CARGA DE ACEITE

Hay varios modos por los cuales la cantidad apropiada de aceite se introduce al sistema. En un sistema nuevo puede pesarse como se hace con cualquier refrigerante. Las instrucciones de la instalación de la unidad incluyen los requisitos de aceite del compresor en medidas de peso o líquido. Este método se aplica después de una reparación total del compresor, cuando se ha retirado todo el aceite.

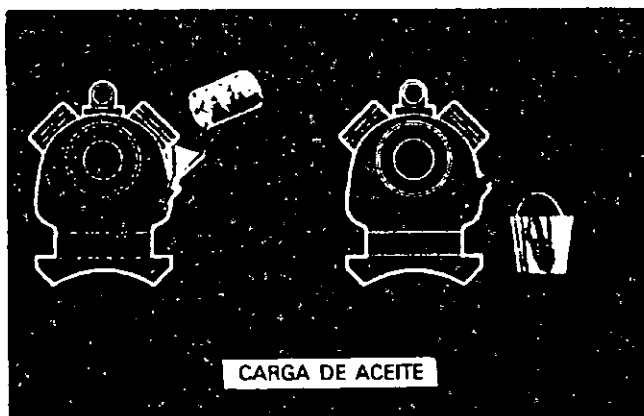


FIGURA R23-18 Carga de aceite. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

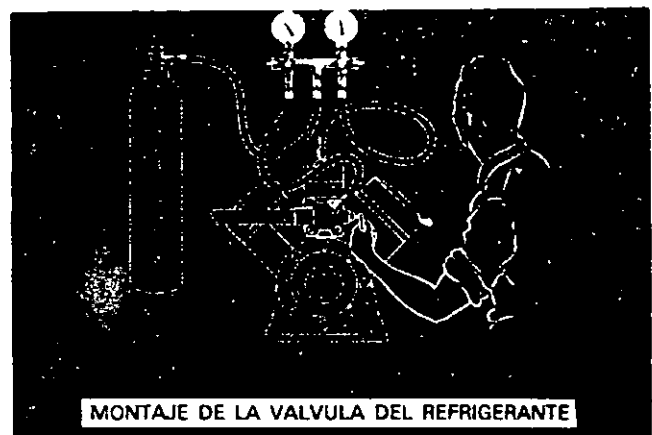


FIGURA R23-19 Montaje de la válvula del refrigerante. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

Un segundo método de determinar la carga apropiada de aceite es mediante la varilla de medición. Esta se usa primordialmente con compresores herméticos pequeños de eje vertical, pero algunos compresores de tipo abierto más grandes pueden tener aperturas diseñadas para el uso de una varilla. Las recomendaciones del fabricante sobre el nivel correcto, siempre deben seguirse.

El tercer método de llegar a una carga correcta de aceite es usando la mirilla de la carcasa del compresor. Cuando se determina la carga correcta de aceite por este método, el sistema debe operar por un periodo de tiempo bajo condiciones normales antes de la determinación final del nivel apropiado de aceite. Este procedimiento asegurará el retorno correcto a la carcasa. También permitirá que las líneas de aceite y los recipientes se llenen y, donde se utilicen hidrocarburos halogenados, darle al refrigerante una oportunidad de absorber el contenido de aceite normal de la operación.

Cuando se reemplaza un compresor, la nueva unidad debe cargarse con la misma cantidad de aceite que la vieja.

El aceite se introduce normalmente al sistema de refrigeración por dos métodos (figura R23-18). Puede ser vaciado como se muestra a la izquierda si la carcasa del compresor está a la presión atmosférica. Este método normalmente se usa antes de la deshidratación debido a que expondría el interior de la carcasa del compresor al aire y a su humedad.

A la derecha (figura R23-18) se muestra el método normalmente usado con una unidad en operación. En este caso la carcasa está bajo la presión atmosférica y el aceite es absorbido. Cuando se usa este método, el tubo, en el recipiente, no debe quedar cerca a la superficie del aceite porque puede absorberse aire. Como se ve, el tubo está muy abajo del nivel de aceite en el recipiente.

La carga de aceite en compresores herméticos soldados de reemplazo debe hacerse de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y depende de si el compresor de reemplazo ha sido despachado con o sin carga de aceite.

Hay tres precauciones que se deben tomar en la carga o remoción de aceite. El primero es usar aceite seco y limpio. Hay recipientes de aceite herméticamente sellados, los cuales deben usarse. Segundo, la presión debe controlarse cuando la carcasa se abre a la atmósfera. Demasiada presión puede forzar al aceite a que salga por las aperturas.

Tercero, debe evitarse la sobrecarga del sistema. No sólo creará la posibilidad de daño al compresor por paso de aceite, sino que también puede debilitar el comportamiento del refrigerante en el evaporador. La sobrecarga de aceite hará que el refrigerante líquido retorne al compresor desde el evaporador.

R23-11 ARRANQUE INICIAL

Debe tenerse cuidado para evitar dañar el sistema de refrigeración, durante el arranque inicial (figura R23-11). Las posiciones de las válvulas deben verificarse para asegurar que sólo las presiones apropiadas y seguras ocurran en el compresor. Las válvulas de descarga del compresor deben abrirse siempre antes del arranque. Las válvulas del lado de baja deben ajustarse de tal modo que se aseguren presiones ni excesivamente altas ni bajas en la succión del compresor. Las presiones deben ser cuidadosamente observadas y reguladas hasta que la unidad opere normalmente. Cuando se arranca un nuevo sistema, trate de mantener las presiones de operación tan cerca a las normales como sea práctico.

Cuando el equipo es conducido con correas, tanto el alineamiento como la tensión de las correas debe ser verificado antes del arranque. Las correas desalineadas se gastarán rápidamente. Las correas flojas se desgastan, golpean y a menudo patinan. Las correas demasiado tensas pueden causar desgastes excesivos de los cojinetes del motor y del ventilador. La alineación de las correas es simple de verificar; una regla recta a lo largo de la polea y el volante mostrará cualquier desalineamiento inmediatamente.

La tensión de las correas debe verificarse. Estas se alargan muy poco, por tanto debe colocarse la tensión correcta durante el arranque inicial. Esta es la que permite

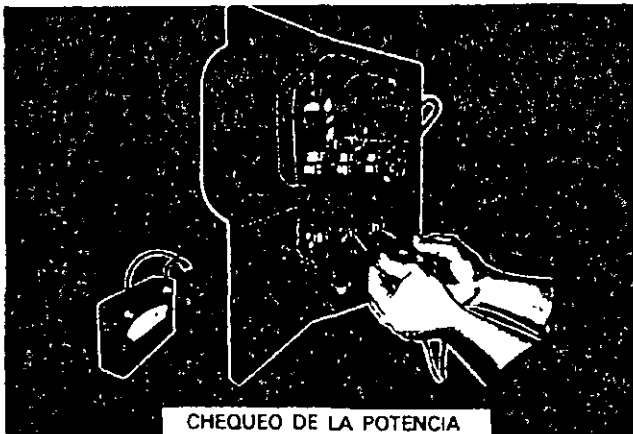


FIGURA R23-20 Chequeo de la potencia. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

una pulgada de deflexión en cada lado cuando se presiona con los dedos.

Muchas partes del equipo recién instalado requerirán mantenimiento simple antes del arranque inicial. Un buen ejemplo de este tipo de mantenimiento es la lubricación del motor. Todo motor que no esté permanentemente lubricado, debe recibir la cantidad apropiada de aceite. Las instrucciones incluidas en todo equipo indican qué mantenimiento de este tipo se requiere.

Es buena práctica verificar las placas eléctricas del motor, contra el voltaje disponible antes del arranque inicial. La figura R23-20 muestra el voltaje en el interruptor, al ser comparado con la placa del motor eléctrico. Es también buena práctica determinar si existe un desbalance en las fases antes de la conexión final.

Cuando el sistema ha sido completamente verificado en lo referente a: tubos, carga apropiada, posición de válvulas para arranque, alineamiento de correas, lubricación de motores y chequeos del alambrado, entonces puede arrancar la unidad.

Después del arranque debe comprobarse si la unidad está haciendo el trabajo para el cual fue destinada. Esto incluye determinar las características de carga eléctrica. Ninguna instalación debe considerarse completa hasta que se ha probado que puede hacer el trabajo para el cual fue diseñada.

Después de las pruebas para determinar que la unidad trabaja correctamente, debe hacerse una limpieza final, retirando el exceso de tubería, alambre, chatarra, dejando la unidad en tal condición que indique el orgullo de trabajo del instalador. El equipo debe ser una ventaja para el área en la cual se coloque.

El paso final en cualquier instalación es instruir al cliente en la operación del equipo. Hay muchas quejas de servicio a causa de la falta de entendimiento de la operación del nuevo equipo. El cliente debe ser instruido clara y concisamente de cómo el equipo opera en forma apropiada y eficiente. Los requisitos de mantenimiento deben explicarse. Incluyen cosas tales como cambios de filtro y lubricación del motor. Un cliente completamente familiarizado con la forma de operación de su equipo y con lo que debe hacer para mantenimiento, es un cliente satisfecho.

PROBLEMAS

- R23-1. El National Electrical Code Book es publicado por _____.
- R23-2. Las aprobaciones de UL no son generalmente requeridas en el equipo de refrigeración o aire acondicionado. ¿Cierto o falso?
- R23-3. ¿Cuál es la diferencia entre reglamentos y normas?
- R23-4. Al instalar equipo, el emplazamiento es importante para tener en cuenta _____.
- R23-5. La vibración del compresor es siempre tenida en cuenta por el fabricante del equipo y no requiere atención en el campo. ¿Cierto o falso?
- R23-6. El nitrógeno seco se usa en el proceso de soldadura para reducir _____.
- R23-7. Las líneas de succión que salen del área refrigerada generalmente requerirán aislamiento para eliminar _____.
- R23-8. Para evitar transmisión de vibración en los ductos metálicos se usa una conexión _____.
- R23-9. Una conexión de carga en los compresores herméticos soldados se llama _____.
- R23-10. El método de la línea congelada para la carga de refrigerante se aplica a todos los sistemas. ¿Cierto o falso?
- R23-11. El método de la cabeza de presión para la carga de refrigerante puede usarse independientemente de la temperatura ambiente exterior. ¿Cierto o falso?
- R23-12. ¿Cuál es el método más exacto para cargar refrigerante al sistema?
- R23-13. ¿Qué es más crítico, sobrecarga o subcarga de refrigerante?
- R23-14. Verificar el nivel de aceite por el método de la mirilla no requiere que el compresor sea operado antes. ¿Cierto o falso?
- R23-15. La sobrecarga de aceite no es crítica para el sistema. ¿Cierto o falso?



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

LOCALIZACIÓN DE FALLAS

**EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA**

LOCALIZACIÓN DE FALLAS

R-24

R24-1 GENERALIDADES

En los capítulos anteriores describimos los principales componentes del ciclo de refrigeración, su funcionamiento teórico, los materiales y herramientas necesarios para armar un sistema y los instrumentos necesarios para probar y revisar la operación. Emplearemos ahora estos elementos describiendo lo que se puede esperar, primero durante el funcionamiento normal, y después en condiciones anormales.

En primer lugar, es raro que los técnicos de servicio lleven consigo un diagrama de presión-entalpía para cada refrigerante. Sin embargo, llevarán una tabla de bolsillo de presión-temperatura, como la de la figura R24-1, que da una lista de las temperaturas y presiones de varios refrigerantes saturados. En esa tabla se presentan el R-12, R-22, R-500 y R-502; son los más comunes en refrigeración. A determinada temperatura de líquido saturado el técnico puede determinar la presión equivalente, o vacío, si se trata de una aplicación a bajas temperaturas. Veamos ahora tres sistemas y sigamos lo que sucede en realidad.

La figura R24-2 representa un ciclo de refrigeración con enfriamiento de aire en un congelador, en el que se debe mantener la temperatura del recinto a 0 °F (-18 °C). La temperatura ambiente es 95 °F (35 °C).

Primero identificamos los componentes del sistema: compresor, condensador, evaporador y dispositivo de medición de válvula de expansión. A continuación identificamos los termómetros de vidrio o de carátula que se usan para medir la temperatura del aire que entra al evaporador y al condensador. Se usa un termómetro electrónico de seis canales para medir las temperaturas en los puntos A a F. Se conectan manómetros a las válvulas respectivas de servicio en el sistema. Para este ejemplo, el refrigerante empleado es R-22.

Primero veremos las condiciones del evaporador. Como el recinto congelador se debe mantener a 0 °F será necesario mantener una diferencia de temperatura entre el aire que pasa por el evaporador y la del refrigerante. Esa diferencia varía con el diseño del evaporador que se tenga. Para este ejemplo supondremos una diferencia de 10 °F. La temperatura del refrigerante saturado en el punto A justo cuando entra al evaporador es -10 °F (-23 °C). En la tabla P-T de la figura R24-1 vemos que la presión correspondiente para el R-22 es 16.4 psig. Al tomar calor el evaporador y hervir el refrigerante, éste saldrá del evaporador a 0 °F, lo que quiere decir que ha ganado 10 °F de sobrecalentamiento en lo que respecta a aumento de temperatura, pero la presión de vapor quedará esencialmente igual si suponemos que no hay caída de presión en el serpentín. El sensor de la válvula termostática de expansión reacciona a los cambios de temperatura en el punto B y regula el flujo de refrigerante para tratar de mantener sobrecalentamiento constante de 10 °F.

Dependiendo del tamaño y longitud del tubo de succión, sucederán dos cosas. Al salir del congelador el tubo de succión y entrar a un lugar más caliente, ganará algo más de sobrecalentamiento. Para este ejemplo se indican 2 °F. Y debido a la caída de presión dentro del tubo, habrá algo de reducción de presión en el punto C al entrar el gas a la válvula de succión del compresor. La presión en C puede verse en el manómetro compuesto de baja presión en nuestro cabezal.

El vapor a baja temperatura y baja presión entra al compresor, y alcanza una alta presión y alta temperatura en el punto D. A causa del calor de compresión, la temperatura aproximada será 100 °F (38 °C) arriba de la temperatura de saturación en el condensador. La presión en los puntos D y E es la misma, según se ve, porque en este ejemplo se supone que la distancia entre el compresor y el condensador es pequeña. Esto puede no siempre ser cierto, y en esos casos debe tenerse en cuenta la caída de presión en el tubo de descarga.

La presión en el punto D queda determinada realmente por el diseño y la aplicación del condensador. En este ejemplo tiene enfriamiento de aire, y el aire ambiente está a 95 °F (36 °C). En general, estará unos 30 a 40 °F (17 a 22 °C) sobre la temperatura del aire que entra. En nuestro ejemplo, la temperatura promedio de condensación en el condensador al pasar el vapor caliente a líquido saturado será 125 °F (52 °C) en el punto E. Para el R-22, la presión correspondiente, según la figura R24-1, será 277.9 psig; tomaremos 278 psig. Por lo tanto, el compresor debe ser capaz de elevar la presión hasta ese valor.

La mayor parte del sobrecalentamiento se elimina del vapor en los tubos superiores del condensador, de modo que las dos o tres filas inferiores de tubos están llenas de refrigerante líquido. Con ello se satisfacen dos funciones. La primera, se forma un sello de líquido para evitar que el vapor llegue al tubo de líquido. La segunda, se permite que el líquido se sobreenfríe a menos de la temperatura de saturación. En el ejemplo se muestra un subenfriamiento de 10 °F entre los puntos E y F, lo cual es común en diseños de condensadores. La presión (278 psig) permanece constante y se puede medir en la válvula de servicio del tubo de líquido, y leerse en el manómetro de alta presión del cabezal.

El refrigerante líquido pasa entonces del punto F a través del tubo de líquido, de regreso a la válvula de expansión, en la cual hay una diferencia de más de 250 psig. En el caso real hay caídas de presión en el tubo del líquido debidas a la fricción, y también cuando el líquido se debe elevar a un nivel mayor. Si la caída de presión es muy alta el refrigerante se evapora instantáneamente antes de entrar a la válvula de expansión. El capítulo R13 describe en detalle

los procedimientos para determinar los diámetros de tubo de refrigerante para reducir al mínimo la caída de presión, para asegurar un retorno adecuado de aceite al compresor, y para eliminar los ruidos molestos.

En contraste a la aplicación del congelador a baja temperatura, veamos ahora una aplicación a alta temperatura como la que se puede encontrar en un sistema de aire acondicionado para control.

SPORLAN **TABLA DE TEMPERATURAS Y PRESIONES**

Vacío, pulgadas de mercurio, en cursivas

Presión, libras por pulgada cuadrada, en negritas

TEMPERATURA °F	CLAVE DE REFRIGERANTE					TEMPERATURA °F	CLAVE DE REFRIGERANTE					TEMPERATURA °F	CLAVE DE REFRIGERANTE				
	12-F	22-V	500-D	502-R	717-A		12-F	22-V	500-D	502-R	717-A		12-F	22-V	500-D	502-R	717-A
-60	19.0	12.0	17.0	7.2	18.6	12	15.8	34.7	21.2	43.2	25.6	42	38.8	71.5	48.2	83.8	61.6
-55	17.3	9.2	15.0	3.9	16.6	13	16.5	35.7	21.9	44.3	26.5	43	39.8	73.0	49.4	85.4	63.1
-50	15.4	6.2	12.8	0.2	14.3	14	17.1	36.7	22.6	45.4	27.5	44	40.7	74.5	50.5	87.0	64.7
-45	13.3	2.7	10.4	1.9	11.7	15	17.7	37.7	23.4	46.5	28.4	45	41.7	76.0	51.6	88.7	66.3
-40	11.0	0.5	7.6	4.1	8.7	16	18.4	38.7	24.1	47.7	29.4	46	42.7	77.6	52.8	90.4	67.9
-35	8.4	2.6	4.6	6.5	5.4	17	19.0	39.8	24.9	48.9	30.4	47	43.6	79.2	54.0	92.1	69.5
-30	5.5	4.9	1.2	9.2	1.6	18	19.7	40.9	25.7	50.0	31.4	48	44.7	80.8	55.1	93.9	71.1
-25	2.3	7.4	1.2	12.1	1.3	19	20.4	41.9	26.5	51.2	32.5	49	45.7	82.4	56.3	95.6	72.8
-20	0.6	10.1	3.2	15.3	3.6	20	21.0	43.0	27.3	52.5	33.5	50	46.7	84.0	57.6	97.4	74.5
-18	1.3	11.3	4.1	16.7	4.6	21	21.7	44.1	28.1	53.7	34.6	55	52.0	92.6	63.9	106.6	83.4
-16	2.1	12.5	5.0	18.1	5.6	22	22.4	45.3	28.9	54.9	35.7	60	57.7	101.6	70.6	116.4	92.9
-14	2.8	13.8	5.9	19.5	6.7	23	23.2	46.4	29.8	56.2	36.8	65	63.8	111.2	77.8	126.7	103.1
-12	3.7	15.1	6.8	21.0	7.9	24	23.9	47.6	30.6	57.5	37.9	70	70.2	121.4	85.4	137.6	114.1
-10	4.5	16.5	7.8	22.6	9.0	25	24.6	48.8	31.5	58.8	39.0	75	77.0	132.2	93.5	149.1	125.8
-8	5.4	17.9	8.8	24.2	10.3	26	25.4	49.9	32.4	60.1	40.2	80	84.2	143.6	102.0	161.2	138.3
-6	6.3	19.3	9.9	25.8	11.6	27	26.1	51.2	33.3	61.5	41.4	85	91.8	155.7	111.0	174.0	151.7
-4	7.2	20.8	11.0	27.5	12.9	28	26.9	52.4	34.2	62.8	42.6	90	99.8	168.4	120.6	187.4	165.9
-2	8.2	22.4	12.1	29.3	14.3	29	27.7	53.6	35.1	64.2	43.8	95	108.3	181.8	130.6	201.4	181.1
0	9.2	24.0	13.3	31.1	15.7	30	28.5	54.9	36.0	65.6	45.0	100	117.2	195.9	141.2	216.2	197.2
1	9.7	24.8	13.9	32.0	16.5	31	29.3	56.2	36.9	67.0	46.3	105	126.6	210.8	152.4	231.7	214.2
2	10.2	25.6	14.5	32.9	17.2	32	30.1	57.5	37.9	68.4	47.6	110	136.4	226.4	164.1	247.9	232.3
3	10.7	26.5	15.1	33.9	18.0	33	30.9	58.8	38.9	69.9	48.9	115	146.8	242.7	176.5	264.9	251.5
4	11.2	27.3	15.7	34.9	18.8	34	31.7	60.1	39.9	71.3	50.2	120	157.7	259.9	189.4	282.7	271.7
5	11.8	28.2	16.4	35.9	19.6	35	32.6	61.5	40.9	72.8	51.6	125	169.1	277.9	203.0	301.4	293.1
6	12.3	29.1	17.0	36.9	20.4	36	33.4	62.8	41.9	74.3	52.9	130	181.0	296.8	217.2	320.8	—
7	12.9	30.0	17.7	37.9	21.2	37	34.3	64.2	42.9	75.9	54.3	135	193.5	316.6	232.1	341.2	—
8	13.5	30.9	18.4	38.9	22.1	38	35.2	65.6	43.9	77.4	55.7	140	206.6	337.3	247.7	362.6	—
9	14.1	31.8	19.0	39.9	22.9	39	36.1	67.1	45.0	79.0	57.2	145	220.3	358.9	264.0	385.0	—
10	14.6	32.8	19.7	41.0	23.8	40	37.0	68.5	46.1	80.5	58.6	150	234.6	381.5	281.1	408.4	—
11	15.2	33.7	20.4	42.1	24.7	41	37.9	70.0	47.1	82.1	60.1	155	249.5	405.1	298.9	432.9	—

FIGURA R24-1 Tabla P-T de bolsillo.

La figura R24-3 muestra un diagrama de ciclo de refrigerante para un sistema enfriado por aire con una válvula de expansión, y con R-500 como refrigerante. Las relaciones T-P (temperatura-presión) que se muestran se consideran normales para un sistema que trabaje como sigue. La temperatura de bulbo seco del aire que entra al serpentín evaporador es 80 °F (27 °C), y de bulbo húmedo 67 °F (19 °C), la temperatura de bulbo seco del aire que entra al condensador es 95 °F (35 °C). Como las presiones que se indican están influidas por el diseño del equipo, consulte siempre las tablas de temperatura-presión que suministra el fabricante de cada modelo específico.

Comenzando en el punto A, el refrigerante se subenfria 16 °F (9 °C) hasta 114 T (46 °C) y ejerce una presión de 218 psig. Suponiendo que el tubo de refrigerante líquido tenga 7.5 metros (25 pies) de longitud y esté dimensionado en forma correcta, la presión en el lado de entrada de la válvula de expansión será 218 psig aproximadamente, y la temperatura del refrigerante seguirá siendo casi la misma que en A, es decir, 114 °F.

Agua abajo de la válvula de expansión, en el punto B, las indicaciones T-P serán, aproximadamente, 44 °F (7 °C) y 50.7 psig. La válvula de expansión regula el flujo de refrigerante para tener sobrecalentamiento de 12 °F (7 °C) las relaciones T-P en el punto C serán 56 °F (13 °C) y 50.7 psig. Esta indicación de presión no tiene en cuenta la caída nominal de presión del refrigerante que se evapora en el serpentín.

A la succión del compresor (punto D), la relación de 61 °F (16 °C) y 50.7 representan el aumento de temperatura originado en el resto del tubo de succión. No se indica caída de presión, porque suponemos que el serpentín de enfriamiento y el compresor están razonablemente cercanos. En la descarga de gas caliente del compresor, en E, las indicaciones serán 195 °F (85 °C) y 218 psig. Las relaciones T-P promedio para el condensador son 130 °F (54 °C) y 218 psig en el punto F. El subenfriamiento, 16 °F se lleva a cabo en las últimas dos o tres filas de tubos en la parte inferior del condensador, y se completa el ciclo en el punto A.

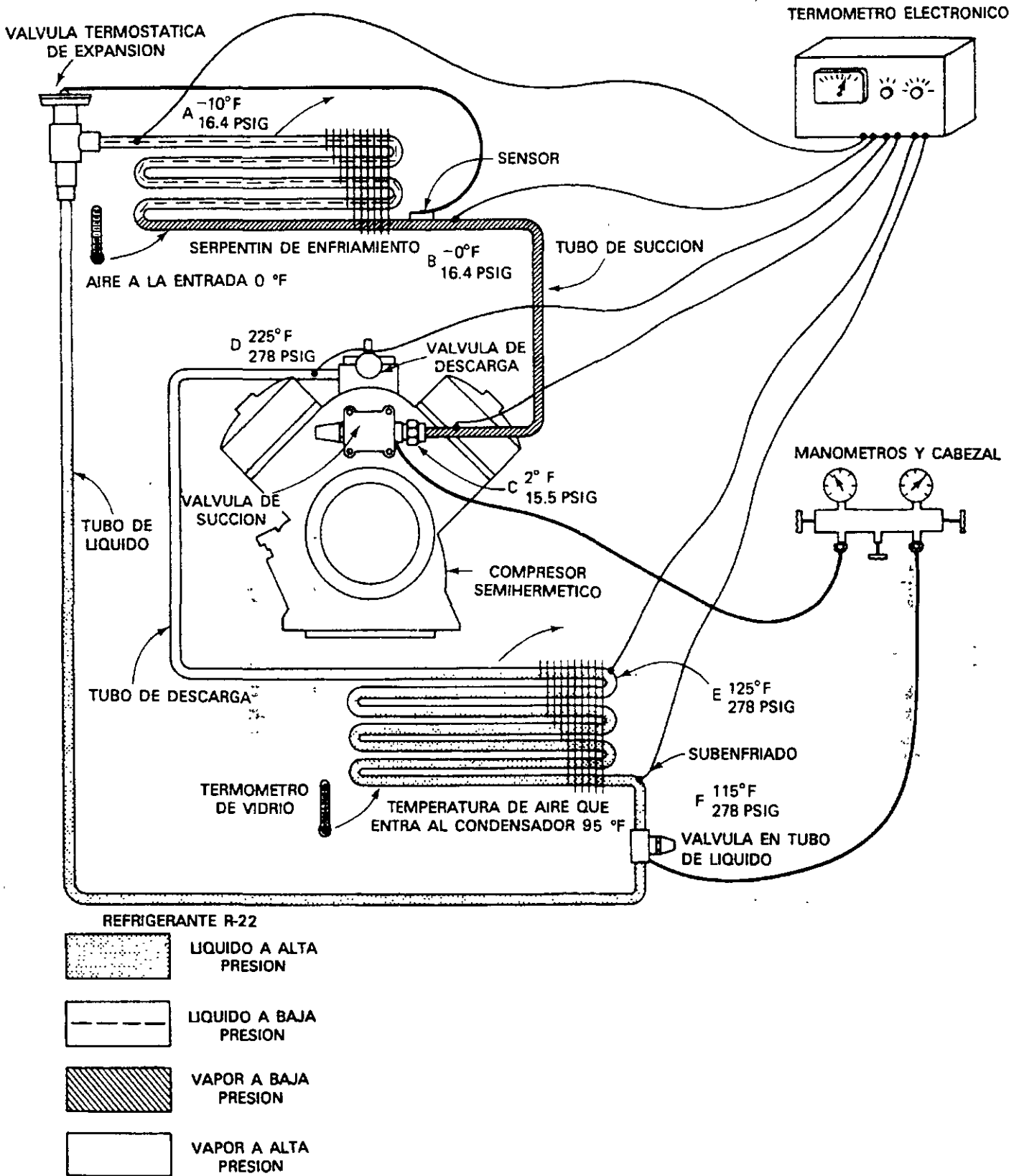
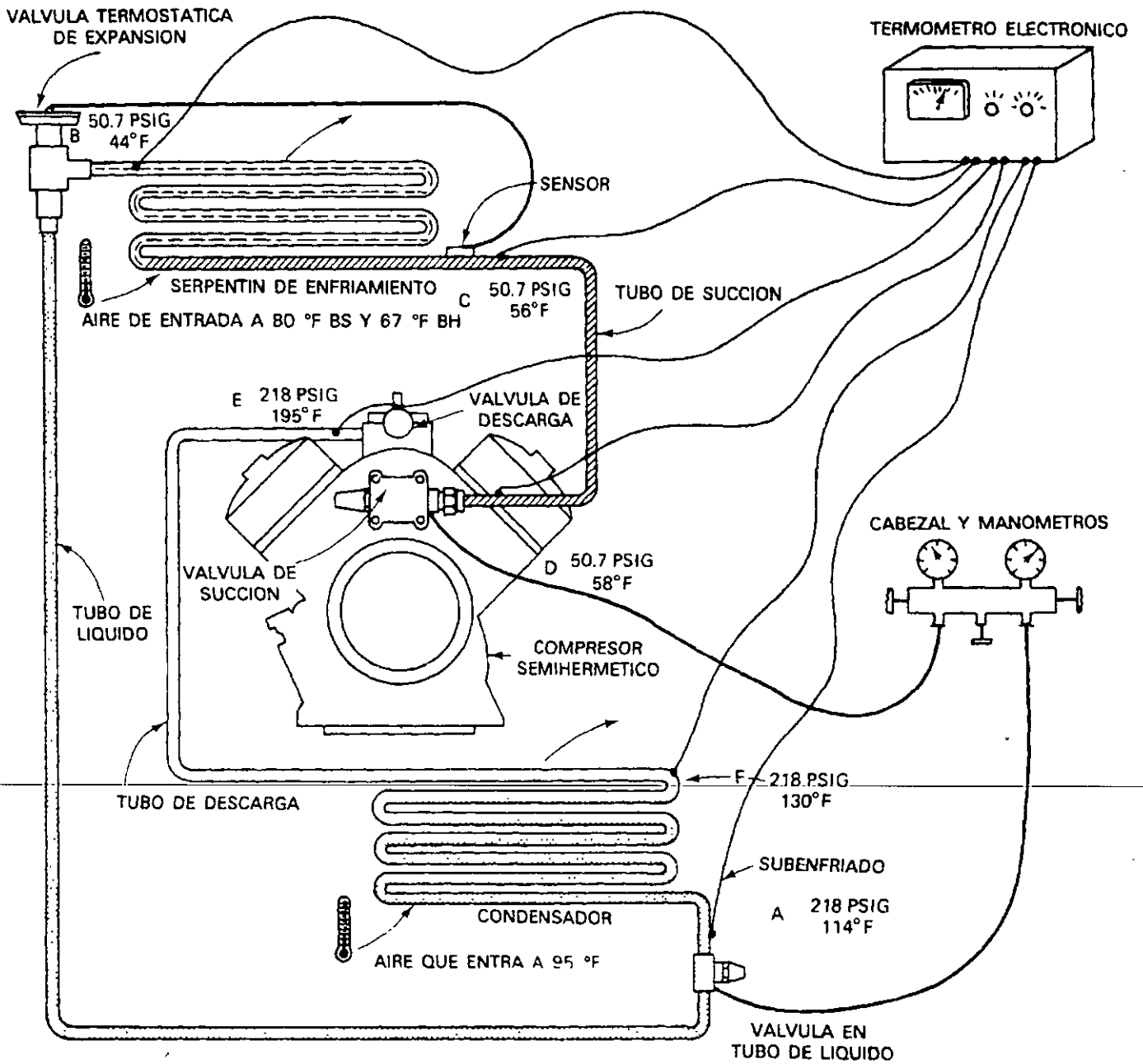


FIGURA R24-2 Aplicación de cuarto congelador; ciclo de refrigerante R22 con válvula de expansión.



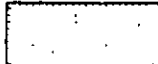
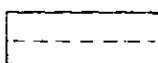

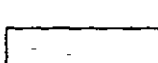
- REFRIGERANTE R-500
-  LIQUIDO A ALTA PRESION
 -  LIQUIDO A BAJA PRESION
 -  VAPOR A BAJA PRESION
 -  VAPOR A ALTA PRESION

FIGURA R24-3 Aplicación de refrigeración de alta temperatura (aire acondicionado) con válvula termostática de expansión.

Los dos sistemas anteriores emplearon un dispositivo de medición consistente en válvula termostática de expansión. Comparemos ahora con un sistema con dispositivo de medición de tubo capilar.

La figura R24-4 muestra un diagrama de ciclo de refrigerante para un sistema típico de aire acondicionado con tubo capilar, y que usa refrigerante R-22. Las relaciones de presión-temperatura que se muestran se consideran normales para un sistema que trabaje en las siguientes condiciones: temperatura de bulbo seco del aire que entra al serpentín evaporador 80 °F (27 °C) y 67 °F (19 °C) de bulbo húmedo; la temperatura del aire que entra al condensador es 95 °F (35 °C) de bulbo seco. Como esas presiones están influidas por el diseño del equipo, consulte siempre las tablas presión-temperatura del fabricante para el modelo específico que tenga. El sistema que se muestra tiene un compresor hermético sellado. Las conexiones de toma de presión (válvulas Schrader) se tienen en los tubos de succión y de líquido.

Comenzamos en el punto A, y el refrigerante líquido está sobreenfriado 19 °F (10 °C), y su temperatura es 111 °F (44 °C), y ejerce una presión de 295 psig. Suponiendo que el tubo de refrigerante líquido tenga 7.5 m (25 pies) de longitud, y que esté dimensionado en forma correcta, la presión en el extremo de entrada del tubo capilar será 195 psig aproximadamente, y la temperatura del refrigerante seguirá siendo la misma que en A, o sea, 111 T

A la salida del tubo capilar, en B, las relaciones T-P serán aproximadamente 44 °F (7 °C) y 75 psig. Como el tubo capilar restringe el flujo de refrigerante de tal modo que se obtienen 12 °F (7 °C) de sobrecalentamiento, las relaciones T-P en el punto C serán 56 °F (13 °C) y 75 psig. Esta presión no tiene en cuenta la caída nominal de presión del refrigerante que se evapora en el serpentín.

Pasando a la succión del compresor (punto D), las relaciones T-P son 61 °F (16 °C) y 75 psig, que representan el aumento de temperatura por sobrecalentamiento adicional en el tubo de succión. En E, estas indicaciones son 195 °F (85 °C) y 295 psig. El promedio T-P en el condensador es 130 °F (54 °C) y 295 psig en F. El subenfriamiento, 16 °F (9 °C) se lleva a cabo en las últimas dos o tres filas de tubos de la parte inferior del condensador y se termina el ciclo en A.

Los ejemplos anteriores muestran lo que se debe esperar durante el funcionamiento normal del sistema. Es natural que varían según el refrigerante, el medio de condensación (aire o agua, o evaporativo), el tipo de aplicación y la marca del equipo. Aquí no podemos presentar, claro está, todas las posibilidades de variación, pero esas diferencias se describen en capítulos posteriores, y se familiariza uno con ellas con la experiencia.

Independientemente del tipo de sistema, habrá algunos problemas comunes de operación, y el técnico de servicio tiene que, como si fuera doctor, ser capaz de reconocer los síntomas; diagnosticar la causa y tomar la acción correctiva. En la mayor parte de los casos, el médico puede prescribir las medicinas o el tratamiento inmediato para aliviar al paciente. El técnico de servicio en refrigeración puede tener que llegar a un diagnóstico satisfactorio a través del proceso de eliminar algunas causas posibles, cada una de las cuales podría ser el origen de las quejas o del problema en el sistema de refrigeración.

Los técnicos deben tener conciencia en sus intentos de poner al sistema de nuevo en condiciones adecuadas de funcionamiento, y ser honrados en sus negociaciones con el cliente. En el campo se tienen quejas contra algunos técnicos de servicio que no siempre tienen la capacidad adecuada. Por ejemplo, quizá uno puso refrigerante en el sistema cuando por los síntomas se pensaba que faltaba, y con esta acción no corrigió el problema. Después, el técnico, por negligencia, no sacó el exceso de refrigerante (lo cual, en sí, será la causa de una queja en el futuro). A algunos fabricantes de partes, como por ejemplo válvulas de expansión, se les han devuelto sus productos sin tener averías. Más bien, simplemente los filtros de alguna de las válvulas tenían mugre o estaban tapados, pero el técnico de servicio cambió la válvula, echándole la culpa de su mala operación.

R24-2 CATEGORIAS DE PROBLEMAS

Recuerde que un sistema de refrigeración es un dispositivo de transferencia de energía calorífica. Sólo es capaz de absorber calor de una fuente de calor, y cederlo en un radiador o sumidero de calor. La rapidez a la cual lo hace depende de la cantidad de calor disponible y la velocidad de transferencia. Esta velocidad de transferencia depende del mantenimiento de la diferencia correcta de temperaturas entre el refrigerante y el material del cual se va a extraer el calor, o al cual se le va a ceder.

R24-2.1 Fuente de calor

¿Hay suficiente producción de calor para satisfacer la capacidad del sistema? Si es un sistema capaz de extraer 12,000 Btu de calor en una hora con AT de 20 °F (11 °C) este calor debe estar disponible. Si el aire es el medio de pasar el calor del producto por enfriar al vapor para la extracción, debe pasar la cantidad correcta de aire por el serpentín. Si es insuficiente la cantidad del aire a causa de:

1. Filtros de aire sucios

2. Insuficiente volumen manejado por el ventilador o soplador
3. Aletas sucias en los serpentines
4. Producto mal acomodado

o por cualquier otro motivo, se reduce la cantidad de calor absorbido. El serpentín trabaja a menor temperatura, el punto de ebullición del refrigerante es menor, y se pierde la capacidad del sistema.

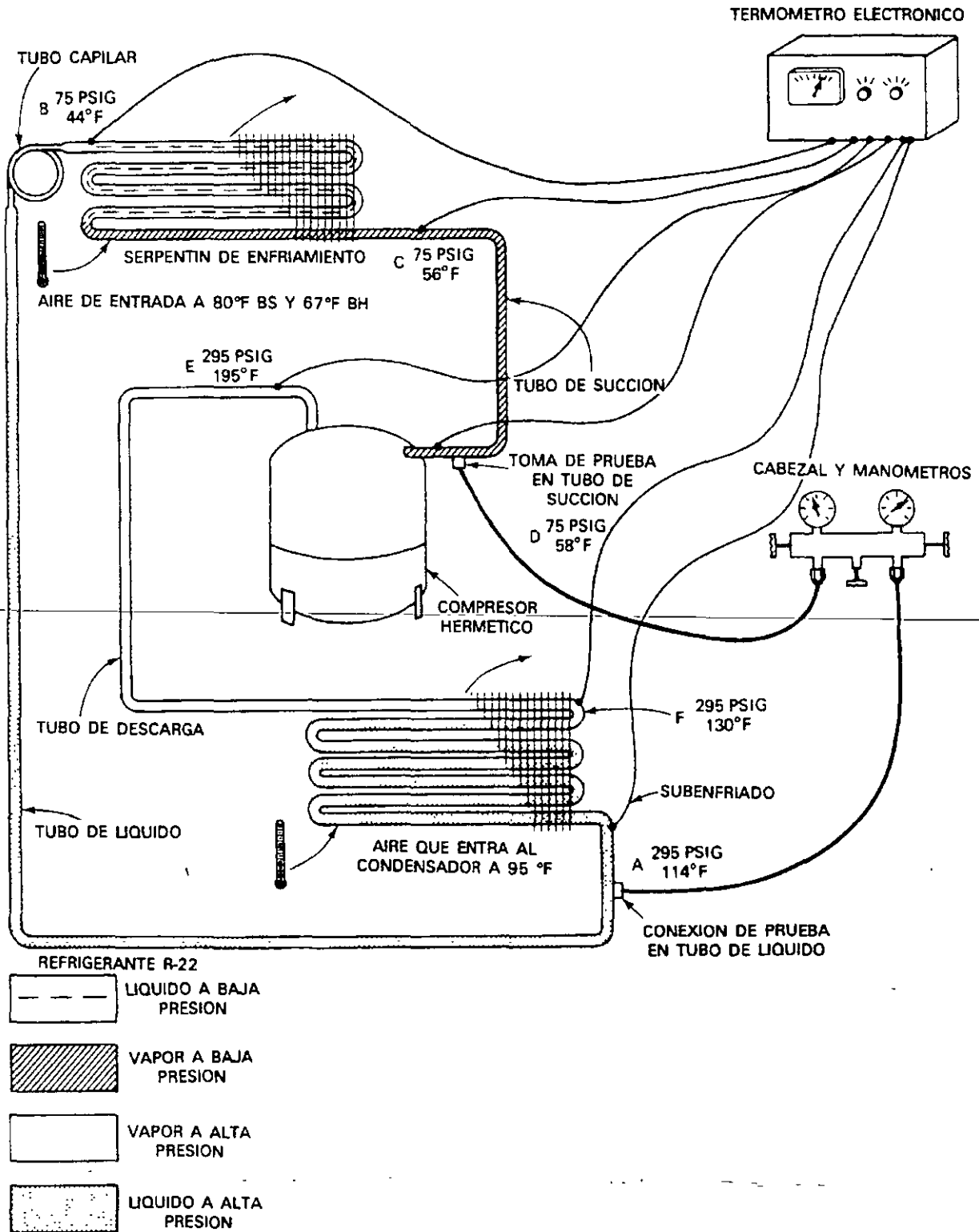


FIGURA R24-4 Ciclo de refrigerante con tubo capilar.

Esto se aplica también si el calor se transfiere mediante un líquido. Se pueden presentar los mismos problemas:

1. Filtros sucios de líquido, o drenajes tapados
2. Bomba de pequeña capacidad, o impulsor dañado
3. Tubos de intercambio de calor encostrados

Las reducciones de cantidad de líquido que pasa por el cambiador de calor causan reducciones de calor absorbido, se disminuye el punto de ebullición en el serpentín y se disminuye la presión de succión y la capacidad del sistema. Para comprobar la carga del evaporador, se debe medir la cantidad de aire o líquido que pasa por el evaporador, y se deben medir las temperaturas del aire o del líquido que entra y que sale.

Es casi impráctico medir la cantidad de aire que pasa por el serpentín de un refrigerador de lechería, por ejemplo, pero casi siempre se pueden poner termómetros en el suministro de aire que sale del serpentín, y en el aire de retorno que llega a él, para medir la temperatura. Si la temperatura del aire disminuye, el aire que pasa por él tiene un flujo mayor que las especificaciones de fábrica; la falla consiste en la cantidad de aire, porque un sistema de refrigeración no tiene posibilidad de aumentar súbitamente de capacidad. Sin embargo, si la temperatura es mayor que la normal, la falla casi siempre está en el sistema de refrigeración, porque el suministro de aire en general no aumenta con respecto al flujo del diseño. En este caso, se debe revisar el sistema de refrigeración.

R24-2.2 Radiador de calor

En general, los problemas en la zona del radiador de calor son más fáciles de diagnosticar porque el cambio en el sistema es más radical citando cambian las condiciones de funcionamiento del de calor. Cuando se reduce el aire que pasa por el condensador, las presiones diferenciales y el amperaje al compresor suben y la capacidad del sistema baja. Cuando se trata de enfriamiento líquido, cuando se reduce el flujo de líquido de enfriamiento, las presiones diferenciales aumentan junto con el amperaje al compresor, y se tiene reducción de capacidad. Sin embargo, el efecto sobre la capacidad no es tan grande como un cambio en la carga del evaporador, y en general este problema se da y crece hasta un punto en el que es radical la diferencia con respecto a las condiciones normales.

Las causas más frecuentes de problemas en condensadores enfriados por aire son:

- Polvo, hojas, etc., en la superficie del serpentín
- Entrada o salida del aire obstruidas.
- Aspas del soplador sucias
- Rodamientos del motor y/o el soplador apretados
- Sentido de rotación incorrecto del soplador o ventilador, en especial en motores trifásicos
- Velocidades incorrectas del soplador o ventilador
- Vientos dominantes
- Unidad ubicada en zona de flujo de aire restringido
- Las causas más frecuentes de problemas en condensadores enfriados por líquido son:
- Tubos encostrados de condensador.
- Presión insuficiente del líquido.
- Suministro insuficiente del líquido.
- Válvula reguladora mal ajustada o que trabaja mal.
- Incapacidad de disponer del líquido que sale del condensador.

En todos los casos, son importantes la medición del flujo de aire o de líquido que pasa por el condensador, así como sus temperaturas de entrada y salida, para el diagnóstico de los problemas.

En todos los casos, la caída de presión a través del regulador será demasiado alta si la falla es en el funcionamiento del condensador.

Si la diferencia de presiones es muy pequeña, generalmente se debe al sistema de refrigeración; la única excepción es cuando hay bajas temperaturas ambientes en el caso de condensadores enfriados por aire, cuando se trata de trabajarlos en ambientes de 65 °F (18 °C) o menos, sin control de la diferencia de presiones.

R24-3 PROBLEMAS DEL SISTEMA DE REFRIGERACION

En el sistema de refrigeración se pueden dividir los problemas en dos categorías: cantidad de refrigerante y flujo de refrigerante. Si el sistema tiene carga correcta hasta el punto en el que el evaporador es totalmente activo y el condensador tiene cantidad suficiente como para producir el subenfriamiento deseado, y el compresor está manejando a cantidad necesaria de vapor, el sistema se debe comportar como este diseñado. Cualquier desviación de las condiciones se notará en las presiones y temperaturas medidas en el sistema,

Lo primero que se debe determinar es si el problema en el sistema de refrigeración es eléctrico o mecánico ¿Trabaja? y si así es, ¿trabaja en forma correcta?

R24-3,1 Problemas eléctricos

Entre los problemas de categoría eléctrica están, generalmente, que la unidad no arranca, no sigue trabajando, o trabaja de forma errática. A continuación presentamos una lista de síntomas o problemas comunes que se aplican a la parte eléctrica del sistema. Después de cada problema hay una lista de causas posibles. Estas causas se mencionan y se explican en los capítulos R25 y R26.

Conjunto del motor y compresor

1. No trabaja; no hay zumbido
 - E6. Contactos de control abiertos
 - E4. Disparado el corte por sobrecarga
 - E8. Mal conectado
 - E5. Se quemó el corte por sobrecarga
 - R25-12. Falta de refrigerante

2. No trabaja; no hay zumbido; enciende y apaga por sobrecarga
 - E8. Mal conectado
 - E12. El voltaje es bajo
 - E19. Capacitor de arranque quemado, e, inadecuado
 - E20. Capacitor de marcha quemado o inadecuado
 - E18. Está quemado el relevador de arranque, o es inadecuado
 - R25-4. Alta diferencia de presiones.
 - R25-22. Está quemado el motor del compresor

3. Se pone en marcha y el capacitor de arranque no se desconecta
 - E8. Cableado inadecuado
 - E12. El voltaje es bajo
 - E19. El capacitor de arranque está quemado, o es inadecuado
 - E18. El relevador de arranque está quemado, o es inadecuado
 - E20. El capacitor de marcha está quemado, o es inadecuado
 - R25-4. Alta diferencia de presiones
 - R25-10. El dispositivo de reducción de presión del refrigerante está averiado o mal ajustado
 - R25-22. El motor del compresor está quemado

4. Se pone en marcha y trabaja, enciende y apaga por sobrecarga.
 - E8. Mal cableado
 - E20. Capacitor de marcha quemado o inadecuado
 - R25-4. Alta diferencia de presiones
 - E12. Bajo voltaje
 - E11. Alto voltaje
 - E5. Está quemada la protección por sobrecarga
 - R25-10. El dispositivo de reducción de presión del refrigerante está averiado o mal ajustado.
 - R25-22. El motor del compresor está quemado

5. Se pone en marcha y trabaja después de varios intentos
 - E12. Bajo voltaje
 - E19. El capacitor de arranque está quemado, o es inadecuado
 - E18. El relevador de arranque está quemado, o es inadecuado
 - R25-4. Alta diferencia de presiones
 - R25-9. Está obstruida o taponada la tubería de líquido.
 - R25-10. El dispositivo de reducción de presión está averiado o mal ajustado
 - R25-21. Baja temperatura ambiente
 - R25-6. Carga inadecuada para el evaporador

Capacitor de marcha

1. Se quema
E11. Alto voltaje
2. Las pruebas son correctas y no hay efecto
E8 Mal conectado

Motor del ventilador

1. No trabaja
E7. Conexión floja o conductor roto
E5 La protección por sobrecarga está quemada
2. No trabaja, se quema, desconecta por sobrecarga
E20 El capacitor de marcha está quemado o es de tamaño inadecuado
E 17. El motor está quemado
3. Trabaja, pero entra y sale por sobrecarga
E16.El motor está sobrecargado
E12.Bajo voltaje
E5. Está quemado el corte por sobrecarga
E17.El motor está quemado

Relevador o contactor

1. No entra; no hay zumbido
E6. Los contactos de control están abiertos
E8. Mal conectado
E7 El circuito está abierto
E 15. La bobina está quemada
- 2 No entra; sí hay zumbido
E12.Bajo voltaje
E14. Bobina en cortocircuito
E13.La armadura se pega.

R24-3.2 Problemas de refrigeración

Dentro de la categoría de refrigeración, el problema más común es el de falta de refrigerante que ocasiona a su vez falla del efecto refrigerante. Sin embargo, como en el caso de la categoría eléctrica, los problemas de mal funcionamiento del sistema de refrigeración son variados y pueden presentarse en el mismo sistema de refrigeración, o ser debidos a una causa eléctrica, o por una combinación de causas eléctricas y de refrigeración. A continuación se presenta una lista de los síntomas o problemas comunes que se pueden encontrar en el sistema de refrigeración. Después de cada problema sigue la lista de causas probables, las cuales se explican en los capítulos R25 y R26.

Sistema completo

1. No trabaja; no hay zumbido
R26-2. Está abierto el interruptor de desconexión
R26-4. Hay un fusible quemado
R26-3.Está disparada la protección principal de sobrecarga
R26-6.Está quemada la protección de corte por sobrecarga
R26-5. Está disparado el corte por sobrecarga
R26-8. Hay un falso contacto o un conductor roto
R26-9. Mal conectado

R25-1 1. Tubo de refrigerante muy estrecho

6. Se pone en marcha y sale por la protección principal de sobrecarga

E8. Mal conectado

E5. La protección por sobrecarga está quemada

E12. Bajo voltaje

E11. Alto voltaje

E 19.El capacitor de arranque está quemado o es inadecuado

E18. El relevador de arranque está quemado o es inadecuado

R25-1 0 El dispositivo de reducción de presión del refrigerante está averiado o mal ajustado

R25-22. El motor del compresor está quemado

7. Trabaja, pero con ruido

R25-4. Alta diferencia de presiones

R25-10.El dispositivo de reducción de presión del refrigerante está quemado o mal ajustado

R25-13. Sobrecarga de refrigerante

Relevador de arranque

1. Sus contactos no abren

E 12 . Bajo voltaje

E 19. El capacitor de arranque está quemado o es inadecuado

E20, El capacitor de marcha está quemado o es inadecuado

R25-4, Alta diferencia de presiones

E18. El relevador de arranque está quemado o es inadecuado

R25-22. El motor del compresor está quemado

2. Sus contactos no cierran

E18. El relevador de arranque está quemado o es inadecuado

3. Se quema

E 8. Mal conectado

E11 Bajo voltaje

R25-4. Alta diferencia de presiones

E 19.El capacitor de arranque está quemado o es inadecuado

E20. El capacitor de marcha está quemado o es inadecuado

E11. Alto voltaje

R25-2. Baja presión en la succión

E18.El relevador de arranque está quemado o es inadecuado

R25-22 El motor del compresor está quemado

Capacitor de arranque

1. Se quema

E8. Mal conectado

E12. Bajo voltaje

E 19.El capacitor de arranque está quemado o es inadecuado

R25-22. El motor del compresor está quemado

E20.El capacitor de marcha está quemado o es inadecuado

R25-2. Baja presión de succión

R25-4. Alta diferencia de presiones

2. Las pruebas del capacitor son buenas, no tiene efecto

E8. Mal conectado

E7 Conexión floja o conductor roto

2. Trabaja, pero en ciclos cortos

- R26-10. Son inadecuados los ajustes de control
- R25-4. Alta diferencia de presiones
- R25-2. Baja presión de succión
- R25-6. Carga inadecuada para el evaporador
- R25-12. Falta de refrigerante
- R25-10. El dispositivo de control de presión del refrigerante está averiado o mal ajustado
- R25-20. Serpentin con mucho aceite
- R25-9. El tubo de líquido está obstruido o taponado

3. Trabaja en forma continua

- R26-9. Mal conectado
- R25-6. Carga inadecuada para el evaporador
- R25-10. El dispositivo de reducción de presión del refrigerante está averiado o mal ajustado
- R25-21. Baja temperatura ambiente
- R25-12. Falta de refrigerante
- R25-4. Alta diferencia de presiones
- R25-22. El motor del compresor está quemado
- R25-1 1. Los contactos de control están sobrecargados
- R25-20. Un serpentín está inundado de líquido
- R25-23. La unidad es demasiado pequeña

4. Funciona con ruido

- R25-24. Vibración
- R25-4. Alta diferencia de presiones
- R25-6. Carga inadecuada para el evaporador
- R25-13. Sobrecarga de refrigerante
- R25-10. El dispositivo de reducción de presión de refrigerante está averiado o mal ajustado
- R25-22. El motor del compresor está quemado
- R25-11. Los tubos del refrigerante son muy estrechos

5. La temperatura del evaporador es demasiado alta

- R25-6. Carga inadecuada para el evaporador
- R25-12. Falta de refrigerante
- R25-21. Baja temperatura ambiente
- R25-5. Baja diferencia de presiones
- R25-10. El dispositivo regulador de presión del refrigerante está averiado o mal ajustado
- R25-20. Un serpentín está inundado de aceite
- R25-1 1. Los tubos del refrigerante son muy estrechos
- R25-23. La unidad es muy pequeña

6. La temperatura del evaporador es muy baja

- R25-6. Carga inadecuada para el evaporador
- R26-9. Está mal conectado
- R26-1 1. Los contactos de control están sobrecargados
- R25-12. Falta de refrigerante
- R25-10. El dispositivo de reducción de presión del refrigerante está averiado o mal ajustado
- R25-21. Baja temperatura ambiente
- R25-20. Un serpentín está inundado de aceite
- R25-16. Se debe a la ubicación de la unidad

7. Suda mucho o se hiela el tubo de succión

- R25-6. Carga inadecuada para el evaporador
- R26-9. Mal conectado
- R26-1 1. Los contactos de control están pegados
- R25-10. El dispositivo de reducción de presión del refrigerante está averiado o mal ajustado
- R25-13. Sobrecarga de refrigerante

R25-4. Alta diferencia de presiones

8. El tubo de líquido está demasiado caliente
 - R25-4. Alta diferencia de presiones
 - R25-12. Falta de refrigerante
9. El tubo de líquido suda o se hiela
 - R25-9. Tubo de líquido obstruido o taponado
10. A veces trabaja cuando está apagado
 - R25-19. Hay una fuga en el dispositivo de control del refrigerante
 - R25-22. El motor del compresor está quemado

R24-4 HOJAS DE MEDICIONES EN SERVICIO

Prácticamente todos los fabricantes del equipo de refrigeración publican hojas de comprobación diseñadas para dar la información necesaria para determinar la causa del problema que se ha encontrado en sus productos, independientemente del arreglo particular de la instalación. La información que se pide siempre cubre los tres pasos de transferencia de energía, que son los que se necesitan. Esos pasos son: 1) paso de energía calorífica de la fuente de calor al refrigerante en ebullición; 2) el paso de calor del evaporador al condensador, y 3) la salida de calor del refrigerante al sumidero de calor. Tomando cada paso a la vez, la información necesaria sería:

- 1
 - a. Temperatura del aire o líquido que entra al evaporador
 - b. Temperatura del aire o líquido que sale del evaporador
 - c. Cantidad de aire o líquido que pasa por el evaporador. Medir esto es muy difícil en el caso de unidades con enfriamiento de aire por convección
2.
 - a. Marca y número de modelo de la unidad
 - b. Número de serie de la unidad
 - c. Capacidad de la unidad, Btu/hr
 - d. Tipo de refrigerante en el sistema
 - e. Voltaje de línea a la unidad apagada
 - f. Voltaje en las terminales común y de marcha del motor del compresor, cuando trata de arrancar
 - g. Corriente de arranque al motor del compresor
 - h. Amperaje al compresor a través de:
 - 1) La terminal común
 - 2) El devanado de marcha
 - 3) El devanado de arranque
 - i. Tipo de dispositivo de reducción de presión
 - 1) Válvula automática de expansión
 - 2) Válvula termostática de expansión
 - 3) Tubo capilar
 - 4) Otros
 - j. Presión (psig) en la succión del compresor y temperatura equivalente de ebullición (°F)
 - k. Temperatura en el tubo de succión
 - 1) A la salida del evaporador
 - 2) A la entrada del compresor
 - l. Presión de descarga del compresor (psig) y equivalente de temperatura de condensación (°F)
 - m. Temperatura del líquido que sale del condensador (°F)
3.
 - a. Temperatura del aire o líquido que entra al condensador (°F)
 - b. Temperatura del aire o líquido que sale del condensador (°F) –
 - c. Cantidad de aire o líquido que pasa por el condensador, en pies cúbicos por minuto (pie³/min) o galones por minuto (gal/min), respectivamente

Con esta información, se pueden consultar las causas de problemas que se presentan en los capítulos R25 y R26.

PROBLEMAS

- R24-1. En el tubo de succión, ¿es normal esperar una caída de presión o de temperatura?
- R24-2. Para que un condensador enfriado por aire ceda calor a la atmósfera, ¿debe ser la temperatura de condensación mayor o menor que la temperatura ambiente exterior?
- R24-3. A la diferencia entre la temperatura de condensación y la del aire que entra al condensador se le llama _____.
- R24-4. El subenfriamiento en un condensador enfriado por aire, ¿se lleva a cabo en las filas superiores o inferiores del serpentín?
- R24-5. En general, el subenfriamiento del líquido se presenta en las filas _____ últimas del condensador.
- R24-6. Los problemas en un sistema de refrigeración se clasifican en dos grupos: _____ y _____.
- R24-7. Un condensador sucio, ¿producirá diferencia de presiones alta o baja?
- R24-8. ¿Cuál es la temperatura ambiente mínima a la que trabaja bien una unidad normal enfriada por aire?
- R24-9. Los problemas en el sistema del refrigerante se pueden deber a dos causas principales: _____ y _____.



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

LOCALIZACIÓN DE FALLAS DE REFRIGERACIÓN

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

R-25

LOCALIZACIÓN DE FALLAS REFRIGERACIÓN

R25-1 GENERALIDADES

Como se ha afirmado varias veces en diversos capítulos, un sistema de refrigeración es un dispositivo que transmite calor de una fuente a un sumidero por vaporización y condensación de un refrigerante. También, el sistema de refrigeración trabaja controlando el punto de ebullición del refrigerante líquido.

Con esto en mente, si la energía calorífica disponible en la fuente de calor es suficiente, el sistema de refrigeración tiene la cantidad correcta de refrigerante, y el radiador o sumidero de calor es capaz de absorber el calor cedido con la rapidez deseada, el sistema tiene que trabajar. Cualquier desviación de esas condiciones se mostrará en las determinaciones de temperatura y presión, al igual que en la corriente eléctrica necesaria para hacer trabajar a la unidad.

En el capítulo R24 se da una lista de varios problemas en los sistemas eléctrico y de refrigeración, junto con soluciones posibles. A continuación presentamos las causas que se sugieren pertenecen al sistema de refrigeración.

R25-2. Baja presión de succión

R25-3. Alta presión de succión

R25-4. Alta diferencia de presiones

R25-5. Baja diferencia de presiones

R25-6. Carga inadecuada para el evaporador

R25-7. Mala distribución de carga

R25-8. Distribuidor o circuitos de serpentín obstruidos

R25-9. Tubo de líquido obstruido o taponado

R25-10. Dispositivo reductor de presión del refrigerante averiado o mal ajustado

R25-11. Tubos de refrigerante de poca capacidad

R25-12. Falta de refrigerante

R25-13. Sobrecarga de refrigerante

R25-14. Condensador obstruido

R25-15. Motor o transmisión del ventilador del condensador averiados

R25-16. Ubicación de la unidad

R25-17. Aire en el sistema

R25-18. Tubo de gas caliente obstruido

R25-19. Escape en el dispositivo de control del refrigerante

R25-20. Serpentín inundado de aceite

R25-21. Baja temperatura ambiente

R25-22. Motor del compresor quemado

R25-23. Unidad pequeña, de baja capacidad

R25-24. Vibración/ruido

R25-2- BAJA PRESION EN LA SOLUCION

La presión de trabajo en la succión de un sistema de refrigeración, sea una unidad de aire acondicionado (falta temperatura), refrigerador (temperatura inedia), o congelador (baja temperatura), varía entre unos límites de presión que dependen de la carga de calor al evaporador. A su vez, como la carga de calor en el evaporador varía con la cantidad de aire o líquido y/o la temperatura del aire o líquido que entra al evaporador, no es posible establecer una presión de trabajo definida en la succión. Por lo tanto, la presión de trabajo en la succión en un sistema de refrigeración no tiene valor significativo a menos que sea demasiado alta o baja.

Normalmente, las presiones de succión están en lo correspondiente a los límites de punto de ebullición de 35 a 65 °F (2 a 18 °C) en los sistemas de alta temperatura, de -10 a +5 °F (-23 a -15 °C) en los de temperatura media, y -25 a -5 °F (-32 a -21 °C) en los de baja temperatura. Las presiones de succión equivalentes mucho menores a esos límites indican que el gas no regresa al compresor con la suficiente rapidez con la que lo maneja. En el caso que las presiones en la succión sean demasiado altas, el compresor no maneja al gas tan rápidamente como regresa del evaporador.

Este caso se puede comparar al de llenar un tanque que tiene fugas con una fuente de presión. Si el aire entra al tanque con mayor rapidez con el que sale de él, la presión aumentará. Si el suministro de aire es menor que el que se escapa, la presión disminuirá. En el caso del sistema de refrigeración, el problema es determinar la razón del menor volumen de vapor que regresa al compresor, o la incapacidad del compresor de manejar el vapor del refrigerante.

La eficiencia de un compresor depende de la presión del gas que entra a él (presión de succión) y de la presión de gas que sale (descarga). Esta diferencia de presión se conoce como *diferencial de compresión*. Si la presión de succión

baja y/o la de descarga sube el diferencial de presión aumenta y la eficiencia volumétrica del compresor (capacidad del compresor de manejar el gas) disminuye.

A la inversa, si la presión en la succión aumenta y/o la de descarga disminuye, con lo cual se tiene una disminución del diferencial de compresión, aumenta la eficiencia volumétrica de compresión. Esto significa que en un sistema refrigeración que funciona con normalidad, la cantidad de vapor de refrigerante producida en el evaporador y la eficiencia volumétrica del compresor alcanzan un punto de equilibrio como cuando la cantidad de aire que entra al tanque es igual a la que se escapa, y la presión del tanque permanece constante. Por lo tanto, el punto de equilibrio de la presión en la succión sólo tiene importancia cuando ese punto de equilibrio queda arriba o abajo de los límites normales.

Las causas de baja presión de succión podrían ser las siguientes:

- R25-6. Carga inadecuada para el evaporador
- R25-7. Mala distribución de carga
- R25-8. Distribuidor o circuitos del serpentín taponados
- R25-9. Tubo de líquido obstruido o taponado
- R25-10. Dispositivo de reducción de presión del refrigerante averiado o mal ajustado.
- R25-11. Tubo de refrigerante demasiado estrecho
- R25-12. Falta de refrigerante
- R25-20. Serpentín inundado de aceite
- R25-5. Baja diferencia de presiones

R25-3 ALTA PRESION EN LA SUCCION

Como se explicó en la sección R25-2, la presión de succión es un equilibrio entre la producción de vapor por el evaporador, al absorber calor y hacer hervir el refrigerante líquido, y el compresor que succiona el vapor y lo descarga a alta presión y caliente en el condensador.

Si por algún motivo el evaporador aumenta la rapidez de evaporación, o el compresor pierde capacidad de manejo de éste, la presión de succión se equilibrará en un valor más alto. Es natural que, cuando un sistema se pone marcha por primera vez, la presión en la succión será alta, por la carga térmica acumulada en el evaporador. Si, embargo, después de un tiempo razonable de funcionamiento, la presión de succión debe bajar a un nivel normal. Si continúa alta, puede ser debido a demasiada rapidez de evaporación en el evaporador, o a reducción en rapidez de bombeo del compresor, o a una combinación de ambas causas.

Una alta rapidez de evaporación en el evaporador puede deberse a :

- R25-6. Carga inadecuada para el evaporador
- R25-10. Dispositivo reductor de presión del refrigerante averiado o mal ajustado
- R25-13. Sobrecarga de refrigerante

La reducción en la rapidez de bombeo del compresor se puede deber a:

- R25-4. Alta diferencia de presiones
- R25-13. Sobrecarga de refrigerante
- R25-14. Condensador inundado
- R25-15. Motor o transmisión del ventilador del condensador averiados
- R25-16. Ubicación de la unidad
- R25-17. Aire en el sistema
- R25-18. Obstrucción en el tubo de gas caliente
- R25-22. Compresor averiado

R25-4 ALTA DIFERENCIA DE PRESIONES

La alta diferencia de presiones en la unidad de condensación se origina por la incapacidad del condensador para eliminar el calor del gas comprimido por el compresor tan rápidamente como sale de éste. Como la capacidad del condensador para transmitir calor está determinada por la velocidad de transferencia de cada pulgada cuadrada de superficie de aleta y tubo, la cantidad de aire que pasa por el condensador y la temperatura del aire (temperatura ambiente en la unidad) que entra al condensador, cualquier cambio en esos factores aumenta la capacidad general de

transferencia del condensador. A continuación se presentan las causas que afectan uno o más de los factores de transferencia del condensador:

- R25-13. Sobrecarga del refrigerante
- R25-14. Condensador obstruido
- R25-15. Motor o transmisión del ventilador del condensador averiados
- R25-16. Ubicación de la unidad
- R25-17. Aire en el sistema
- R25-18. Tubo de gas caliente obstruido

R25-5 BAJA DE PRESIONES

La baja diferencia de presiones se origina por una rapidez de salida de calor en el condensador mayor que la normal, o por una disminución en la capacidad del condensador para bombear vapor. Siempre que el condensador saque calor del vapor a la velocidad necesaria, la temperatura y presión del condensador permanecerán dentro de los límites deseados

Si la baja diferencia de presiones se debe a baja rapidez de bombeo del compresor, el problema puede ser:

- R25-2. Baja presión en la succión
- R25-6. Carga inadecuada para el evaporador
- R25-7. Mala distribución de carga
- R25-8. Circuitos de distribuidor o serpentín obstruidos
- R25-9. Tubo de líquido obstruido o taponado
- R25-10. Dispositivo reductor de presión del refrigerante averiado o mal ajustado
- R25-11. Tubo de refrigerante muy estrecho
- R25-12. Falta de refrigerante
- R25-20. Serpentín inundado por aceite
- R25-22. Compresor averiado

Si la baja diferencia de presiones se debe a un aumento de la rapidez de remoción de calor en el condensador, el problema se podría deber a:

- R25-2 1. Baja temperatura ambiente

R25-6 CARGA INADECUADA PARA EL EVAPORADOR

La causa más común de baja presión de succión es carga insuficiente en el evaporador.

R25-6.1 Aire

Este problema, cuando el aire es el medio de transferencia, se debe en general a la velocidad del soplador, a alta resistencia al paso del aire en el ducto o en otras partes (mala colocación del producto en el caso de aplicaciones de temperatura media y baja), a filtros de aire sucio, o a un serpentín taponado. La causa principal es filtros de aire sucios. Con frecuencia es una combinación de dos o más de esas causas. Debido al predominio de problemas con filtros de aire obstruidos:

1. Revise y limpie o cambie los filtros de aire antes de seguir haciendo más pruebas. Todas las pruebas de caída de temperatura a través del serpentín, al igual que mediciones de presión de succión se deben hacer con filtros limpios de aire.

2. Revise para asegurarse que los ajustes de las compuertas reguladoras o de control de aire no hayan cambiado. Asegúrese que las rutas de aire no estén obstruidas con producto. Con frecuencia, las personas cambian el sistema de distribución de aire, por falta de conocimientos adecuados, por cerrar las compuertas o controles de aire sin tener en cuenta los resultados posibles.

3. Revise el motor del soplador, y su transmisión en el caso de soplador con transmisión de bandas,

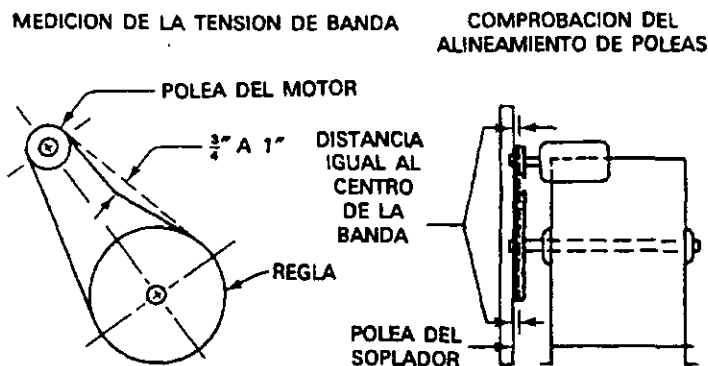


FIGURA R25-1 Ajuste de la transmisión de banda de un soplador.

para asegurarse que:

- a. El motor del soplador esté bien lubricado y trabaje libremente.
- b. El impulsor del soplador esté limpio. Las aspas podrían estar cargadas de polvo y tierra u otra suciedad. Si el rodete está sucio, *lo debe quitar y limpiar por completo*. No trate de cepillarlo, porque un mal trabajo de limpieza sólo provocará desbalanceo en el rotor y tendrá como resultado mucha vibración y ruido. Hasta podría ocasionar la desintegración del rotor.
- c. En sopladores con transmisión de banda, debe lubricar los cojinetes del soplador, para que trabajen libremente.
- d. La banda de impulsión del soplador debe estar en buenas condiciones y bien ajustada (véase figura R25-1). Las bandas cuarteadas o lisas se deben cambiar. El vidriado o lo liso de las bandas se debe a que se hacen trabajar demasiado tensas. El ajuste correcto se conoce porque se puede desviar la banda. A la mitad de la distancia entre las poleas, se debe desviar aproximadamente 1 pulgada por cada 12 pulgadas entre centros de ejes.
- e. La velocidad del soplador es la correcta. Se ajusta midiendo la caída de temperatura del aire al pasar por el evaporador

En general, las aplicaciones de alta temperatura (aire acondicionado) trabajan con una diferencia de temperaturas de 15 a 25 °F (8 a 14 °C) a través del serpentín, las de temperatura media de 5 a 15 °F (3 a 8 °C) y las de baja temperatura de 5 a 10 °F (3 a 6 °C)

Debido a la gran variedad de aplicaciones de refrigeración, debe ponerse en contacto con el fabricante M equipo para conocer la AT adecuada para su equipo en particular. Las aplicaciones del aire acondicionado se describirán con más detalle en la sección correspondiente de este libro

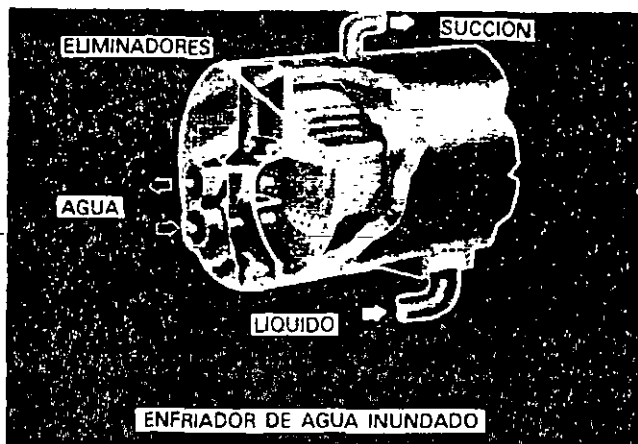


FIGURA R25-2 Enfriador de agua inundado. (Cortesía de Carrier Air-Conditioning Company.)

usan tubos en un evaporador tipo tubular. Estos cambiadores de calor se conocen como tipo coaxial. Debido a la configuración de los tubos en esta unidad, el único método del que se dispone es la limpieza química. Hay muchos tipos de sustancias limpiadoras disponibles, y se deben seguir fielmente los métodos recomendados por el fabricante del producto químico.

R25-7 MALA DISTRIBUCION DE LA CARGA

R25-7.1 Aire

Cuando el serpentín enfría al aire, es muy importante que cada vuelta del serpentín reciba cantidades iguales de carga de enfriamiento (pies cúbicos de aire por minuto) para manejar su contribución proporcional de la carga de enfriamiento. Si no se tiene un equilibrio adecuado del aire en el serpentín, se reducen la capacidad y eficiencia de éste. Sin embargo, las consecuencias de este desequilibrio son distintas si el dispositivo de reducción de presión es una válvula termostática de expansión, o si son tubos capilares múltiples

Válvula termostática de expansión: En serpentines de muchos circuitos con una válvula termostática de expansión los tubos distribuidor y alimentador dividen el flujo de refrigerante que viene de la válvula de expansión por igual a través de todos los circuitos. La figura R25-3 muestra un serpentín plano montado en posición vertical para tener un flujo

R25-6.2 Líquido

Este problema, cuando el líquido es el medio de transferencia de calor, se debe en general a depósitos en las paredes de las partes líquidas del evaporador. Los depósitos pueden ser incrustaciones, si se usa agua, o materiales sedimentados del líquido que se va a enfriar.

La mejor manera de determinar si esos depósitos han acumulado en exceso es determinar la pérdida o caída de presión del líquido que sale del serpentín, comparada con la de entrada. La diferencia es la resistencia al flujo por el serpentín, del circuito del líquido.

La figura R25-2 muestra una heladera inundada con una cabeza desmontable para hacer que los tubos del líquido se puedan alcanzar para limpiarlos con escobillón. Este arreglo se usa en general en unidades de gran tonelaje. En los sistemas más pequeños, para reducir el costo, se

horizontal de aire a través de él. El serpentín tiene cuatro circuitos alimentados por la válvula termostática de expansión y el distribuidor. Por lo tanto, cada circuito, que consiste en un cuarto de sección horizontal del serpentín, debe recibir la misma cantidad de aire (un cuarto del total) para evaporar al refrigerante que pasa por el circuito y evitar paso de líquido

El caso en el que existe el mayor potencial de desbalanceo es cuando el aire debe hacer un cambio de dirección de 90° antes de entrar al serpentín. Cuando el aire da vuelta a una esquina, la fuerza centrífuga que se produce al cambiar el aire de dirección origina que el aire se comprima en el radio exterior de la curva. Como resultado de ello, las partes del serpentín en la orilla exterior de la vuelta reciben más aire que las de la parte interna

Como las secciones reciben cantidades iguales de refrigerante, el refrigerante líquido en las secciones del serpentín que quedan más cerca de la parte interna del cambio de dirección del aire no se evaporarán por completo. El refrigerante saldrá del serpentín en estado líquido y enfriará al gas que sale de todo el conjunto del serpentín a una temperatura menor que la normal. Esta menor temperatura del gas provocará que la válvula termostática de expansión cierre de acuerdo a las necesidades de las secciones que tengan la carga menor y por lo tanto robará refrigerante necesario para manejar la carga al resto de las secciones del serpentín. La capacidad y la eficiencia de todo el serpentín se reducen mucho, la presión en la succión se equilibrará a un valor inferior al normal, y la capacidad general del sistema se reducirá

Tubos capilares: En serpentines que usan tubos capilares, la carga desbalanceada de los circuitos del serpentín hará que pase líquido y posiblemente regrese al compresor, con las consecuencias de manejo de líquido y falla del compresor. La figura R25-4 muestra un serpentín tipo A con seis tubos capilares, cada uno alimentando a un circuito separado. Como la resistencia al flujo de cada circuito es igual a la de los demás, cada circuito recibe una cantidad igual de refrigerante. En el caso del serpentín de la figura R25-4, a cada circuito va la sexta parte del total.

Si cualquiera de los circuitos no recibe carga suficiente para hacer que hierva el refrigerante en el serpentín, todo líquido que queda al final del circuito saldrá del serpentín, entrará al tubo de succión y recorrerá por él hasta haber adquirido el suficiente calor como para terminar el proceso de ebullición. Cuando los tubos de succión están aislados, en general el calor disponible no es suficiente para evitar que entre refrigerante líquido al compresor, y posiblemente lo dañe.

Independientemente del dispositivo de reducción de presión que se use, se debe revisar el serpentín para estar seguro que la caída de temperatura del aire a través de cada sección transversal del circuito sea aproximadamente igual y que el aumento de temperatura del refrigerante (sobrecalentamiento) en cada circuito sea el mismo.

A veces es necesario instalar mamparas desviadoras o compuertas divisoras para asegurar la distribución necesaria de aire. Siempre se instalan en el lado de entrada del serpentín. Nunca es problema la distribución del aire que sale del mismo, desde el punto de vista de la eficiencia de éste.

R25-7.2 Líquido

La descripción anterior sobre el desbalance de aire también se aplica a los serpentines de enfriamiento con líquido. Las cargas desbalanceadas rara vez son problema, a menos que algún mecánico de mantenimiento haya cambiado las empaquetaduras de los espejos por una inadecuada, o haya instalado mal la empaquetadura provocando desviaciones en el paso del líquido entre los circuitos. Desafortunadamente, en el caso de los enfriadores de agua, esta carga desbalanceada no sólo aparece como una baja presión de succión, sino que en general origina congelación del agua en el serpentín, con los daños resultantes a los tubos, y fugas de éstos. El secar el circuito de refrigerante en una heladera de agua de 150 ton por haberse llenado de agua a causa de congelamiento por empaquetadura de cabezal mal instalada, es una tarea tardada y cara.

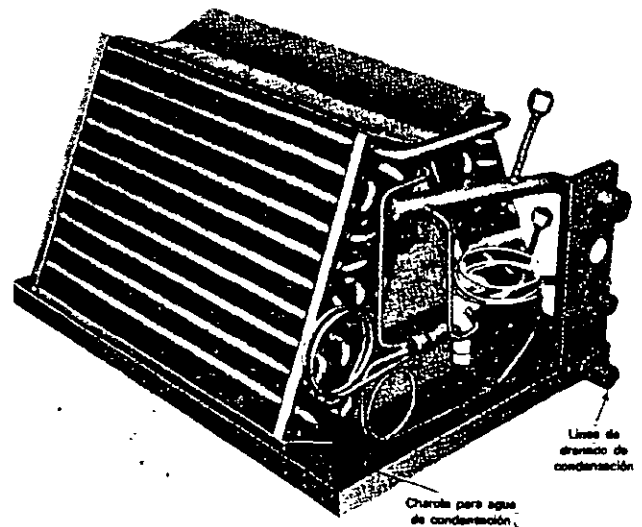


FIGURA R25-3 Serpentín con válvula termostática de expansión. (Cortesía de Borg-Warner Central Environmental Systems, Inc.)

R25-8 CIRCUITOS TAPONADOS EN EL DISTRIBUIDOR O EL SERPENTIN

Otra causa de baja presión de succión, en especial en instalaciones nuevas, es la obstrucción de la conexión, los tubos alimentadores del serpentín, o tubos capilares. Esto produce las mismas reacciones que una mala distribución de aire por el serpentín, porque éste no puede producir vapor de refrigerante con la suficiente rapidez como para mantener la presión de succión entre los límites correctos.

Los resultados de las pruebas de la temperatura del aire que sale serán los mismos que cuando la caída de temperatura del aire a través de la sección del serpentín son incorrectos, excepto que la temperatura del gas que sale de la sección será considerablemente mayor que en el resto del serpentín, y la caída de temperatura del aire a través de la sección del serpentín será muy baja. El resultado es que el compresor tiene más capacidad de manejar vapor que la que tiene el serpentín de producir vapor, y el sistema trabaja a una capacidad total menor y a una presión de succión menor que la normal.

La reparación de serpentines con obstrucciones es un procedimiento puramente mecánico. Sin embargo, nunca se debe llevar a cabo el proceso de cortar y sacar tubos del serpentín, o sacarlos de circulación, o cortar tramos de tubos alimentadores del circuito, o de tubos capilares para circunvalar o eliminar el tapón. Es mejor cambiar el serpentín si el bloque no se puede quitar. El circunvalar tubos de serpentín o acortar tubos alimentadores provoca un desbalanceo en la capacidad de las secciones del serpentín, y ocasiona menor capacidad del serpentín y del sistema. Si se acorta la longitud de los tubos capilares tan sólo se reducirá la caída de presión a través del tubo, se elevará la presión de trabajo del serpentín, se reducirá la diferencia de temperaturas entre el refrigerante y la carga, y se reducirá la capacidad del serpentín. También se puede provocar abundante paso de líquido al compresor, y daños al sistema. Los tubos capilares taponados se deben cambiar por otro de igual diámetro y longitud para mantener la eficiencia de diseño del sistema.

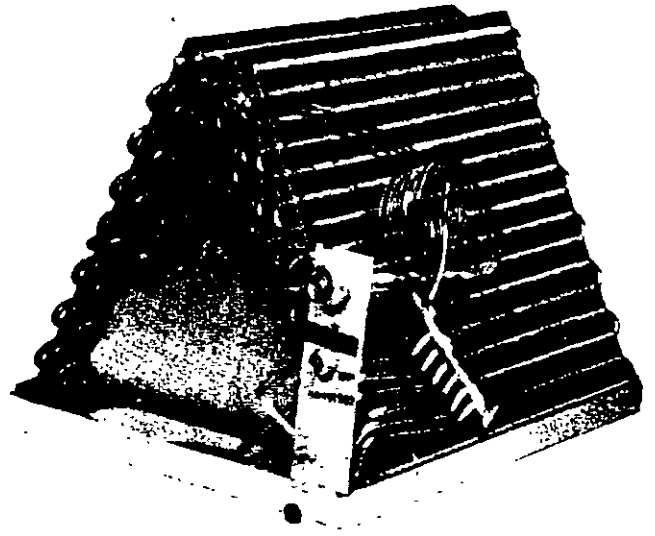


FIGURA R25-4 Serpentín con tubos capilares. (Cortesía de Addison Products.)

R25-9 TUBO DE LÍQUIDO OBSTRUIDO O TAPONADO

Para que el evaporador produzca suficiente vapor de refrigerante para satisfacer la capacidad del compresor a un punto de equilibrio normal de presión de succión, el serpentín debe recibir un flujo de refrigerante líquido sin estorbos. Esto quiere decir que el tubo de líquido debe estar libre de estorbos desde el punto de salida del condensador, pasando por el recibidor, en caso de que lo haya, a través de secador, mirilla, control de refrigerante (como por ejemplo válvula solenoide del tubo de líquido), y tubo de líquido, para pasar por el dispositivo reductor de presión y a la entrada del serpentín. Los estorbos o taponamientos que haya, si son lo suficientemente serios como para afectar la operación, en general producirán suficiente caída de presión como para provocar una reducción del punto de ebullición del líquido hasta un nivel en el que se efectúa la evaporación del refrigerante. Esto producirá una caída de temperatura que se puede sentir a ambos lados de la restricción, mediante termómetros de superficie.

La figura R25-5 muestra un termómetro de cuatro canales y dos rangos no terminales, que se puede usar para este fin. Se debe usar un termómetro sensible y exacto. Los dedos o la mano no son lo bastante sensibles.

La figura R25-6 muestra la versión digital del mismo instrumento, que es más fácil de leer y es más exacta. Instrumentos como éstos son parte esencial del equipo de pruebas del técnico.

Cuando se crea que hay mucha caída de presión en el tubo

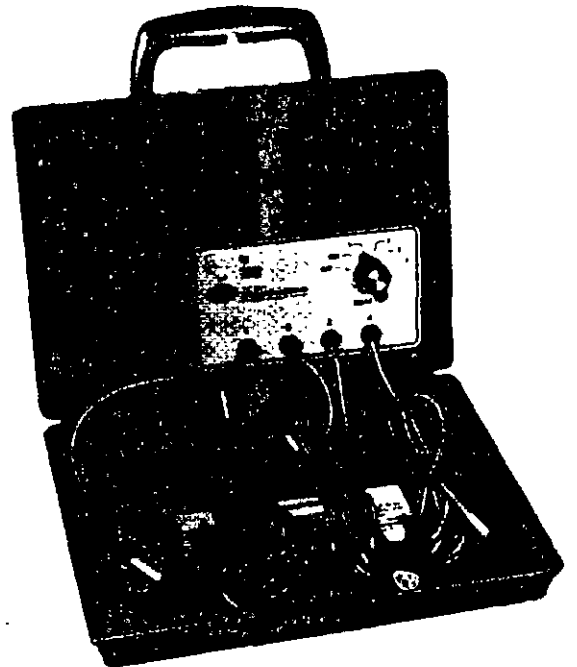


FIGURA R25-6 Termómetro Robinair modelo 14820. (Cortesía de Robinair Manufacturing Corporation.)

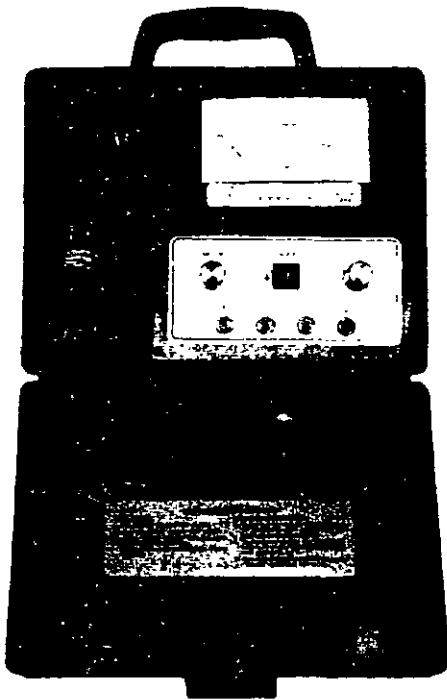


FIGURA R25-5 Termómetro Robinair modelo 14840.
(Cortesía de Robinair Manufacturing Corporation)

serpentín, si se abre la válvula, o bien se reduce la capacidad del serpentín si se cierra la válvula. Por lo tanto, compruebe primero las demás posibilidades de problema antes de ajustar o cambiar la válvula. Aun si se han agotado las demás posibilidades, desarme y limpie el cuerpo de la válvula y el colador de entrada antes de hacerle cualquier ajuste.

Es posible que la válvula se pegue en una posición casi cerrada, en posición completamente cerrada o en posición completamente abierta. A veces, lo que estorba el flujo de refrigerante líquido por la válvula, o lo tapona hacia el evaporador, es polvo, soldadura o cualquier otro material resultante de prácticas incorrectas de instalación, o bien humedad causada por mala evacuación. En ese caso, si la unidad tiene un control de baja presión, el compresor se encenderá y apagará con frecuencia, cuando la válvula de expansión está parcialmente taponada y no entra el líquido suficiente al evaporador.

Cuando la válvula de expansión se tapa por completo, el compresor hace que baje la presión en el evaporador, hasta llegar al punto de corte del control de baja presión, con lo cual se para el compresor. Si no hay interruptor de control de baja presión en el sistema, el compresor continuará trabajando sin hacer función útil hasta que se sobrecalientan los devanados del motor (debido a la falta de vapor para enfriamiento) y se dispara la protección por sobrecalentamiento. La única falla real que puede presentarse en una válvula termostática de expansión es la pérdida de carga en el elemento de accionamiento. Esta pérdida de presión sobre el diafragma de la válvula permitirá que el resorte interno empuje la aguja a su asiento y cierre la válvula. A continuación el sistema será el mismo que cuando se tiene una válvula taponada. Para ajustar el sobrecalentamiento de las válvulas, véase la sección R10-5.

R25-10.2 Tubos capilares

Los tubos capilares tan sólo son tubos de líquido de pequeño diámetro, con resistencia al flujo de refrigerante líquido suficiente como para producir la caída de presión y caída en el punto de ebullición necesaria para obtener los resultados deseados. Como la resistencia del tubo capilar queda determinada por su diámetro interior, el único problema que se puede encontrar sería el taponamiento. Debido al pequeño diámetro interior del capilar, es muy difícil limpiarlo y se recomienda reemplazarlo por completo. Para mejores resultados, el tubo de reemplazo debe tener la misma longitud y el mismo diámetro interior (véase sección R107.2).

del líquido, pero no se tengan resultados con los métodos normales de detección, podría necesitarse instalar un manómetro inmediatamente antes del dispositivo de reducción de presión para indicar la presión real del líquido en este punto. Esta presión nunca debe ser menor que 10 psig menos que la de descarga del compresor. Si se encuentra una presión menor que lo que se dijo, se debe llevar a cabo una búsqueda sistemática del tubo. Hay excepciones a esta regla cuando el fabricante, en especial cuando se usan tubos capilares o restrictores del tubo de líquido, usa tubos estrechos para el líquido como parte de la función de reducción de presión. En esos casos, el diámetro del tubo de líquido y su longitud no deben cambiarse (véase sección R13-4).

R25-10 DISPOSITIVO DE REDUCCION DE PRESION DE REFRIGERANTE AVERIADO O MAL AJUSTADO

R25-10.1 Válvula termostática de expansión

El funcionamiento de la válvula termostática de expansión se describe en la sección R10-4. Estas válvulas, embarcadas con las unidades, se ajustan en fábrica y nunca debe cambiarse el ajuste, excepto después de una medición exacta del sobrecalentamiento.

Como la válvula termostática de expansión trabaja para mantener un sobrecalentamiento constante del gas que pasa por el serpentín, si se cambia el ajuste de la válvula sólo se inunda el

R25-11 TUBOS DEL REFRIGERANTE DEMASIADO ESTRECHOS

R25-1 1.1 Tubo de succión

Aun cuando el evaporador pueda producir el vapor de refrigerante suficiente como para satisfacer la capacidad del compresor dentro de los límites normales de presión de succión, si el tubo de succión es demasiado estrecho y tiene mucha resistencia al flujo, la presión de succión medida en la conexión de válvula de servicio en la succión será baja. Esto también quiere decir que hay bajas eficiencias de compresor, mayores temperaturas de trabajo en el evaporador, etc., con la reducción consecuente en la eficiencia del sistema. Es una obligación tener el dimensionamiento adecuado del tubo de succión. Para dimensionarlo, véase la sección R13-5.

R25-11.2 Tubo de líquido

También hay la posibilidad que el tubo de líquido no conduzca el refrigerante suficiente para satisfacer las necesidades del evaporador, no debido a estorbos, como se explicó en la sección R25-2.4, sino a que el tubo sea estrecho. En el tubo de líquido, también es muy importante dimensionarlo para tener mínima caída de presión. Véase la sección R13-7 para mayores detalles acerca del dimensionamiento correcto.

R25-12 FALTA DE REFRIGERANTE

La causa más común de falla del sistema y de llamadas solicitando servicio es la pérdida del refrigerante del sistema. Los sistemas de fábrica están probados a presión, hasta 250 o 300 psig, y probados contra fugas con detectores electrónicos de fugas capaces de indicar fugas de ½ onza de refrigerante por año. A su vez, la parte del sistema instalada en campo se debe revisar del mismo modo.

Si en determinado momento se encuentra que al sistema le falta refrigerante, se debe encontrar y reparar la fuga, y evacuar el sistema para recargarlo. Cuando se buscan fugas, revise todas las superficies de cada parte del sistema de refrigeración. Esto comprende todos los tubos del evaporador y condensador, todas las uniones de fábrica o de campo, todos los tramos de tubo, todas las conexiones y también las terminales eléctricas del compresor y las uniones soldadas del mismo.

Se sabe de casos en que pijas de lámina perforan tramos de tubo, cambios de dirección de serpentines, etc; hay niños que perforan los tubos de condensador con clavos, alambres, etc. *Nunca suponga que una parte del sistema sea hermética, aun cuando esté armada o instalada en fábrica.* Las instrucciones de evacuación y carga del sistema viene en las secciones R22-6 a R22-13.

Cuando se evapora el refrigerante líquido, el espacio que ocupa aumenta muchas veces. Por ejemplo, una pulgada cúbica de R-22 líquido se expande hasta 52 pulg³ de vapor, y si es R-12, a 68 pulg³. Por lo tanto, cualquier cantidad de vapor de R-22 *que entre* al evaporador (no que se produzca en él), reduce el efecto de refrigeración 52 multiplicado por la cantidad del vapor que entra. Si se forma 1 pulg³ de vapor en el tubo del líquido, o entra al tubo de líquido proveniente del condensador debido a que la carga de refrigerante sea baja, este vapor toma el lugar del líquido necesario para producir 52 pulg³ de vapor en el evaporador. Junto con la reducción que produce el vapor, la capacidad de enfriamiento del serpentín también se reduce, por la pérdida de capacidad de líquido para absorber el calor necesario. Así, es muy importante que siempre haya el refrigerante suficiente en el sistema, para dar la plena capacidad del serpentín de enfriamiento.

R25-12.1 Determinación de la cantidad de refrigerante

La cantidad de refrigerante en el sistema para tener el funcionamiento correcto depende del tipo de dispositivo de reducción de presión que se use, y de si se tiene recibidor.

Sistemas con recibidor. En sistemas que tienen recibidores, como por ejemplo uno con válvula de expansión, y flotador del lado de baja o dispositivos de control de nivel de líquido, la cantidad de refrigerante cargado no es tan crítica mientras haya suficiente líquido en el recibidor como para mantener un sello en el tubo de salida del mismo. La medición de la carga adecuada en este sistema sería de un tercio a la mitad de la altura del recibidor, cuando el sistema trabaja a capacidad máxima. Al disminuir la carga, el refrigerante que sobra se almacena en el recibidor y hace que la altura del líquido sea de la mitad a tres cuartas partes de la del recibidor. Sólo es necesario agregar el refrigerante suficiente como para obtener una altura adecuada de líquido.

Sistemas sin recibidor: Los sistemas sin recibidor dependen de que los tubos inferiores del condensador funcionen como almacenamiento del refrigerante que sobra cuando el sistema tiene baja carga. Por lo tanto, la cantidad de refrigerante cargado al sistema es mucho más crítica que si se usa recibidor. Cuando se carguen esos sistemas, la carga correcta producirá el subenfriamiento correcto del líquido antes de salir del condensador. Para aplicaciones de temperaturas baja y media en las que la carga es bastante constante, un subenfriamiento de 10 a 12 °F (6 a 7 °C) producirá, en general, las mejores capacidades y eficiencias. Las unidades de aire acondicionado, debido a la mayor variación de la carga, trabajan en general a entre 10 y 20 °F (6 a 13 °C) de subenfriamiento. Se deben llevar a cabo

mediciones de subenfriamiento entre los límites normales de temperatura ambiente exterior de 65 °F (18 °C) como mínimo y 115 °F (46 °C) como máximo.

Estas indicaciones de subenfriamiento significan en general que los dos tubos del fondo del condensador contienen líquido y están a menor temperatura que el resto de la superficie del condensador. Tan sólo se encuentran a o cerca de la norma para las condiciones de diseño; por lo tanto, no es una medición exacta de la cantidad de líquido en el sistema. Puede ser una comprobación aproximada, porque si la variación de temperatura entre el refrigerante que se condensa y el líquido está mucho más arriba que los dos o tres tubos de la parte inferior, la unidad definitivamente tiene sobrecarga. Si no se siente variación de temperatura en los tubos inferiores, a la unidad le falta refrigerante. En cualquier caso, se deben fijar manómetros y termómetros, y se deben hacer mediciones para determinar las condiciones que existen.

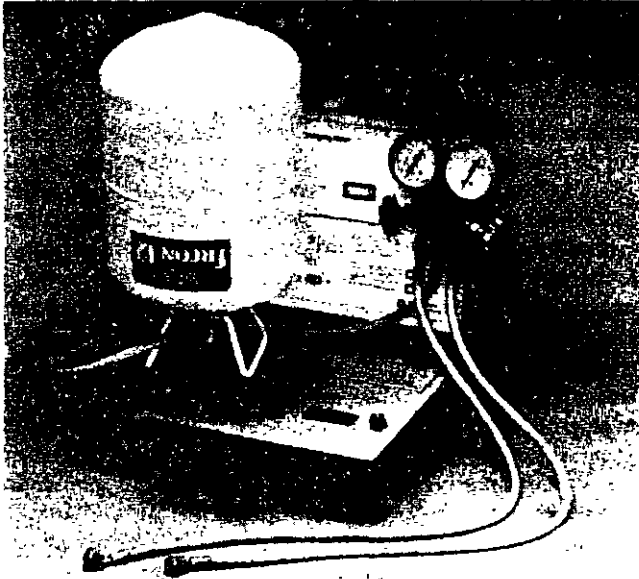


FIGURA R25-7 Medidor electrónico de carga (Cortesía de TIF Instruments, Inc.)

evacuación, consulte el capítulo R23.

Sistemas sin recibidor: Los sistemas que no tienen recibidor se deben cargar en forma precisa, con error máximo de 110 gramos (4 onzas) de refrigerante si tienen válvulas termostáticas de expansión, y 15 gramos (½ onza) si tienen tubos capilares. En todo caso, debido a que el peso del refrigerante en el sistema no se conoce, lo mejor es evacuarlo y comenzar a cargar partiendo de alto vacío. Los métodos de evacuación y carga se presentan en las secciones R22-6 a R22-13.

La figura R25-7 muestra una unidad electrónica de carga con lectura digital que permite cargar una unidad con una exactitud de 15 g (½ onza) respecto al valor correcto. Se recomienda mucho el empleo de un medidor como éste para alcanzar la mejor eficiencia de la unidad, con el menor costo de operación y la vida más larga del sistema.

R25-13 SOBRECARGA DE REFRIGERANTE

Una sobrecarga del refrigerante en el sistema provocará síntomas iguales a los de un condensador tapado, avería en el motor o transmisión del ventilador, o aire en el sistema. La razón de la mayor diferencia de presiones se debe a que el refrigerante líquido ocupa un mayor porcentaje de los tubos del condensador, reduciendo la capacidad de transmisión de calor del condensador. Como resultado de ello, la cantidad de subenfriamiento del refrigerante líquido que sale del condensador será mayor que lo normal. Lo único que puede elevar la cantidad de subenfriamiento es demasiado refrigerante en el sistema. El subenfriamiento sólo se afecta por la cantidad de líquido en el condensador. Esta puede deberse a estorbos al flujo en el tubo de líquido (véase sección R25-9), o a una sobrecarga de refrigerante en el sistema. Si la causa es sobrecarga, los demás síntomas dependerán del tipo de sistema.

R25-13.1 Sistemas con válvula termostática de expansión

La válvula termostática de expansión se diseña para limitar el flujo de refrigerante al evaporador, de acuerdo con las necesidades de carga de éste. Por lo tanto, la cantidad total de refrigerante en el sistema no afectará la acción de la válvula termostática de expansión, a menos que al sistema le falte refrigerante, o esté tan sobrecargado que la diferencia de presiones sea demasiado alta.

R25-12.2 Carga de refrigerante al sistema

Sistemas con recibidor: ¿Se debe evacuar el sistema, y recargar, o tan sólo se debe agregar refrigerante hasta que se tenga el nivel correcto en el recibidor? La respuesta a lo anterior es: ¿Hay algo de refrigerante líquido en el sistema o tan sólo hay vapor de refrigerante?

Para comprobarlo rápidamente se emplea un psicrómetro de onda para determinar la temperatura ambiente en la unidad de condensación estando apagada la unidad durante un período lo suficientemente largo como para igualar la temperatura de la unidad y la ambiente. Cuando la temperatura de la unidad sea la ambiente, la presión en el sistema inactivo debe ser igual a la presión equivalente de saturación para el tipo de refrigerante del sistema. Si la presión es menor que este equivalente, el sistema sólo tiene vapor y se debe evacuar y cargar comenzando con alto vacío. Si la presión es mayor que la de saturación, el sistema podría tener aire u otros gases no condensables. De nuevo, el sistema se debe evacuar y cargar en este caso, comenzando con alto vacío. Para informes de los métodos adecuados de

También, como la válvula termostática de expansión cierra durante el ciclo de apagado, cualquier exceso de refrigerante en el sistema permanecerá en el condensador y en el receptor, si se usa.

R25-13.2 Sistemas de tubo capilar

El tubo capilar que se usa en este tipo de sistema pasa refrigerante líquido en función de la caída de presión a través del capilar. Por lo tanto, si la presión del líquido que entra al tubo aumenta por cualquier motivo, la capacidad de flujo aumenta. Esto hará que la cantidad de refrigerante en el serpentín sea mayor que la normal. Si el sistema tiene carga correcta, sólo hay el refrigerante suficiente como para llenar el serpentín, y como resultado sólo se tendrá un aumento en la temperatura de operación de éste. Sin embargo, si el sistema se sobrecarga, el refrigerante llenará el evaporador y saldrá de él, y posiblemente llegue al compresor en estado líquido. Esto reduce la capacidad del sistema a causa del vapor formado por el calor absorbido en otro lugar que no es el evaporador. Si regresa suficiente refrigerante líquido al compresor, se le puede acabar el aceite o éste puede pasar a los cilindros y provocar golpes de líquido y daños.

En la parte apagada del ciclo, el tubo capilar continúa pasando refrigerante hasta que se equilibran las presiones en el sistema. Esto quiere decir que pasará un exceso de refrigerante a la salida del serpentín, por el tubo de succión, y llegará al compresor. En este caso el refrigerante hace que flote el aceite y se asienta en la parte inferior del compresor. Si hay suficiente refrigerante en el sistema para hacer flotar al aceite arriba de la entrada a la bomba de aceite del conjunto del compresor, la bomba succionará refrigerante líquido en lugar de aceite. Como el refrigerante líquido es un solvente excelente y no tiene propiedades lubricantes, lava todo el aceite de la bomba, los tubos del mismo, y las superficies de cojinetes. El compresor se echa a perder con rapidez debido a esta falta de lubricación.

También, al bajar la presión en el compresor sobre el nivel del aceite, el refrigerante líquido se evapora debido a la disminución del punto de ebullición, por debajo de la temperatura del aceite. El vapor de refrigerante pasa a través del aceite, provocando espuma. Esta espuma llena la caja del compresor, entra a continuación a la succión de los cilindros (los conjuntos de motor y compresor de alta eficiencia no tienen separadores de aceite sobre el eje del motor), y a los cilindros mismos. La presión hidrostática que resulta cuando los pistones del compresor tratan de comprimir el aceite provoca ruptura de válvulas, ruptura de biela o de placa de válvulas, etc. Esto se nota siempre por demasiado ruido de golpes de líquido, y vibración.

Por lo tanto, en sistemas de tubo capilar, la carga de refrigerante es muy crítica. Si hay duda acerca de la carga correcta del sistema, descárguelo y evacúelo totalmente, y vuélvalo a cargar con la cantidad que aparezca en la placa de la unidad. No es posible medir con exactitud la cantidad de carga, y agregar refrigerante hasta la cantidad correcta. Evacúe y comience de nuevo.

R25-14 CONDENSADOR OBSTRUIDO

Si el radiador de un automóvil se tapa con insectos, hojas, pasto, tierra u otros materiales, el motor se sobrecalienta. Igualmente, si el condensador del refrigerador o la unidad de aire acondicionado se tapa con insectos, hojas, pasto u otros materiales, la capacidad de transmisión de calor del condensador se reduce, aumenta la diferencia de presiones, el consumo de corriente sube, etc., hasta que la unidad se sobrecalienta lo suficiente como para pararse por sobrecarga, o por acción del control de alta presión. Como la obstrucción del condensador es gradual, es posible que la unidad trabaje sobrecargada sin que entre el corte por alta presión durante cierto tiempo. Con ello se puede incurrir en alto costo de operación, al igual que en problemas eléctricos relacionados al sobrecalentamiento de las partes eléctricas. Las unidades de refrigeración y aire acondicionado deben limpiarse escrupulosamente al inicio de cada estación de funcionamiento al máximo, que generalmente es en la primavera, antes de comenzar la estación cálida.

En el caso de las bombas térmicas, el serpentín exterior" (condensador) debe limpiarse al inicio de la estación de enfriamiento (la primavera), *pero se debe limpiar al inicio de la estación de calefacción* (el otoño). A causa de las menores temperaturas del aire que pasa por el serpentín exterior, cuando es el evaporador durante el ciclo de calefacción, es importante mantener la capacidad del serpentín tan alto como sea posible. En general, el condensador se puede limpiar con cepillo de cerdas rígidas, o con una escoba. Se puede usar un escobillón rígido redondo con asa de alambre, como los de limpieza de botellas con la cabeza doblada a un ángulo de 90°, con vaivenes verticales entre las aletas. *Tenga cuidado de no doblar las aletas.*

Las capas gruesas de tierra y polvo se pueden quitar humedeciendo el condensador con una solución concentrada de detergente para lavavajillas, o con limpiadores comerciales de serpentín, y lavando con una manguera de jardín. Siempre enjuague en dirección opuesta a la del flujo de aire a través del condensador. Los limpiadores de aspersión a presión también se pueden emplear. La limpieza periódica es un procedimiento sencillo. Si se deja de hacer puede llegar a dificultarse y a ser costosa, y en casos extremos se necesitará cambiar el condensador.

R25-15 MOTOR O LA TRANSMISION DEL VENTILADOR DEL CONDENSADOR AVERIADOS

R25-15.1 Ventiladores con transmisión de banda

Una gran resistencia, o atoramiento del motor del ventilador del condensador, o cualquier otro problema eléctrico que desacelere al motor, una banda en mal estado, una banda demasiado tensa (véase R25-6.1), o cojinetes del soplador que resistan o se atoren también provocarán una alta diferencia de presiones. Cualquier resistencia, atoramiento o amarramiento que reduzca la velocidad del soplador hará disminuir drásticamente la cantidad de aire que pasa por el condensador, reducirá la eficiencia de éste, y elevará la diferencia de presiones.

R25-15.2 Ventiladores tipo hélice para condensador

La cantidad de aire que pasa por el condensador en las unidades con ventilador tipo hélice se ajusta en fábrica y no se puede cambiar en el campo. Como un aumento de resistencia al flujo de aire por el ventilador reduce seriamente la cantidad de aire entregada por ese tipo de ventilador, no es posible agregar resistencia al circuito de aire por el condensador. No se permite ducto en el lado de entrada o salida de una unidad, a excepción de los paquetes diseñados en fábrica, en donde se tienen en cuenta las condiciones.

La entrada desbalanceada del aire al condensador puede provocar una avería seria del ventilador. En los condensadores grandes enfriados por aire, donde entra aire por extremos opuestos y se descarga por la parte superior de la unidad, el instalar la unidad junto a la construcción, o junto a cualquier superficie vertical reduce la cantidad de aire que pasa por un lado de ella. Esa reducción originará desequilibrio de presión a la entrada del ventilador, flexionando mucho las aspas de éste, y una alta frecuencia de ruptura de aspas. Las aspas salen despedidas a través de los condensadores y salen por la parte superior de las unidades, poniendo en peligro a personas y bienes.

También existe la posibilidad de reducción de cantidad de aire a través del condensador por una desaceleración del motor del ventilador de hélice. Una lubricación incorrecta del motor, o una resistencia o atoramiento mecánicos del motor son las causas más comunes de esta reducción de velocidad del ventilador.

Mida el amperaje del motor del ventilador. Esta cantidad debe aparecer en la placa de la unidad. Si la corriente es mayor que la de placa se debe revisar la unidad. Si el motor del ventilador del condensador es del tipo de capacitor dividido permanente (o sea, tiene un capacitor de marcha en el circuito del devanado de arranque), revise ese capacitor antes de hacer cualquier cosa en el motor. Si el capacitor está en corto, el motor trabajará a menor velocidad y tomará demasiada corriente. En general, el flujo grande de corriente es suficiente como para hacer que el motor encienda y apague por accionar el corte por sobrecarga con restablecimiento automático. Si el capacitor está abierto, el motor podrá arrancar y trabajar en cualquier dirección. Si el viento hace que el ventilador gire en sentido contrario, continuará trabajando en esa dirección.

Una prueba rápida del capacitor es tener apagada la unidad, y hacer girar el ventilador en sentido contrario. Al estar girando así, pone en marcha la unidad. El ventilador debe detenerse, invertir su movimiento y ponerse a girar. Si continúa trabajando en dirección contraria, el capacitor está abierto o mal conectado.

La mayor parte de los motores de ventilador de hélice emplean cojinetes lubricados en forma semipermanente. No se necesita aceitarlos durante los primeros 2 años. Después de ese período, se agrega al motor 1 cucharadita de aceite marino N2 10, de aceite especial para motores eléctricos, o aceite mineral puro, no más de una vez al año. No use aceites con aditivos contra oxidación, como por ejemplo el Tres en Uno, el Finol, o los aceites automotrices. Todos los aceites automotrices contienen detergentes, jabones y otros aditivos.

R25-16 UBICACION DE LA UNIDAD

Es muy importante la ubicación de una unidad de condensación enfriada por aire, o la sección del lado de alta de una unidad paquete desde el punto de vista de operación. Se puede comparar al condensador con el radiador de un automóvil. Ambos están diseñados para transmitir calor al aire que pase por las aletas. El hacer trabajar un automóvil con una obstrucción frente al radiador hará que se sobrecaliente el motor; esta obstrucción puede ser tan sólo hacer trabajar el motor en vacío cuando la defensa delantera topa con la pared de la cochera. Si se hace trabajar en vacío el motor con el automóvil estacionado de tal modo que tenga un viento intenso de cola hará que se sobrecaliente; el viento soplará al aire caliente que se descarga bajo la parte trasera del automóvil hacia adelante, y lo mezclará con el aire que va al radiador.

El mismo principio que gobierna el funcionamiento del radiador de un automóvil se aplica al condensador. Nunca ubique la unidad de condensación donde los vientos dominantes hagan que el aire de la descarga vaya hacia la entrada de la unidad. También, cuando entre la descarga de una segunda unidad a la entrada de la primera, el aire de la segunda unidad, a mayor temperatura, hará que se sobrecaliente la primera unidad.

Nunca instale una unidad de condensación donde pueda quedar atrapado el aire de descarga, como por ejemplo cuando se descarga el aire hacia el rincón de una construcción, o colocando la unidad en un cajón, o entre construcciones adyacentes con menos de 3 metros de distancia entre ellas. Aleje de la unidad arbustos o plantas decorativas. Se ven muy bonitos, pero desde el punto de vista de operación y mantenimiento son muy costosos.

R25-17 AIRE EN EL SISTEMA

Una causa normal de alta diferencia de presiones es que haya aire u otros gases no condensables en el sistema. Un mal trabajo de evacuación, al tratar de sacar la humedad, o tan sólo la purga del sistema para sacar la humedad, pueden ocasionar que quede aire en el sistema. También, si se usan nitrógeno o dióxido de carbono secos como auxiliares para pruebas de presión, esos gases no condensables se acumularán en el condensador. Como ocupan espacio en el condensador, es necesario que el refrigerante del sistema se comprima más para ocupar el espacio que quedó. Esto ocasiona la necesidad que el compresor aumente la diferencia de presiones para llevar a cabo la transmisión necesaria de calor. También, cuando los gases no condensables ocupan parte del espacio del condensador, dicho espacio no cuenta como superficie efectiva de transmisión de calor en el condensador. Esto hace que la parte restante del condensador desarrolle una mayor AT entre el vapor del refrigerante y el radiador de calor, con lo que se tienen mayores diferencias de presión. Si existen gases no condensables en el sistema, es necesario purgarlos para reducir la diferencia de presiones de operación.

R25-17.1 Sistemas de válvula termostática de expansión

Para determinar si hay no condensables en el sistema:

1. Apague la unidad de condensación.
2. Conecte un puente que salte los contactos del relevador del ventilador, o conecte el motor del ventilador del condensador con el lado vivo del contactor del compresor, y haga trabajar al motor del ventilador del condensador hasta que se haya alcanzado una presión mínima.
3. Esta presión debe quedar a menos que 5 psig de la presión de saturación equivalente del refrigerante, que es la temperatura ambiente de la unidad. Por ejemplo, suponiendo que la temperatura ambiente es 90 °F en una unidad que use R22, la presión mínima debe ser 170 ± 1 psig; por lo tanto, si la presión es 175 psig o menos, el sistema está libre de no condensables.

Si la presión no baja lo suficiente, es necesario purgar los gases no condensables. Esto se hace abriendo la válvula del lado de descarga del cabezal de manómetros estando apagada la unidad de condensación, y trabajando el ventilador del condensador con un puente, o reconexión, hasta que la presión baje hasta el nivel adecuado. La purga se debe llevar a cabo en cantidades pequeñas con un intervalo corto entre purgas para permitir que el aire se acumule en el cabezal de entrada del condensador, para poder purgarlo con un desperdicio mínimo del refrigerante. Se debe evitar la acumulación de gases no condensables mediante una evacuación total del sistema con una buena bomba de vacío antes de cargar refrigerante (véase sección R22-7).

R25-17.2 Sistemas de tubo capilar

No es posible determinar la presencia de gases no condensables en sistemas de tubo capilar, debido a que las presiones en el sistema se equilibran durante el ciclo de apagado. Por eso, si se cree que la diferencia de presiones es elevada a causa de no condensables, descargue la unidad, evacúe el sistema y vuélvala a cargar con refrigerante. Por la incapacidad de detectar no condensables en este tipo de sistema, es absolutamente necesaria una completa evacuación.

R25-18 TUBO DE GAS CALIENTE OBSTRUIDO

En sistemas con condensadores remotos enfriados por aire, las posibilidades que hay de obstrucciones por demasiada soldadura en el tubo o en las uniones, etc., representan una fuente de problemas por alta diferencia de presiones. Esto se indica por una presión alta de descarga del compresor, con rápidas pulsaciones de presión originadas por la carga del tramo de tubo entre el compresor y la obstrucción. También, cuando se para el compresor, la presión de descarga baja con mucha rapidez a la presión normal de saturación correspondiente a la temperatura de condensación del refrigerante. En general, una obstrucción de ese tipo se puede descubrir mediante el sonido del gas de alta presión que pasa por la obstrucción, que produce un silbido como el del aire que sale por un neumático perforado. En un caso como éstos, es necesario descargar todo el sistema, abrir la unión taponada, limpiar y volver a soldar, evacuar al sistema y volverlo a cargar.

R25-19 ESCAPE EN EL DISPOSITIVO DE CONTROL DEL REFRIGERANTE

Cuando los solenoides del tubo de líquido, las válvulas termostáticas de expansión con piloto, u otro dispositivo a control de flujo del refrigerante líquido se emplean junto con un control de presión de succión para detener la unidad, es posible que la presión de succión suba más que el punto de ajuste del corte y haga que cierre y ponga a trabajar la unidad. El compresor reducirá con mucha rapidez la presión de succión hasta el punto de ajuste del corte del control de presión de succión, y apagará la unidad. Esta acción continua de arranque y parada cortos es perjudicial para el sistema eléctrico, en especial al capacitor de arranque, y provoca la falla de capacitores y, posiblemente, queme al motor del compresor.

Si el dispositivo presenta fugas de refrigerante en la parte apagada del ciclo, se puede descubrir con termómetros eléctricos. Cualquier caída de temperatura entre la entrada y la salida de la válvula es buena indicación de la expansión del refrigerante líquido al pasar por el dispositivo. Este dispositivo tendrá que quitarse del sistema, limpiarse o cambiarse, y evacuar y recargar el sistema para que la operación sea correcta.

Es posible que el aumento de presión en la succión no se deba a que hay un escape en el dispositivo de control de refrigerante, sino a que regresa el refrigerante a través del compresor parado (véase sección R25-22).

R25-20 SERPENTÍN INUNDADO DE ACEITE

El capítulo R13 describe la instalación correcta de los tubos de succión para evitar que el aceite se acumule en el serpentín; por lo tanto, este problema debería presentarse muy rara vez. Sin embargo, el problema puede existir y causar bajas presiones de succión, baja capacidad del evaporador, y una pérdida seria de capacidad del sistema, porque elimina parte de la capacidad del evaporador. Los circuitos en el serpentín del evaporador se llenan con aceite hasta el punto en que la caída de presión en el serpentín no es lo suficientemente alta como para sacar al aceite del circuito. Esto sucede en el caso de evaporadores con válvula termostática de expansión. El único remedio es descargar el sistema, o encerrar al refrigerante, instalar trampas y pendientes adecuadas en el tubo de succión, evacuación y recarga del sistema. En los sistemas de tubo capilar con carga correcta, no se presentan acumulaciones de aceite.

R25-21 BAJA TEMPERATURA AMBIENTE

Los sistemas de refrigeración y aire acondicionado enfriados por aire se diseñan para trabajar a una temperatura ambiente mínima en el condensador de 65 °F. A temperaturas menores que ésta la diferencia de presiones será demasiado baja como para que el dispositivo reductor de presión alimente el refrigerante líquido suficiente para que el evaporador conserve la presión de succión entre los límites correctos. Como resultado de ello, la pérdida de capacidad es grande, el tiempo de trabajo aumenta, y si el sistema está controlado por un control de baja presión, se tendrán paros y arranques frecuentes (véase sección R12-8).

R25-22 MOTOR DEL COMPRESOR QUEMADO

Véase sección R 11- 16.

R25-23 UNIDAD DE BAJA CAPACIDAD

Con el sistema trabajando con las presiones de succión y descarga entre los límites normales, la caída de temperatura del aire a través del evaporador entre los límites deseados, el aumento de temperatura del aire a través del condensador entre los límites necesarios, y el paso de corriente al motor del compresor entre los límites correctos, la unidad debe trabajar tal como se espera de ella. Si los resultados en el recinto acondicionado todavía no son satisfactorios, es posible que la capacidad de la unidad no sea suficiente para manejar la carga. Para el cálculo de cargas de refrigeración, consulte el capítulo R27.

Para calcular las cargas de aire acondicionado, la mejor fuente de información son los manuales publicados por Air Conditioning Contractors of America. El procedimiento de cálculo de cargas de calefacción y enfriamiento se ha eliminado de este libro, debido a la naturaleza muy cambiante de dicho procedimiento. Los manuales de Air Conditioning Contractors of America se actualizan tan pronto como se desarrolla la información pertinente, y son fuente excelente de esa información.

R25-24 VIBRACION

La fuente principal de vibración en la unidad de condensación, o en la unidad de paquete, es el conjunto del motor y compresor. Se tiene acción alternativa del pistón y la biela en el compresor, y esa acción se transmite a la caja

del compresor, y de ella a la estructura de la unidad. En el caso normal, la vibración del conjunto interno del compresor se maneja y se amortigua lo suficiente con el montaje del compresor. Sin embargo, cuando es mucha la carga en el compresor, las pulsaciones más intensas pueden superar los medios de montaje y originar vibración de la unidad.

Es inevitable cierta vibración, y por lo tanto no monte la unidad de condensación o el paquete en lugar tal que se transmita a las paredes o techos, y de allí al recinto ocupado. Mantenga la unidad fuera de pisos ligeros de madera, fuera del piso del desván, etc. Si es necesario colocarla en esos lugares, se necesita emplear cojines amortiguadores de vibración; sin embargo, siga exactamente las instrucciones del fabricante. Si se usa demasiado material amortiguador, a veces se empeora el problema a diferencia de cuando falta el material.

No es posible que haya vibración en los ventiladores o sopladores, si tienen sus rotores, transmisiones y poleas bien balanceadas, y las bandas ajustadas y en buenas condiciones. Si hay componentes desbalanceados o dañados, se deben cambiar.

La causa principal de desbalanceo del rotor de un soplador es la mala limpieza. Cuando se necesite limpiar las aspas de un ventilador, límpielas muy bien. Si tan sólo las cepilla no quitará la acumulación de cada una de ellas. Se debe quitar por completo para evitar desbalanceos y vibraciones, ya que si no se hace posiblemente llegue a desintegrarse el rotor.

Los ventiladores de hélice también originan vibración si las aspas se doblan y no giran en la misma trayectoria. Al ver la rotación de las aspas desde un lado, se deben ver todas ellas moviéndose en el mismo plano. Si no lo hacen así, la presión de descarga de cada aspa será distinta y la diferencia resultante puede establecer vibraciones en el conjunto de motor-aspas. Esa vibración puede ser lo bastante intensa como para originar averías en las aspas. Si no se balancea la entrada del aire a la unidad, también se provocará pulsación de aspas y vibración en la unidad (véase sección R25-16).

R25-25 RUIDO

El ruido en los sistemas de refrigeración o aire acondicionado se puede clasificar en tres categorías:

1. De aire
2. Mecánico
3. Del circuito del refrigerante

R25-25.1 Ruido de aire

En general, los ruidos debidos al aire son el resultado de que haya demasiado aire y esté moviéndose a gran velocidad, o que la corriente está mal dirigida. Se debe esperar determinada cantidad de ruido de aire: el paso de éste desde la descarga del soplador de aire forzado hacia el cuarto enfriador, el sonido del ventilador del condensador en la sección de condensación del refrigerador, el ruido del aire de la parrilla de suministro de la unidad de aire acondicionado, etc. Sólo cuando es excesivo el sonido del movimiento del aire, se le clasifica como ruido. La velocidad máxima que se recomienda para el aire de un serpentín con ventilador es de 550 pies/min; a la salida de un registro de suministro en el sistema de aire acondicionado, de 350 a 400 pies/min, dependiendo del diseño de la parrilla. Los problemas de ruido de este tipo se resuelven mejor con la información que da el fabricante de la rejilla, parrilla o registro.

Los ruidos de aire que se encuentran en el campo se deben en general a las unidades de condensación enfriadas por aire fuera del recinto acondicionado, en general ubicadas junto a otras propiedades y situadas en donde el ruido de la unidad afecta a personas que no son los ocupantes del recinto acondicionado. Si la unidad de aire acondicionado está en una zona entre construcciones angosta, con paredes a menos de 3 metros de distancia, se puede esperar que las ondas sonoras de la unidad reboten entre las superficies verticales y ocasionen molestias. Esto sucede en especial si la unidad de condensación es del tipo de descarga horizontal, en la que el aire sale en dirección de la construcción opuesta. Este caso se da tanto, que prácticamente todos los fabricantes han pasado a las unidades de descarga vertical para hacer que la mayor parte del sonido vaya hacia arriba y tratan de reducir al mínimo el flujo horizontal.

El mejor remedio para problemas de ruido de aire es la ubicación cuidadosa del equipo para evitar oclusión del sonido. Si no es posible, se pueden usar mamparas de absorción de ruido entre la unidad y quien se queje.

R25-25.2 Ruido mecánico

En general, el fuerte ruido mecánico en la unidad de condensación se origina por demasiada vibración (véase sección R25-24). Hay determinados ruidos mecánicos en las unidades de refrigeración y acondicionamiento de aire que son inherentes a ellas y no es posible eliminar, tan sólo se

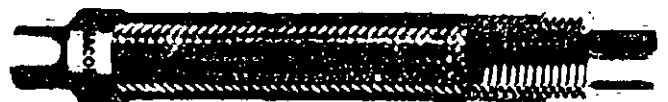


FIGURA R25-8 Manguera de descarga para aislamiento de vibraciones. (Cortesía de Anamet, Inc./Anaconda Metal Hose.)

pueden guardar. Si se coloca un sistema para manejo de aire junto a una abertura en la pared más fría, es de esperar oír el ruido mecánico del conjunto del soplador a través de la abertura. Si se coloca la estufa o el manejador de aire de un sistema de aire acondicionado en un closet, de tal modo que cuando se vea por la abertura de retorno de aire se pueda ver el impulsor del soplador, es de esperarse oír el ruido mecánico del soplador.

Para amortiguar el ruido mecánico, el aire debe hacer cuando menos dos cambios de dirección de 90° desde que sale del observador hasta que entra el conjunto del soplador. En un sistema de acondicionamiento de aire debe haber dos cambios de dirección entre la parrilla de aire de retorno y el compartimiento del soplador del manejador de aire. En casos extremos, el medio de transferencia de aire (o sea el ducto de retorno de aire) debe quedar recubierto de material acústico. Este es uno de los motivos por los cuales se ha popularizado el empleo de las hojas de fibra de vidrio como material de ducto.

Los ruidos mecánicos también pueden transmitirse a través de los tubos de refrigerante desde el conjunto del motor y compresor hasta los soportes del tubo, y causar vibración y ruido. Prácticamente todas las unidades de refrigeración y/o de aire acondicionado usan liras de vibración en los tubos que conectan al compresor, si la vibración del compresor es muy grande, como cuando se trata de uno externo, montado sobre muelles. En esas aplicaciones, se puede colocar un tramo de tubo amortiguador de vibración, para eliminar la transmisión de vibración por la tubería. La figura R25-8 muestra un dispositivo de esos instalado paralelo al cigüeñal del compresor para absorber los empujes laterales de la vibración. Estos dispositivos hacen un trabajo excelente de reducción de ruidos. Sin embargo, si se instalan en posiciones tales que la vibración estire y comprima el reductor de ruido, se destruyen con mucha rapidez y se producen pérdidas de refrigerante. Se deben seguir al pie de la letra las instrucciones del fabricante para su instalación adecuada.

R25-25.3 Ruidos en circuito del refrigerante

A veces, la pulsación del vapor caliente a alta presión que sale de los cilindros del compresor establece una vibración de alta frecuencia por el tubo de gas caliente al condensador. Es más prevalente en sistemas de refrigeración con condensador remoto enfriado por aire y en bombas, térmicas, en el ciclo de calefacción, en las que el compresor está a gran distancia del serpentín interior que actúa como condensador. En este caso, se coloca un mofle o silenciador en el tubo de gas caliente del compresor (véase sección R14-3).

PROBLEMAS

- R25-1. El principio básico por el que opera un sistema de refrigeración es de:
- R25-2. Un flujo restringido de aire por el evaporador, ¿produce presión de succión alta o baja?
- R25-3. En un evaporador con válvula termostática de expansión, si se reduce el flujo de aire ¿el sobrecalentamiento del serpentín aumenta, disminuye o queda igual?
- R25-4. En un evaporador con tubo capilar, si se reduce el flujo de aire, ¿el sobrecalentamiento del serpentín aumenta, disminuye o queda igual?
- R25-5. Si falla una válvula de expansión a causa de que se pierde la carga del bulbo sensor, ¿la presión de succión sube o baja?
- R25-6. La ubicación del bulbo sensor de la válvula de expansión no tiene efectos sobre la operación de esa válvula. ¿Cierto o falso?
- R25-7. ¿Cuál es la causa más común de alta diferencia de presiones?
- R25-8. ¿Cuál es la causa más común de baja presión en la succión?
- R25-9. ¿Cuál es el modo más fácil de ver si hay un tubo capilar tapado en los serpentines con varios capilares?
- R25-10. La carga adecuada del refrigerante en un sistema con válvula termostática de expansión con receptor es _____ de la altura del receptor
- R25-11. Estando parada la unidad y el sistema a temperatura ambiente, la presión en el sistema debe ser igual a la _____
- R25-12. Un subenfriamiento excesivo del líquido que sale del condensador puede ocasionarse por _____ o por _____



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

LOCALIZACIÓN DE FALLAS: PARTE ELÉCTRICA

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

R26-1 GENERALIDADES

Como explicamos en el capítulo R18, todos los circuitos eléctricos consisten tan sólo en fuente de poder, carga y conductores para transmitir la corriente de la fuente a la carga, y contactos de control para operación encendido-apagado o algún cambio característico que logre el funcionamiento necesario

R26-1.1 Fuente de poder

El voltaje disponible para la unidad de refrigeración debe estar dentro del $\pm 10\%$ del voltaje nominal para unidades monofásicas, y de $+10\%$ y -5% para trifásicas. También, en las unidades trifásicas, el voltaje entre cualquier par de conductores de la fuente de poder debe ser igual al de otro cualquiera $\pm 3\%$ si el motor conectado a la fuente de poder debe funcionar durante una vida razonable. La variación máxima de $\pm 10\%$ se aplica a los dispositivos de 24 V al igual que a los voltajes mayores, de 120 V, 240 V, 480 V, 560 V, etc.

R26-1.2 Conductores

El sistema debe estar cableado en forma correcta y todas las conexiones deben ser firmes. Cuando un equipo se recibe del fabricante, se aconseja revisar todas las conexiones principales con un destornillador para asegurarse que no se hayan aflojado con el tiempo. El cobre tiende a deformarse bajo presión, y se pueden aflojar las conexiones de los conductores principales de corriente en el contactor o arrancador del motor hacia el motor. Revise todas las conexiones de forma independiente.

En el capítulo R24 se presentó una lista de diversos problemas en los sistemas eléctrico y de refrigeración, junto con las soluciones posibles. A continuación se presentan las posibles causas relacionadas con esos problemas.

- R26-2. Abierto el interruptor de desconexión
- R26-3. Las protecciones principales de sobrecarga están disparadas
- R26-4. Fusible quemado
- R26-5. El corte por sobrecarga está disparado
- R26-6. El corte por sobrecarga está quemado o averiado
- R26-7. Los contactos de control están abiertos
- R26-8. Conexión floja o conductor roto
- R26-9. Mal conectado
- R26-10. Ajustes inadecuados de control
- R26-11. Contactos de control sobrecargados
- R26-12. Alto voltaje
- R26-13. Bajo voltaje
- R26-14. Se pega la armadura del relevador
- R26-15. Bobina en corto
- R26-16. Bobina quemada
- R26-17. Ventilador del condensador sobrecargado
- R26-18. Motor quemado del ventilador del condensador, o del soplador
- R26-19. Relevador de arranque quemado o inadecuado
- R26-20. Capacitor de arranque quemado o inadecuado
- R26-21. Capacitor de marcha quemado o inadecuado

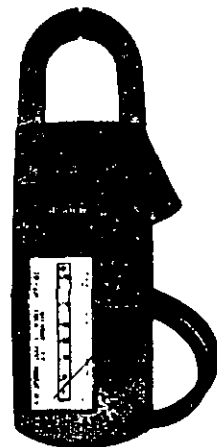


Figura R26-1 Multímetro de gancho. (Cortesía de A. W. Sperry Instruments, Inc.)

R26-2 INTERRUPTOR DE DESCONEXION ABIERTO

La falta de corriente a una unidad no siempre se debe a la falla de alguna parte en especial. Antes de quitar cualquier parte o conductor, revise la fuente de poder.

Muchas veces el problema tan sólo es el interruptor de desconexión o un interruptor de control he están abiertos debido a la falta de conocimientos del cliente acerca de qué interruptores cerrar cuando se desea que trabaje el sistema. Además, el cerrar el interruptor no siempre quiere decir que se tendrá corriente eléctrica. Revise para asegurarse que se dispone de corriente en el lado de la carga (unidad) del interruptor. Use un voltímetro con la escala correcta de voltaje para lo que se va a medir, para determinar si cierran ambos contactos del control. Si tiene duda, comience con la escala mayor de voltaje del medidor, y vaya reduciendo los límites de voltaje para tener una indicación exacta, si el medidor

indica que hay voltaje. La figura R26-1 muestra un multímetro de aguja, tipo gancho. La figura R26-2 muestra un multímetro digital de gancho. El digital es más fácil de leer y medirá en menores incrementos, con lo que se tiene mayor exactitud.



FIGURA R26-2 Multímetro de gancho digital. (Cortesía de A. W. Sperry Instruments, Inc.)

La medición del voltaje entre la terminal y tierra no siempre indica que el interruptor esté bien. La terminal de carga de un mal contacto puede indicar que hay voltaje a tierra porque el voltaje alimenta al circuito hacia atrás de la otra terminal, en general a través del lado primario del transformador de control. Siempre mida el voltaje entre las terminales de carga para tener ambos lados del circuito de carga por el interruptor.

Si no se obtiene indicación de voltaje entre las terminales de la carga, mida entre las del lado de la línea para asegurarse que hay corriente hasta el interruptor de desconexión. Si no indica voltaje entre el lado de la línea, podrían estar quemados los fusibles del circuito de ramal en el tablero de distribución de corriente, o los interruptores termomagnéticos pueden estar disparados (véase sección R26-3). Si los fusibles del circuito de ramal están bien, o al restablecer los disyuntores se ve que están bien, consulte el problema con la compañía eléctrica local. No trate de trabajar en tableros de distribución de corriente a menos que sea un electricista con autorización. La figura R26-3 muestra el arreglo de contactos de un interruptor de desconexión típico.

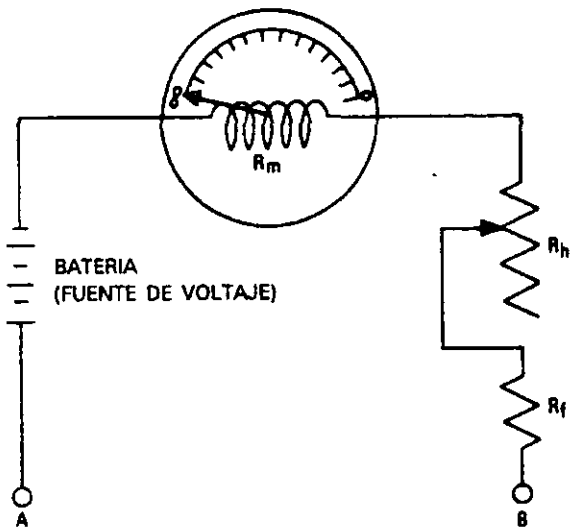


FIGURA R26-4 Circuito sencillo de un óhmetro. (Cortesía de American Gas Association.)

óhmetro típico.

Si hay voltaje entre las terminales de la línea y no en el lado de la carga, se puede asegurar que los contactos no cierran. Esto se puede confirmar midiendo la resistencia de los contactos cerrados con un óhmetro, teniendo quitados los fusibles del circuito ramal, o abiertos los interruptores

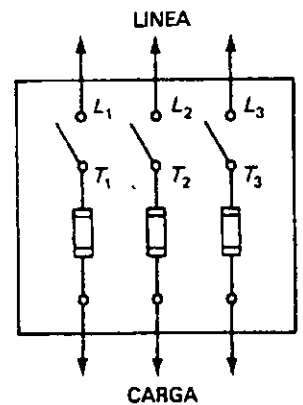


FIGURA R26-3 Interruptor de desconexión termomagnéticos del circuito; no debe haber voltaje en el lado de la línea. Mida la resistencia de cada juego de contactos, de L1 a T1, L2 a T2 y L3 a T3. Toda indicación de resistencia mayor que 1 Ω en las terminales de alto voltaje (50 V o más) o de 1/2 Ω en las de bajo voltaje (menos de 50 V) quiere decir que el contacto está quemado y necesita cambiarse. La figura R26-4 muestra un

R26-3 PROTECTORES PRINCIPALES DE SOBRECARGA DISPARADOS

Además del interruptor principal de desconexión, la unidad puede tener protectores de sobrecarga de restablecimiento manual que trabajan como protectores adicionales. La unidad puede haber estado sujeta a condiciones desacostumbradas de voltaje, que hicieron que se dispararan las protecciones de sobrecarga. Al restablecer las palancas de disparo de elementos térmicos debe poner en marcha la unidad. Si no es así, mida el voltaje entre las terminales del lado de carga para asegurar que los circuitos de sobrecarga están bien y los contactos cierran. Si no hay voltaje cuando esté apagada la corriente principal de suministro, revise la calidad de los contactos de sobrecarga con el óhmetro (véase sección R26-2).

Los interruptores de sobrecarga empleados pueden ser también del tipo de contacto auxiliar, en los cuales el paso incorrecto de corriente por el circuito principal provoca la abertura del contacto del circuito de control de la unidad. La figura R26-5 muestra un circuito normal de arrancador de motor de ese tipo.

Al restablecer la protección de sobrecarga se cierra el circuito de control, con lo cual los contactos deberían accionar. El estado del contacto auxiliar se puede comprobar midiendo la resistencia por las terminales (*estando quitada la corriente*) con el óhmetro. Se aplican los límites de 1Ω para las terminales de alto voltaje, y de $1/2 \Omega$ para las de bajo voltaje.

Si quita las terminales de la terminal del interruptor auxiliar, para agotar la posibilidad que haya otros circuitos en paralelo, y si se mide la resistencia entre las terminales se obtendrá la condición del contacto terminal. En este caso, de nuevo, la regla de resistencia máxima es 1Ω para los contactos de alto voltaje y $1/2 \Omega$ para los de bajo voltaje.

R26-4 FUSIBLE QUEMADO

A veces se usan fusibles de quemado instantáneo o de eslabón como fusibles principales. Como no pueden conducir más corriente que la de su capacidad, durante ningún intervalo, deben dimensionarse para conducir la corriente máxima de arranque de la unidad. Esta corriente de arranque podría ser más del 150% de la corriente de operación del circuito. Por lo tanto, siempre se debe emplear protección de fusible de demora, o de interruptor termomagnético en los sistemas de refrigeración o aire acondicionado. Con ello se permitirá un dimensionamiento más exacto del fusible o del disyuntor con respecto a la corriente de marcha de la unidad, y se tendrá máxima protección.

La revisión de fusibles se hace mejor con un óhmetro. *Teniendo abierto el interruptor de desconexión*, mida la resistencia de cada fusible. Una indicación de cero resistencia en el óhmetro quiere decir que el fusible está bien. Una indicación de resistencia infinita indica que hay un fusible abierto o quemado. Una indicación de resistencia mayor que 0.1Ω también indica que hay fusible quemado que se debe cambiar.

El quemado parcial del fusible o el quemado paulatino pueden ser causados por mal contacto entre el fusible y el portafusible. Los fusibles deben entrar al portafusible con fuerza, y debe escucharse un chasquido del sujetador alrededor del fusible cilíndrico, o se debe ejercer fuerza para introducir un fusible tipo bayoneta en los broches de navaja. Los broches o las hojas sujetadoras del fusible deben estar limpias y no estar quemadas. Si hay cualquier signo de deterioro de los broches o las navajas se necesita cambiar el portafusibles.

R26-5 CORTE POR SOBRECARGA DISPARADO

Los cortes por sobrecarga de los conjuntos de motor y compresor en general son de restablecimiento automático, y cierran después de enfriarse. En los motores de los sopladores se tienen ambos tipos de protecciones de sobrecarga, aunque predominan los de restablecimiento automático. Esto no evita el cambio del motor con un tipo de restablecimiento automático cuando venga con tipo manual. No se recomienda esta práctica, pero existe la posibilidad.

El restablecimiento de la protección por sobrecarga debe poner en marcha el motor, siempre que la corriente llegue hasta él. Mida el voltaje en el lado de la línea del protector para asegurar que llegue corriente al motor. Mida el voltaje en el lado de la carga del protector para asegurar que el voltaje pasa por el protector de sobrecarga. No mida el voltaje a tierra. Si lo mide, no tendrá indicación del estado de los contactos de sobrecarga, porque es posible tener voltaje a tierra, que provenga de los circuitos del motor. En los circuitos con 240 V o más, siempre mida el voltaje entre las terminales vivas. Si los resultados indican que hay voltaje en el lado de salida, o de carga, del protector de sobrecarga, revise el motor (véase sección R26-6).

R26-6 CORTE POR SOBRECARGA QUEMADO O AVERIADO

Los cortes por sobrecarga que se usan en la mayor parte de las unidades de los conjuntos de motor y compresor, y motores de ventilador, son de tipo de restablecimiento automático. Esas protecciones se restablecen después de enfriarse. La figura R26-6 muestra una protección típica, del tipo de restablecimiento automático. Consiste en un disco bimetálico entre dos terminales, 1 y 2, que conduce la corriente completa, de arranque y de marcha, del motor del compresor. Si la corriente de marcha, o la temperatura del lugar de la protección suben demasiado, el disco bimetálico se tuerce y los contactos brincan y se abren, parando al compresor. Cuando se enfría el disco, se cierran instantáneamente los contactos y vuelve a trabajar el compresor. Como esta acción es lenta, se necesita más protección

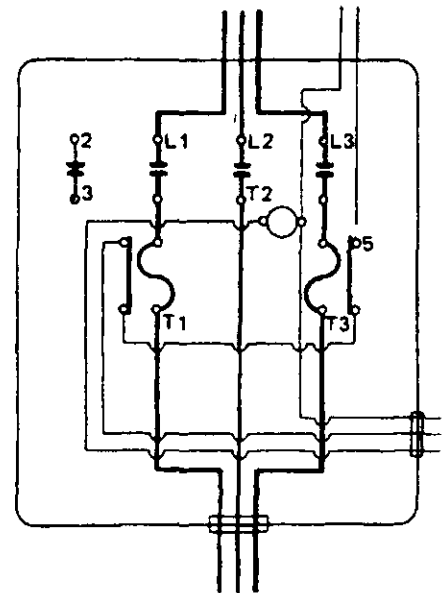


FIGURA R26-5 Circuito de un arrancador de motor

para sacar al compresor de la línea, en caso de falla del motor en el arranque. Por lo tanto, se introduce un calentador adicional por el cual tan sólo pasa la corriente de arranque, bajo el disco bimetalico, en las terminales 2 y 3. El calor adicional que suministra el calentador hace que la acción del elemento bimetalico sea más rápida, al calentarlo con más rapidez. Con ello se reduce el tiempo que está conectada la unidad a la línea cuando el rotor está detenido.

El funcionamiento repetido de esta protección cuando está parada la unidad y los protectores principales de sobrecarga están sobredimensionados provoca un debilitamiento gradual del calentador auxiliar y lo quema. Esto saca al circuito de arranque del motor del compresor, y provoca la falla final de los devanados del motor. La revisión del corte por sobrecarga y del calentador auxiliar se lleva a cabo quitando la protección del circuito, y revisando los circuitos con el óhmetro. El circuito de 1 a 2 (los contactos principales) deben tener menos de 1Ω cuando el voltaje es alto, o menos que $\frac{1}{2} \Omega$ cuando el voltaje es bajo. El circuito 2 a 3 (el calentador auxiliar) sólo debe presentar una resistencia de $\frac{1}{4} \Omega$ en las unidades mayores, hasta $\frac{1}{5} \Omega$ en las menores

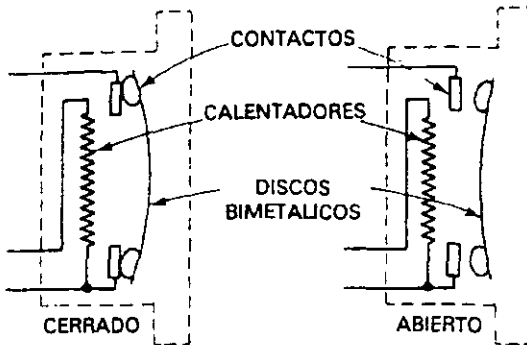


FIGURA R26-6 Protector térmico (respuesta dual) para montaje en extremo de soporte. (Cortesía de Gould, Inc., Electric Motor Division.)

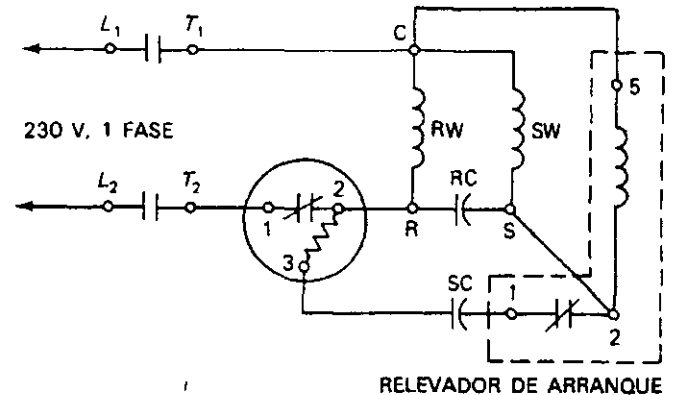


FIGURA R26-7 Protector de motor contra sobrecarga, sistema 1.

Si se mide una resistencia mayor, se debe cambiar la parte por otra con el mismo número de parte o equivalente de la competencia. Los protectores de sobrecarga no son universales, y el cambiar tipos o tamaños puede ocasionar daños cuantiosos al sistema.

El desarrollo de la protección al motor del compresor ha cambiado el tipo de protección que se emplea. La protección original es la de calentador auxiliar montado fuera de la caja del compresor. Este tipo se usa todavía en unidades pequeñas de menos de 1 HP. La figura R26-7 muestra cómo se conecta esa protección de sobrecarga al circuito.

En conjuntos grandes de motor y compresor, cuando los cambios en el diseño dieron como resultado gran producción de calor en el motor, así como cajas más pequeñas, y la protección externa no reaccionaba con la suficiente rapidez contra una alta temperatura del devanado. Para remediar este problema se montó un termostato en el devanado del motor dentro de la caja, con dos conductores que salen de ella. Al usar ese termostato junto con una protección externa por sobrecarga de alta corriente, se obtiene el diagrama de conexiones de la figura R26-8, del sistema 2 de sobrecarga.

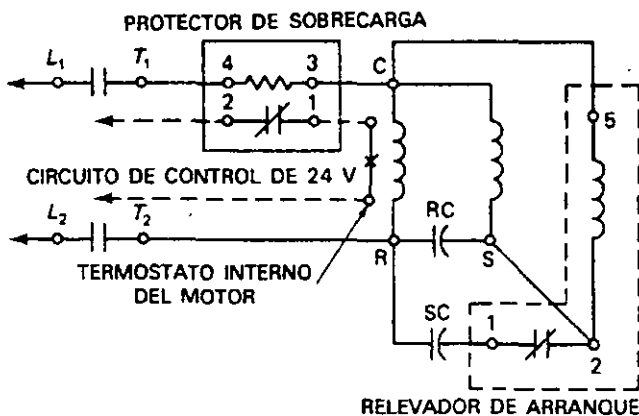


FIGURA R26-8 Protector de motor contra sobrecarga, sistema 2.

La protección externa por sobrecarga con alta corriente tenía el elemento de calentamiento en el conductor común al motor, de modo que sentía la corriente tanto de arranque como de marcha. El circuito del contacto bimetalico estaba en el circuito de control al contactor del motor. Este en general es uno de 24 V. La figura R26-9 muestra el circuito interno de este protector de sobrecarga.

Para reducir la posibilidad de escapes de terminales a través de la caja del compresor y para dar una protección máxima contra una combinación de alta temperatura y alta corriente que no podía dar la combinación de termostato interno y alta corriente externa, se ha incorporado una combinación de protección interna de sobrecarga por interrupción de la línea, en el devanado del motor. La figura R26-10 muestra una de esas protecciones, su montadura y su colocación.

Las figuras R26-11 y R26-12 muestran el circuito cuan-

do se usa la protección de sobrecarga por desconexión interna de línea. La figura R26-11 muestra el circuito de un conjunto de motor y compresor en un sistema de refrigeración con tubo capilar. Como las presiones de succión y de descarga se igualan en la parte parada del ciclo, se necesita un bajo par de arranque y se usa un motor de capacitor dividido permanente con tan sólo un capacitor de marcha, para cumplir los requisitos de par de arranque y de marcha.

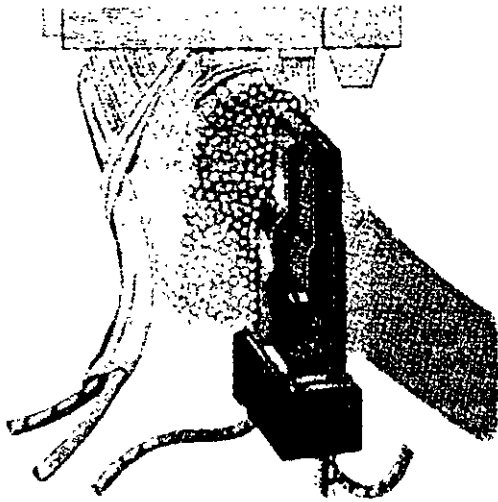


FIGURA R26-10 Protección interna contra sobrecarga para devanado de motor

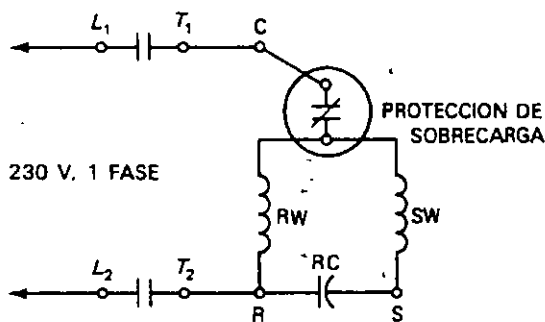


FIGURA R26-11 Circuito de protección contra sobrecarga con protector interno de línea y motor de capacitor dividido permanente.

En los sistemas que usan válvulas termostáticas de expansión o cualquier otro dispositivo de reducción de presión que evita la igualación de la presión cuando el compresor está parado, se necesita un mayor par de arranque. En esas aplicaciones se usa un motor con capacitor de arranque y capacitor de marcha, con capacitor y relevador de arranque. La figura R26-12 muestra, en líneas de puntos, el circuito que se tiene al añadir un capacitor de arranque y un relevador a un motor de capacitor permanente dividido de bajo par de arranque, para convertirlo en motor de capacitor de arranque y capacitor de marcha con alto par de arranque. La mayoría de los fabricantes suministran esas dos partes junto con los conductores necesarios y diagramas eléctricos en forma de kit para hacer esa conversión. El nombre acostumbrado de ese arreglo es "kit para arranque difícil".

R26-7 CONTACTOS DE CONTROL ABIERTOS

A causa de los muchos controles en los circuitos de refrigeración y aire acondicionado, controles de operación, de seguridad, de deshielo, etc., el circuito eléctrico puede estar abierto en más de un control. Por ejemplo, es posible tener un circuito de sobrecarga averiado, que ocasione que falle un compresor, lo cual tiene como consecuencia una pérdida de carga de refrigerante, que abre un control de baja presión. Al revisar los circuitos, se deben ver todos los controles de contacto.

El mejor instrumento para este fin es el óhmetro, para probar cada juego de contactos a ver si sus resistencias son adecuadas. Las resistencias infinitas indican los contactos abiertos. Las resistencias intermedias delatan los contactos quemados. Los contactos que indiquen 1 Ω o más en alto voltaje o 1/2 Ω en bajo voltaje, se deben desechar. Las partes

con contactos abiertos deben revisarse para determinar la causa de la abertura de contactos. Los controles de baja presión abren al reducirse la presión de succión (véase sección R25-2), por falta de refrigerante (véase sección R25-12), etc. Los contactos de control de alta presión abren a causa de una diferencia de presiones extraordinariamente alta (véase sección R25-4). Compruebe el objeto de cada control y haga su juicio de acuerdo con ello.

R26-8 CONEXION FLOJA O CONDUCTOR ROTO

El problema más difícil de localizar es una conexión floja o un conductor roto. Después de revisar todos los controles y contactos, si el circuito sigue sin trabajar, es necesario llevar a cabo una prueba sistemática de todo el circuito. Por ejemplo, en el circuito de control de bajo voltaje, comience en el transformador de bajo voltaje y proceda como sigue:

1. Mida la salida del transformador para asegurarse que se dispone del voltaje correcto. Esta medición se puede hacer entre las terminales R y C del transformador, o entre las terminales designadas que salen del cuerpo del transformador.
2. Apague toda la corriente a la unidad.
3. Quite el conductor de una de las terminales del transformador, por ejemplo la R. Conecte una de las puntas del óhmetro al conductor que se quitó, con un caimán para tener una conexión firme y buena.
4. Con la otra terminal del óhmetro, en la escala de resistencia media, toque la terminal al otro lado del transformador. Si el óhmetro no da indicación, proceda al otro extremo de ese conductor. Si se tiene una

indicación, el conductor está abierto. Si no hay indicación, prosiga con el otro lado del dispositivo al cual está conectada la terminal. Si se tiene indicación, el dispositivo está abierto. Si no hay indicación, el otro extremo del conductor está conectado a esa terminal. Repita esta prueba de conductor y dispositivo conectado hasta que se tenga una lectura. Cuando se obtiene una indicación, el último dispositivo que se probó está abierto.

Si la interrupción parece estar en un conductor, un alfiler común introducido por el aislamiento funcionará como sensor al que se le pueden cerrar los caimanes del óhmetro. Como es muy tardada la comprobación de los circuitos para ver si están abiertos, este procedimiento sólo se debe seguir después de haber revisado todos los controles, bobinas, contactos, etc.

R26-9 MALA CONEXION

Al igual que en la sección R26-8, podrá necesitarse revisar el cableado del sistema de la unidad. En este procedimiento es necesario tener un diagrama eléctrico de la unidad que se revise todos los fabricantes proporcionan diagramas eléctricos de su equipo. UL, AGA y ARI piden que los diagramas eléctricos se coloquen permanentemente en la unidad, en un lugar protegido de la intemperie. *Deje el diagrama eléctrico en la unidad. No lo mutile. Lo puede necesitar de nuevo en el futuro.*

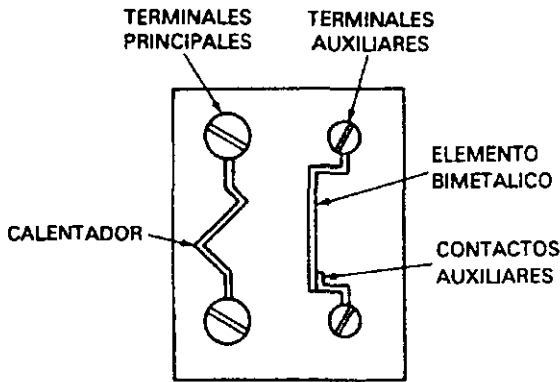


FIGURA R26-9 Circuito de intervalo para protección contra sobrecarga

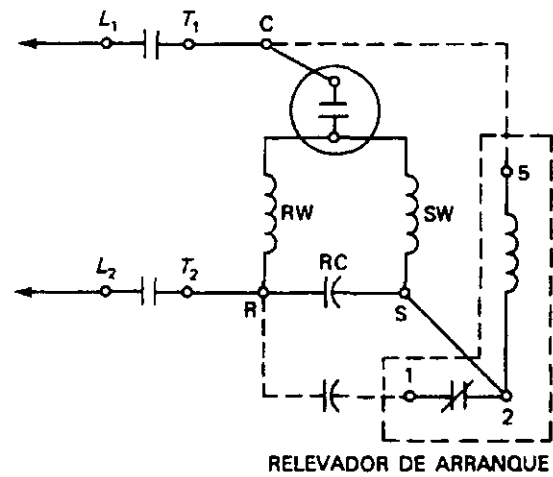


FIGURA R26-12 Circuito de protección contra sobrecarga con protector interno de línea y "kit de arranque difícil".

Si trabaja en una marca o equipo determinados, reúna esos diagramas eléctricos en una carpeta de referencia. La mayoría de los fabricantes le proporcionarán el diagrama si les da el número de modelo, de serie y el número de la lista de materiales (si se usa) (véase capítulo R20).

R26-10 AJUSTES INADECUADOS DEL CONTROL

Cada control de un sistema de refrigeración o aire acondicionado tiene una función definida y ajustes específicos de acuerdo a los requisitos de la unidad individual. También, se ha tomado en cuenta el tipo de refrigerante que usa la unidad.

La mayor parte de los controles de seguridad, como por ejemplo los cortes por alta presión, tienen su punto de control determinado en fábrica y no son ajustables. En general, se ajustan a una temperatura máxima de condensación de 150 °F (65 °C), lo cual da presiones de saturación de 235 psi con el R-12, 380 psi con R-22, 400 lb con R-502, etc. *No trate de elevar los ajustes de los controles de alta presión. Se pueden desarrollar presiones peligrosas.*

Cuando el sistema está controlado por un dispositivo de baja presión, los ajustes de control dependerán de las temperaturas del serpentín que se deban mantener para tener resultados adecuados. En equipo especializado, como por ejemplo las vitrinas de alimentos, de productos lácteos, etc., cada fabricante tiene sus ajustes propios deseados. Por ejemplo, la vitrina modelo BHDB 8& 12 de Husman Corporation, si se usa para productos lácteos, necesita punto de control de 10 a 14 psig de presión de succión para salir, y de 25 a 27 psig para entrar. Si se usa como vitrina de salchichonería, los puntos de control son 8 a 10 psig para salir y 38 a 40 psig para entrar. La misma unidad, empleada como vitrina de diversos productos, necesita un ajuste de 14 a 16 psig para salir y 38 a 40 psig para entrar. Si tiene

dudas acerca de los ajustes necesarios, *no adivine*; póngase en contacto con el fabricante, déle el número de modelo, de serie y uso para la unidad. Con gusto le suministrarán la información correcta.

Hay algunas reglas generales para ajustes de presión, que pueden emplearse en forma provisional *mientras se obtienen los puntos de control correctos*. La figura R26-13 muestra una tabla de ajustes aproximados de control, publicada por Sporlan Valve Company.

R26-11 CONTACTOS DE CONTROL SOBRECARGADOS

Es la causa más común de falla de contactos. En general, la sobrecarga la causa el bajo voltaje (véase sección R26-13), el alto voltaje (véase sección R26-12), o el agregar equipo auxiliar que consume más amperes que los que pueden manejar los contactos.

FIGURA R26-13
Ajustes aproximados de controles de presión.

Aplicación	REFRIGERANTE ^a							
	12		22		502		717	
	Sale	Entra	Sale	Entra	Sale	Entra	Sale	Entra
Máquina de cubitos de hielo, serpentín seco	4	17	16	37	22	45	—	—
Baño de refresco, fuente de sodas	21	29	43	56	52	66	33	45
Enfriador de cerveza o agua, tipo húmedo	19	29	40	56	48	66	—	—
Camiones de helados, cuartos de endurecimiento	2	15	13	34	18	41	5	24
Placas eutécticas, camión de helados	1	4	11	16	16	22	4	8
De recinto, ciclo de deshielo	14	34	32	64	40	75	23	55
De caja, ciclo de deshielo	19	36	40	68	48	78	30	57
Vitrina para verduras, ciclo de deshielo	13	35	30	66	38	77	—	—
Mostrador de verduras, tipo abierto	16	42	35	77	44	89	—	—
Enfriador de bebidas, tipo seco con soplador	15	34	34	64	42	75	24	55
Florería al menudeo, serpentín con soplador	28	42	55	77	65	89	44	67
Mostrador de carnes, ciclo de deshielo	17	35	37	66	45	77	—	—
Mostrador de carnes, tipo abierto	11	27	27	53	35	63	—	—
Caja de productos lácteos, tipo abierto	10	35	26	66	33	77	—	—
Alimentos congelados, tipo abierto	7	5	4	17	8	24	—	—
Alimentos congelados, tipo abierto con termostato	2°F.	10°F.	—	—	—	—	—	—
Alimentos congelados, tipo cerrado	1	8	11	22	16	29	—	—

Copyright 1982, Sporlan Valve Company, St. Louis, MO.

^a Vacío, pulgadas de mercurio

Presión, libras por pulgada cuadrada manométricas (psig)

No se aconseja agregar cargas adicionales al contactor del compresor, porque está dimensionado para manejar sólo el conjunto de motor y compresor y el motor del ventilador. Si deben trabajar más motores junto con la unidad de condensación, lo mejor es trabajar esos motores con sus propios contactores y protección contra sobrecarga. Aun cuando el equipo diseñado originalmente esté conectado a los contactos, un voltaje alto o bajo provocará la falla de los contactos debido a la carga adicional de corriente por voltaje incorrecto. Las unidades monofásicas de 240 V se diseñan para trabajar con un margen de voltaje de 10% mayor o menor que el de diseño. Por lo tanto, en una unidad de 240 V, el voltaje no debe bajar a menos de 216 V ni subir a más de 264 V. Recuerde que es la tolerancia de voltaje, "de operación". Esto no quiere decir que la vida de trabajo será la normal. Los motores trabajan con su mejor eficiencia, y su temperatura mínima de devanado al voltaje de diseño. Cualquier diferencia hace aumentar la temperatura del devanado y acorta la vida.

En el equipo trifásico y en el monofásico de amplio margen de voltaje de diseño, las tolerancias son de 10% de más y 5% de menos. Esto quiere decir que en una unidad trifásica de 208-230 V, el voltaje máximo es 230 V más 10%, o sea 253 V. El voltaje mínimo es 208 V menos 5%, o sea 198 V.

Una causa muy frecuente de arqueo en los contactos y de que se suelden es el bajo voltaje. Este bajo voltaje no sólo aumenta el paso de amperes por la unidad, sino que también reduce la fuerza ejercida sobre la armadura del contactor. Como resultado, los contactos no cierran tan rápido o tan limpiamente como lo deberían hacer. La pérdida de fuerza también hace que reboten cuando cierran. El rebote produce un arco cuando se separan los contactos en forma

momentánea. El arco reblandece al metal, y cuando se establece el contacto, las piezas quedan soldadas entre sí. En las unidades trifásicas, si dos de los tres contactos se sueldan cuando tratan de abrir, el motor del compresor quedará en una fase porque sólo abre un contacto. Este atoramiento mecánico y la conversión a monofásico resultante provocan que el motor se queme rápidamente. Como el problema es el atoramiento mecánico del contactor, la protección eléctrica de la unidad no puede funcionar y evitar que se queme. Por lo tanto, es muy importante que el voltaje suministrado a la unidad sea siempre el correcto, tanto cuando arranca como cuando trabaja.

R26-12 ALTO VOLTAJE

El voltaje suministrado a una unidad de condensación nunca debe ser mayor que el 10% más que el voltaje nominal de la unidad. Por lo tanto, en una unidad de 240 V el voltaje máximo aplicado no debe ser mayor que 264 V. Un voltaje mayor que el normal sujeta a la unidad a mayor paso de corriente, con el daño consiguiente a los devanados del motor, los contactos de control y las bobinas de relevador, y además acorta la vida de los capacitores de marcha.

Los problemas de alto voltaje, en general, son más difíciles de detectar. Recuerde que la unidad de refrigeración, o la de aire acondicionado, tiene que trabajar 24 horas al día, y 7 días por semana. En general, el alto voltaje se presenta durante la noche y/o en los fines de semana, cuando las cargas comerciales y/o industriales en el sistema de distribución de electricidad son mínimas. Como los problemas de alto voltaje sólo los pueden manejar la compañía eléctrica, se debe poner en contacto con ella cuando se presente ese problema.

R26-13 BAJO VOLTAJE

El bajo voltaje es el problema más frecuente de suministro. Las unidades monofásicas están diseñadas para arrancar y trabajar a un voltaje mínimo de 10% menos que el nominal. Esto quiere decir que en las unidades monofásicas de 240 V, el voltaje mínimo aplicado a la unidad es 216 V. En las unidades trifásicas el mínimo es 5% menos que el voltaje nominal. Esto significa que el voltaje mínimo aplicado a una unidad de 208/230 V al momento de tratar de ponerla en marcha es 197 V.

Si el voltaje aplicado es menor que esos mínimos, la unidad no puede arrancar, o arranca muy lentamente y se demora lo suficiente como para quemar los capacitores y relevadores de arranque, los contactos y protecciones de sobrecarga, y el motor del compresor. Debido a que se puede dañar mucho una unidad a causa de bajo voltaje aplicado, los daños de ese tipo, en general, quedan excluidos de la garantía del fabricante.

En esta sección se ha empleado el término voltaje "aplicado". Quiere decir el voltaje en las terminales del motor, cuando trata la unidad de arrancar y trabajar. La electricidad se parece al agua en cuanto a que la cantidad de volts (presión) en las terminales del motor depende del voltaje (presión) en el extremo de alimentación del circuito, y de la cantidad de corriente (galones de agua por hora) que pasan por los conductores (tubos). Como la electricidad, la cantidad de agua que pasa por un tubo (amperes) depende del tamaño del tubo (resistencia) al igual que de la presión (volts) del agua que entra al tubo. Por lo tanto, para tener la cantidad necesaria de agua a través del tubo sin demasiada caída de presión, es necesario contar con un tubo de diámetro adecuado. También, si el aparato impulsado por agua necesita de determinada presión de agua para poder trabajar, se debe medir la presión en el aparato y no donde el agua entra al tubo.

En una unidad eléctrica, el voltaje aplicado se debe medir en la unidad y no en el transformador de distribución, donde entra la electricidad al circuito. El tamaño del conductor que sale del transformador de potencia, que pasa por todos los alimentadores y circuitos de ramal, etc., debe ser de tamaño adecuado para mantener el voltaje correcto en la unidad cuando ésta trata de ponerse en marcha.

Si el bajo voltaje de arranque se debe a capacidad inadecuada del transformador de potencia, se debe arreglar este problema con la compañía eléctrica. Se puede determinar por la caída de voltaje medida en las terminales del secundario del transformador durante un intento de arranque. Si la caída de voltaje se debe a un diámetro inadecuado de conductor en el sistema de distribución eléctrica, se debe pasar el problema a un electricista calificado.

Independientemente del caso, no se debe permitir que continúe el bajo voltaje, ni permitir que la unidad trabaje hasta que se resuelva la situación. Si lo permite, sólo causaría daños al equipo.

R26-14 SE PEGA LA ARMADURA DEL RELEVADOR

Al igual que las demás facetas de los trabajos de servicio, no es posible decir que cada problema tiene su causa en una falla específica. Como los contactores y relevadores tienen movimiento mecánico, es posible que una armadura o cuchilla atorada origine contactos quemados, pegados, etc., con los daños resultantes en la unidad.

Si al medir se ve que el voltaje aplicado está dentro de los límites permisibles y que la carga de amperaje de los contactos es normal, es posible que el problema sea el roce o atoramiento mecánico. En estos casos es necesario revisar todos los eslabonamientos para ver si tienen atoramientos o demasiado juego, al igual que para ver si hay artículos de hierro en las caras polares, etc. Es raro que se peguen las partes mecánicas de un relevador, pero se conocen casos en los que cayeron arandelas, tuercas, etc. En el tablero de control durante su montaje. Los tornillos o cualquier cosa de hierro se pegan a la armadura a causa del magnetismo débil en el núcleo de hierro del imán y provocan mal funcionamiento del accionamiento del contacto. Es necesario desarmar y cepillar las partes para corregir el problema.

R26-15 CORTOCIRCUITO EN BOBINA

Si el voltaje aplicado a una bobina de relevador o contactor es demasiado alto o bajo, provocará el paso de mucha corriente, al igual que por un motor. Este paso excesivo de corriente producirá un sobrecalentamiento de la bobina, quemado del aislamiento entre devanados, y cortos entre las vueltas de conductor de la misma. Los cortos entre las vueltas reducen la fuerza magnética de la bobina así como un aumento del consumo de corriente.

Si la bobina es ruidosa a causa de espiras en corto, se quemará rápidamente debido a que la fuga de corriente y el calentamiento se van acumulando hasta llegar al quemado. Por lo tanto, las bobinas que zumban mucho se deben revisar y cambiar antes que se quemen.

R26-16 BOBINA QUEMADA

Las bobinas quemadas en los relevadores o contactores son el resultado de condiciones adversas de funcionamiento. Es probable que la quemadura se deba a un defecto de la bobina misma, pero es remoto este caso. La razón principal de fallas de bobina es un voltaje inadecuado (véanse secciones R26-12 y R26-13). Las bobinas, al igual que otros aparatos eléctricos, se diseñan para trabajar a un voltaje aplicado nominal más o menos 10%. Las bobinas de 24 V trabajan con voltaje máximo de 26.4 V y voltaje mínimo de 21.6 V. Las de alto voltaje de un arrancador de motor o válvula solenoide con voltaje nominal de 120 V, resistirán un máximo de 132 V y un mínimo de 108 V. Los aparatos de 240 V resistirán 264 V como máximo y 216 V como mínimo.

En las unidades con sistema de control de 24 V, la fuente principal de bajo voltaje de control es la sobrecarga del transformador de bajo voltaje, por haber agregado motores de compuerta, válvulas solenoide, etc.. Cuando se energiza la bobina del contactor del compresor, se sobrecarga el motor del transformador, y su voltaje de salida baja a menos del límite mínimo. Con ello la armadura del contactor del compresor entra a una velocidad menor que la normal, se reduce la fuerza de sujeción de dicha armadura, y comienzan a rebotar y arquear los contactos, los cuales se pegan y hacen que pase algo más de corriente por la bobina, y finalmente se quema.

En todos los sistemas de control, asegúrese que el voltaje del circuito de control permanezca dentro de los límites de diseño cuando la carga conectada está trabajando. Si los voltajes de control no permanecen dentro de los límites, se debe dividir al sistema de control con relevadores, incluir más transformadores, o bien el transformador inicial de bajo voltaje se debe cambiar por una capacidad de AV mayor. Vea el diseño de circuitos eléctricos de la unidad en especial.

R26-17 MOTOR SOBRECARGADO DEL VENTILADOR DEL CONDENSADOR

El corte de corriente a la unidad de condensación por accionamiento de la protección de alta presión siempre se debe a demasiada diferencia de presiones. Si las demás causas de alta diferencia de presiones (véase sección R25-4) se han revisado y todo está bien, se debe medir el paso de corriente al motor del ventilador del condensador.

En las unidades de condensación con ventilador tipo hélice, la adición de resistencia al flujo de aire, además de la que ya tiene la unidad, hará que el motor del ventilador tome bastante más corriente y accione la protección de sobrecarga con restablecimiento automático del motor. Si el condensador tiene poco aire se provocará un aumento rápido de diferencia de presiones en la unidad, y accionará el corte por alta presión con restablecimiento manual. Al enfriar el motor del ventilador se pondrá en marcha, pero la unidad de condensación permanecerá apagada. Los ajustes inadecuados de velocidad del aire en unidades de condensación con soplador, u otros problemas inherentes con sopladores con transmisión de bandas (bandas demasiado tensas, lubricante incorrecto que hace que los rodamientos se amarren, etc..) producen los mismos efectos. En las unidades que parecen salir por alta diferencia de presiones sin razón aparente, revise el paso de corriente al motor del soplador o ventilador para asegurarse que es menor que el amperaje máximo de placa.

R26-18 MOTOR QUEMADO DEL VENTILADOR O SOPLADOR DEL CONDENSADOR

Cuando se quema un motor de ventilador o soplador del condensador pueden existir cualquiera de las causas siguientes:

1. Alto voltaje (véase sección R26-12)
2. Bajo voltaje (véase sección R26-13)
3. Sobrecarga
4. Lubricación inadecuada.¹

R26-18.1 Alto o bajo voltaje

Como todos los aparatos eléctricos, los motores de soplador o ventilador de condensador están diseñados para trabajar con una tolerancia de voltaje de 10% de más o de menos, con respecto al voltaje nominal. Los motores de 240 V trabajan con voltajes aplicados de 264 V cuando mucho, y 216 V cuando menos. A voltajes mayores o menores que estos, el exceso de corriente ocasionará que el motor se queme.

Prácticamente todos los motores de ventilador o soplador de condensador están protegidos por corte contra sobrecarga con restablecimiento automático. Sin embargo, esas protecciones se deben dimensionar con tolerancias de funcionamiento para evitar cortes molestos cuando varía el voltaje por un momento; por lo tanto, hay unos límites de carga del motor, entre la normal y la máxima, que sobrecalienta el motor si dura cierto tiempo. Para tener mayor eficiencia en la unidad, asegúrese que el voltaje aplicado al motor esté entre los límites correctos.

R26-18.2 Sobrecarga

La sobrecarga del motor del ventilador del condensador es la causa más común de que se queme. En las unidades de condensación con ventilador² tipo hélice, cualquier incremento en la resistencia al paso del aire ocasionará un aumento en el paso de la corriente al motor. Por lo tanto, es necesario que no se agregue más resistencia a la unidad en forma de ductos de aire, persianas, parrillas, etc. Si se agregan para controlar la presión, se debe cambiar el motor del ventilador para que pueda manejar la mayor resistencia. También, es muy importante limpiar con regularidad las superficies del condensador para tener el paso completo del aire. Por diseño hay márgenes al seleccionar tamaños de motor, para tener en cuenta una acumulación normal de polvo en el condensador. Sin embargo, no se prevé acumulación de hojas, papeles, pasto y otros desechos, y se deben quitar con regularidad, a intervalos que dependen de la rapidez con que se acumulen.

Las unidades de condensación con soplador usan del tipo centrífugo, y se comportan en forma distinta frente a aumentos de resistencia al paso del aire. Cuando sube la resistencia, disminuye la cantidad de aire manejado. Como disminuye la carga al motor a medida que disminuye la cantidad de aire manejado, disminuye la corriente que pasa por el motor. Por lo tanto, no existe el peligro de que se queme el motor en unidades con sopladores centrífugos, a causa de taponamiento del condensador.

Esto no elimina la posibilidad de sobrecargar al motor, porque todas esas unidades tienen impulsor ajustable para dar la cantidad necesaria de aire a través del condensador, con distintas resistencias estáticas. Como es posible agregar ductos a la unidad para manejar el aire del condensador, debe ser posible ajustar la velocidad del soplador para compensar. Cuando aumenta la resistencia de los ductos, se debe aumentar la velocidad del soplador para tener el paso adecuado de aire.

Si cambia la resistencia del sistema de manejo de aire del condensador, como por ejemplo quitando ductos, persianas, parrillas, registros de acceso, etc., es de esperarse que el motor se sobrecargue. Por lo tanto, cuando la unidad esté trabajando, todas las partes y tableros de la caja, al igual que las puertas de acceso a ductos, etc., deben estar en su lugar cuando trabaje la unidad.

1 N. del T.: En las unidades trifásicas, como se explicó antes, podría deberse a haber estado trabajando en una o dos fases por mal accionamiento del contactor. Además, en todo tipo de motores podría suceder que se hubiera acumulado tanta tierra y mugre en ese motor que se taparan las costillas de paso de aire de enfriamiento. También, sucede con más frecuencia que la que se cree, que se ponen a trabajar esos motores sin su propio ventilador de enfriamiento, por haberse roto o perdido. Si el ventilador o soplador tienen acoplamiento directo al motor, pueden estar desalineados, con lo cual los rodamientos del motor se someten a demasiado trabajo y se deterioran. En estos casos puede suceder que el desgaste sea tal que el rotor del motor "arrastre" en el estator, se amarre y se queme.

2 N. del T.: Quizá se usen más los motores con lubricación de grasa, a los que se aplican las indicaciones de arriba. Sin embargo, en ellos es mejor el riesgo de sobrelubricar, porque la grasa se agrega hasta que comienza a salir por un conducto especial. A veces se usan rodamientos "prelubricados", o "lubricados de por vida"; en estos casos, se deben seguir las instrucciones del fabricante de rodamientos.

R26-18.3 Lubricación

Se deben revisar y aceitar o engrasar los motores eléctricos que necesiten de lubricación periódica, con cuidado sentido común. El que baste $\frac{1}{2}$ cucharadita de aceite una vez al año para lubricar la Mayor parte de los motores normales no quiere decir que sea mejor más de $\frac{1}{2}$ cucharadita de aceite una vez al año, o más de una vez al año. Se dañan más motores por exceso de lubricación que por cualquier otra razón.

Cuando un motor está sobrelubricado, el aceite o la grasa tan sólo se sale del cojinete y pasa al interior del armazón, se esparce por el interior del motor, cubriendo devanados, terminales e interruptor de arranque. En las partes móviles se forman gomas, se carbonizan las terminales, y fallan los contactos y el motor. Es mejor que el motor sólo se aceite cada 2 años que con mayor frecuencia que la especificada.

El tipo de aceite también es muy importante. El aceite debe ser lo suficientemente viscoso como para dar buena lubricación, pero no debe contener aceites, detergentes o cualquier otro aditivo. El Tres en Uno, el Finol, o cualquier otro aceite preventivo de oxidación no se deben usar en los motores de soplador o ventilador. También, nunca se debe usar aceite ordinario de motor, independientemente de su marca o grado. Use aceite para motores eléctricos, o aceite mineral refinado de la viscosidad especificada en el motor. En general, se pide aceite No. 10

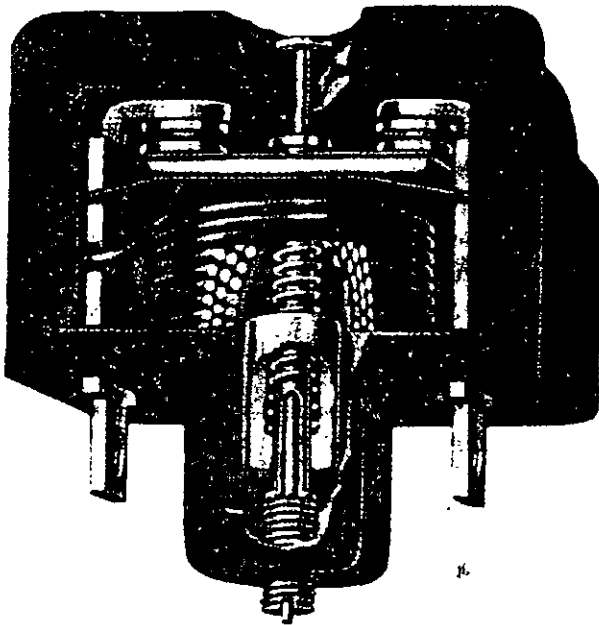


FIGURA R26-14 Relevador de corriente.

lo que limita la cantidad de corriente que pasa por el motor es tan sólo la pura resistencia del devanado. Al ponerse en marcha el motor, esta resistencia aumenta con rapidez debido a la fuerza contraelectromotriz, o contravoltaje, que se genera en los devanados. Por lo tanto, la corriente inicial, que se llama *corriente de arranque*, o *corriente de rotor bloqueado*, puede ser de dos a cuatro veces más grande que la corriente normal de trabajo. La figura R26-15 muestra este paso de corriente por el motor eléctrico desde el instante en que se conecta el voltaje, hasta que el motor alcanza la velocidad a plena carga 1.5 segundos después. Como notará, la corriente de arranque es 21.6 A y la corriente normal de trabajo es 7.2 A. Entonces la corriente a rotor bloqueado es tres veces más que la normal.

Si por la bobina del relevador pasa toda la corriente que usa el motor, el relevador desarrollará mucho más fuerza magnética con la corriente de arranque que con la corriente normal de operación. Si la armadura en el relevador tiene tensión de resorte, ésta se puede ajustar de tal modo que abra el corte cuando la corriente alcanza el 80% de los límites a plena carga. Así, sale el devanado de arranque a la velocidad deseada y el motor trabaja con normalidad.

Como los contactos están normalmente abiertos y el

R26-19 RELEVADOR DE ARRANQUE QUEMADO O INADECUADO

Los relevadores de arranque que se usan en refrigeración y aire acondicionado son de dos tipos: de corriente y de potencial.

R26-19.1 Relevadores de corriente

El funcionamiento de los relevadores de corriente es el mismo que el de cualquier otro relevador. Se componen de una bobina magnética y un juego de contactos para controlar el circuito del devanado de arranque del motor. La figura R26-14 muestra un corte típico de un relevador de arranque de corriente. El campo magnético producido por la bobina jala una armadura con tensión de resorte, a la cual están fijos los contactos. Estos son del tipo normalmente abiertos, o sea, están abiertos cuando la bobina está desenergizada. La bobina magnética es de tipo de carga parásita conectada de tal modo que usa una pequeña parte de la energía suministrada al motor, para hacer trabajar el relevador. Para comprender esta función es necesario repasar la función de arranque del motor.

Cuando se conecta un motor eléctrico con una fuente de poder, lo que limita la cantidad de corriente que pasa por el motor es tan sólo la pura resistencia del devanado. Al ponerse en marcha el motor, esta resistencia aumenta con rapidez debido a la fuerza contraelectromotriz, o contravoltaje, que se genera en los devanados. Por lo tanto, la corriente inicial, que se llama *corriente de arranque*, o *corriente de rotor bloqueado*, puede ser de dos a cuatro veces más grande que la corriente normal de trabajo. La figura R26-15 muestra este paso de corriente por el motor eléctrico desde el instante en que se conecta el voltaje, hasta que el motor alcanza la velocidad a plena carga 1.5 segundos después. Como notará, la corriente de arranque es 21.6 A y la corriente normal de trabajo es 7.2 A. Entonces la corriente a rotor bloqueado es tres veces más que la normal.

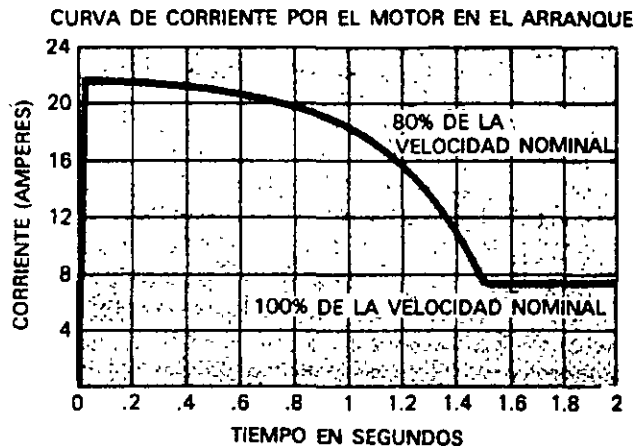


FIGURA R26-15 Paso de corriente por un motor al arranque.

relevador, en general, es de tipo sellado, no es posible comprobar el estado de los contactos con un óhmetro. Por lo tanto, la única prueba es cambiarlo por uno nuevo. Sin embargo, el relevador nuevo debe tener equivalencia exacta a la parte que quitó. Como la relación de corrientes de arranque a corrientes normales es distinta para los diversos tipos de motor, se debe usar un repuesto exacto para asegurar un arranque adecuado del motor.

R26-19.2 Relevador de potencial

En las unidades de motor monofásico de gran potencia, el relevador de arranque se debe formar con una bobina con conductor tan grande que si usaran relevadores de corriente, el tamaño general de la bobina no sería práctico. También, el hecho de que los motores de arranque y marcha por capacitor que se usan en las unidades generan mayores voltajes en el devanado en serie con el capacitor de marcha, permite el empleo de un relevador con bobina de alto voltaje, que se llama "de potencial". Este relevador, que se muestra en la figura R26-16, usa una bobina de muchas vueltas capaz de manejar voltajes hasta 600 V, dependiendo del motor que vaya a controlar. También tiene un juego de contactos de un polo, un tiro, normalmente cerrados, conectados en el circuito del capacitor de arranque. Así, cuando el motor está parado, los contactos están cerrados y los capacitores de arranque están en el circuito, listos para poner en marcha el motor cuando se aplique el voltaje.

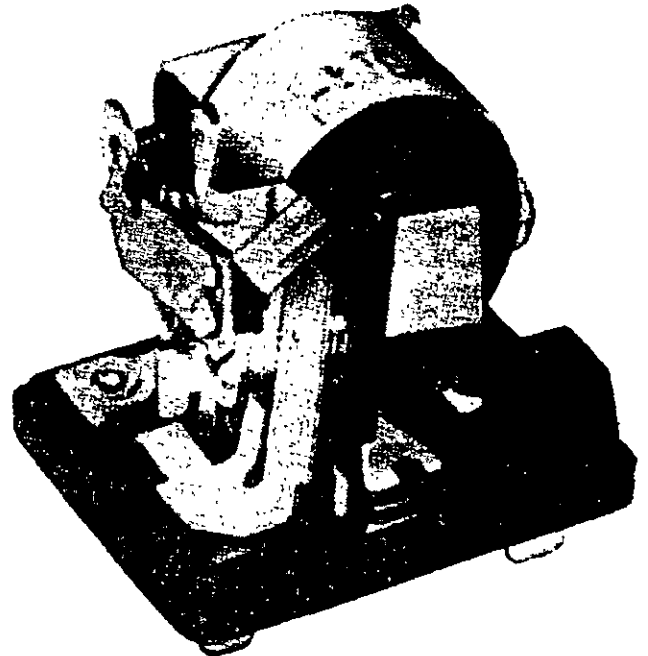


FIGURA R26-16 Relevador de potencial.

Cuando el motor va tomando velocidad, el voltaje del devanado auxiliar o de arranque en el motor crece y se hace más grande que el voltaje aplicado. Cuando el motor alcanza un 80% de la velocidad normal de funcionamiento, esta acumulación de voltaje alcanza el valor requerido para accionar el relevador y éste jala los contactos de arranque, los cuales se abren. El capacitor de arranque sale del circuito y entonces el motor trabaja como motor con capacitor de marcha.

La figura R26-17 muestra una curva de voltaje contra tiempo, del voltaje que se desarrolla en el devanado auxiliar hasta cuando el motor alcance su velocidad a plena carga. Recuerde que el voltaje en la bobina siempre es bastante mayor que el voltaje aplicado. *Nunca coloque sus manos, o una herramienta, en las terminales de la bobina o el relevador cuando la unidad esté trabajando.* Debido a la demora mecánica desde cuando se activa la bobina para abrir los contactos, y la abertura real de ellos, se dimensionan las bobinas para jalar y abrir los contactos antes de alcanzar la velocidad deseada. La demora mecánica da entonces el tiempo adicional que permite que el motor alcance el 80% de la velocidad normal de funcionamiento para que se abran los contactos.

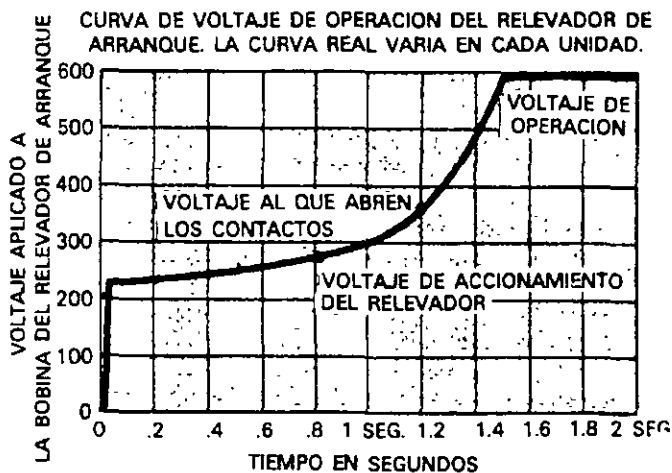


FIGURA R26-17 Voltaje en un relevador de potencial al arranque del motor.

Como el voltaje de accionamiento se compone del voltaje aplicado a la unidad, 240 V por ejemplo, más el voltaje generado (de 100 a 300 V dependiendo del motor de la unidad), el voltaje de accionamiento de la bobina puede ser

Si cambia el relevador por uno que tenga mayor voltaje de operación, o más tiempo de abertura, el motor se acelerará demasiado antes que abran los contactos. Con ello se tendrá un motor ruidoso, que posiblemente falle, y también se romperá el capacitor de arranque y se quemará el devanado auxiliar.

Si cambia el relevador por uno de menor voltaje de operación, sus contactos abrirán antes que el motor alcance la velocidad adecuada, y se amarrará y bajará su velocidad; con ello se tendrá un crecimiento y disminución muy rápidos de la velocidad del motor, los contactos del relevador abrirán y cerrarán rápidamente, se quemarán y quemarán también los capacitores de arranque. Por lo tanto, nunca cambie un relevador por otro de distintas características. Use partes de repuesto de fábrica, o diseñadas específicamente para remplazar la parte averiada.

entre 330 y 530 V. La prueba de la bobina se hace con un óhmetro después de haber sacado el relevador. Puede ser que la bobina esté bien, esté abierta, o esté en corto. Si la bobina está abierta, la aguja del óhmetro indicará resistencia infinita (o sea, la aguja no se mueve). Si la bobina se pone en corto, la aguja indicará resistencia de cero. Una bobina en buen estado indicará una resistencia de 50 a 10,00 Ω dependiendo del caballaje del conjunto motor compresor de la unidad. Asegúrese que se usen las terminales correctas al medir las resistencias de las bobinas. En general son las terminales 2 y 5. El relevador puede no estar numerado con alguna norma de industria, y por lo tanto puede ser que no se apliquen los números 2 y 5.

Cuando mida la resistencia de la bobina se aconseja medir la de sus contactos. Lo deseable es que la resistencia sea de 1 Ω o menos. Cualquier resistencia mayor indica que los contactos están quemados y que se debe cambiar el relevador. Una indicación de resistencia infinita (no se mueve la aguja del óhmetro quiere decir que un contacto está abierto, está quemado abierto, o que la armadura está atorada; se debe cambiar el relevador. *Por ningún motivo se debe reparar o ajustar el relevador, porque los voltajes de accionamiento son críticos. Si se cambian los ajustes del relevador, o se usa otro distinto del original, o que no sea parte certificada para reemplazo, tan sólo se tendrán fallas en otras partes eléctricas, y se quemará el motor del compresor.*

R26-20 EL CAPACITOR DE ARRANQUE ESTA QUEMADO O ES INADECUADO

La pérdida de función de un capacitor de arranque en el circuito de arranque del motor del compresor, tipo arranque por capacitor y marcha por capacitor, ocasiona la pérdida de la diferencia eléctrica entre los devanados de arranque y marcha del motor. Como consecuencia, el motor no producirá la rotación deseada ni arrancará. El consumo de corriente permanece alto por falta de la fuerza contraelectromotriz que produce la rotación del motor.

El paso continuado de esta alta corriente hace que se sobrecargue el compresor y se abran los cortes principales por sobrecarga. Sin estos dispositivos, el motor del compresor se sobrecalentaría con rapidez y se quemaría. Debido a la construcción del capacitor de arranque, y a que está diseñado para permanecer en el circuito durante un tiempo muy corto, la unidad enciende y apaga en ciclos cortos, o se amarra, o bien, si no abren los cortes del relevador de arranque, el capacitor de arranque se calienta con rapidez y se rompe. Teóricamente, la ventilación para alivio de presión en la parte superior del capacitor está allí para romperse y aliviar la presión de vapor que se desarrolla. Pero a veces explota la envolvente del capacitor y, si se aterrizan sus terminales, se quema el devanado de arranque del motor.

Rara vez se rompen los capacitores por estar defectuosos. Invariablemente, la ruptura es el resultado de función incorrecta de alguna otra parte eléctrica. Por lo tanto, si se tienen problemas con el capacitor de arranque, busque el problema en otras partes del sistema eléctrico, como por ejemplo alto voltaje (sección R26-12), bajo voltaje (sección R26-13), capacitor de marcha (sección R26-21), relevador de arranque (sección R26-19), o el conjunto del motor y compresor (sección R25-22). También existe la posibilidad de haber empleado una parte incorrecta que no tenga la capacidad en microfaradios adecuada, o que esté diseñada para trabajar con voltaje distinto al que se tiene.

Todos los capacitores se especifican en base al voltaje máximo de trabajo, y a su capacidad en microfaradios. Los capacitores de reposición deben tener los mismos microfaradios, más o menos 10%, y también un voltaje nominal máximo de 10% más que el de trabajo, para que trabajen bien.

Los capacitores, tanto de arranque como de marcha, se pueden probar fácilmente empleando un óhmetro. Los capacitores en realidad son tanques de almacenamiento eléctrico y tan sólo se necesita medir la capacidad que tienen para recibir y almacenar energía eléctrica. Por tanto, se puede emplear la fuente de poder del óhmetro como fuente de electricidad, y al óhmetro como medidor de flujo.

Un buen capacitor recibirá energía eléctrica tan rápidamente como la ceda la fuente de poder, hasta que se llene y ya no le quepa más. Por lo tanto, cuando se conecta un óhmetro con las terminales del capacitor, la corriente eléctrica será lo suficientemente alta como para que el óhmetro indique baja resistencia; sin embargo, a medida que el capacitor se llena, disminuyen su posibilidad de tomar energía eléctrica y el flujo de corriente. Esto hace que el óhmetro indique aumento de resistencia, porque el flujo de corriente disminuye. El decremento del flujo seguirá hasta que el capacitor se llene, y en ese punto se detiene el flujo y la aguja del óhmetro indica resistencia infinita. Cuando use el óhmetro para comprobar capacitores, asegúrese de dejarlo conectado durante un tiempo



FIGURA R26-18 Probador de capacitores.
(Cortesía de Robinair Manufacturing Corporation.)

suficiente para llenar al capacitor. En los capacitores pequeños, esta acción es muy rápida. Pero en los grandes puede tardar 10 segundos o más. Si en la prueba no se mueve la aguja del óhmetro del punto cero después de conectar las terminales, independientemente del tiempo, el capacitor está en corto. Si la aguja no deja la indicación de resistencia infinita del óhmetro el capacitor tiene abierto su circuito interno.

Un capacitor de arranque debe tener una resistencia de drenado entre sus terminales. Este resistor se usa para purgar toda carga del capacitor después que abran los contactos de arranque en el relevador correspondiente, al poner en marcha el motor del compresor. Este drenado de la carga del capacitor evita que se quemen los contactos del relevador de arranque cuando la unidad se para, y cierran los contactos y el capacitor entra de nuevo al circuito. En general, el resistor de puente es de 1W, de 15,000 a 50,000 Ω . Si el capacitor de arranque no tiene resistencia, se debe instalar una para reducir la posibilidad de falla en el futuro.

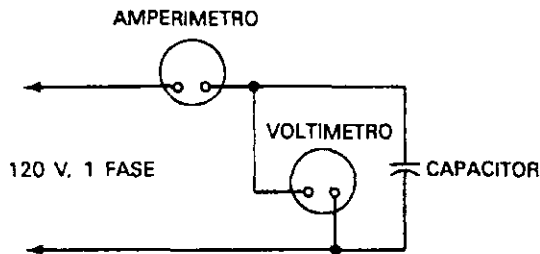


FIGURA R26-19 Conexiones para determinar capacitancia

Recuerde que para probar con precisión el capacitor, se debe desconectar una punta de la resistencia del capacitor, para tenerlo a él solo en el circuito. El resultado de esta prueba puede ser un capacitor bueno o malo. No determinará su capacidad. El mejor modo de determinar su capacidad es emplear un probador de capacitores, como el que se ve en la figura R26-18. El instrumento mide con exactitud la capacidad y factor de potencia, desde 0 a 1000 μF . Si los resultados de la medición indican que la capacidad es la nominal más o menos 10%, se puede emplear el capacitor. Si se sale de los límites, se debe desechar el capacitor.

Si no tiene ese probador, puede conectar un voltímetro y un amperímetro al capacitor para determinar su capacidad. La figura R26-19 muestra las conexiones con una fuente de poder de 120 V. *Recuerde, esta prueba sólo se hace después de haber determinado, con el óhmetro, que el capacitor ni esté abierto ni en corto.* Si conecta su amperímetro en serie con un capacitor en corto, podría usted tener que comprar otro.

Después de conectar medidores y capacitor como en la figura R26-19, se miden y se anotan el voltaje a través del capacitor y el paso de la corriente por él. Esas indicaciones se sustituyen en la siguiente fórmula, que da la capacidad del capacitor:

$$\mu\text{F} = \text{amperes} \times 2650 / \text{voltaje a través del capacitor}$$

Por ejemplo, si se aplican 120 V al capacitor, y pasan 5A por él, la capacidad en microfaradios es

$$5 \times 2650 / 120 = 110.41666 \mu\text{F}$$

El capacitor indica ser de 110 μF . Si la capacidad nominal es de 100 a 120 μF , se puede usar. Si es mayor que 120 μF o menor que 100 μF , se debe desechar.

R26-21 CAPACITOR DE MARCHA QUEMADO O INADECUADO

Los capacitores de marcha tienen dos propósitos: dar la diferencia eléctrica entre los devanados de marcha y arranque para poner en marcha el motor, y emplear el devanado de arranque o auxiliar como segundo devanado cuando la unidad está trabajando. El empleo del capacitor de marcha y un devanado auxiliar para contribuir a la potencia del motor cuando está trabajando, produce más potencia y reduce el amperaje del motor.

Si el motor es del tipo de arranque y marcha por capacitor, el capacitor de marcha no da la diferencia eléctrica suficiente entre los devanados como para arrancar la unidad, y por lo tanto se necesitan un capacitor y un relevador de arranque. Si el capacitor de marcha se abre o se saca del circuito, la capacidad total disponible para poner en marcha el compresor, y el motor se amarra si trata de arrancar contra una gran diferencia entre la presión de succión y la de descarga. Si las presiones están igualadas, el motor puede arrancar, pero la gran corriente que pasa hará que corte la protección contra sobrecarga.

En los motores con compresor de capacitor de arranque, en los que sólo se usa el capacitor de marcha para arrancar y hacer trabajar al motor, el capacitor se ha dimensionado haciendo un balance entre las necesidades de arranque y de marcha, y por lo tanto no se necesitan capacitor ni relevador de arranque para poner en marcha al motor.

Si sale el capacitor del circuito hará que no pueda arrancar el motor, si el capacitor está abierto, o que arranque y funcione con demasiada corriente, si el capacitor está en corto. Prácticamente todos los capacitores de marcha tienen fusibles internos para que si se presenta un corto en el capacitor, se quema el fusible para proteger los devanados del motor del compresor.

Lo principal que se debe comprender en esta ocasión es que *son tan necesarios los capacitores de marcha para arrancar el motor del compresor, como lo son los capacitores de arranque. Si no se tiene la capacidad correcta en el circuito, se tendrán malos arranques y mal funcionamiento.*

Es absolutamente necesario emplear capacitores de la capacidad y voltaje de trabajo correctos en la unidad. Nunca remplace un capacitor de marcha por otro de distinta capacidad en microfaradios, menor voltaje de trabajo, o de diferente tipo.

Los capacitores de marcha se revisan del mismo modo que los de arranque (véase sección R26-20). La diferencia entre esos capacitores es que el de marcha tiene un fusible interno. Si se hace lo de costumbre, de poner en corto el capacitor con un destornillador o un puente, se podría quemar el fusible interno debido al gran golpe de corriente y se quema el capacitor. Para descargarlo con seguridad, emplee un resistor de sangría, como el que tienen los capacitores de arranque, de $\frac{1}{2} w$, 15,000 Ω , con dos terminales aisladas.

PROBLEMA

- R26-1. La tolerancia de voltaje para sistemas monofásicos de refrigeración es + _____ % y _____ %.
- R26-2. La tolerancia de voltaje para sistemas trifásicos de refrigeración es + _____ % y _____ %.
- R26-3. En las unidades trifásicas el voltaje de los tres pares de terminales de la fuente de poder debe ser igual con una variación menor que _____ % entre ellas.
- R26-4. El límite de resistencia para los contactos cerrados es _____ Ω para los de alto voltaje y _____ Ω para los de bajo voltaje.
- R26-5. El fusible o interruptor termomagnético para motores ¿de qué tipo debe ser?
- R26-6. ¿Cuál sería una causa probable de fusible quemado, si la carga conectada nunca es mayor que la capacidad del fusible?
- R26-7. Se han empleado tres distintos arreglos de protección de sobrecarga con restablecimiento automático en los conjuntos de motor y compresor. ¿Cuáles son?
- R26-8. ¿Qué cosas tiene un "kit de arranque difícil"?
- R26-9. ¿Cuál es la tolerancia de valores, alto y bajo, de voltaje de entrada para una unidad monofásica de 240 V?
- R26-10. ¿Cuál es la tolerancia de valores, alto y bajo, de voltaje de entrada para una unidad trifásica de 208/1230 V?
- R26-11. ¿Dónde se debe medir el voltaje cuando se pone en marcha y se hace trabajar una unidad?
- R26-12. ¿Cuál es la causa más frecuente de ruido y quemado de bobina de relevador?
- R26-13. ¿Aumentará o disminuirá la corriente por el motor del ventilador de hélice cuando aumenta la resistencia al movimiento del aire?
- R26-14. ¿Aumentará o disminuirá la corriente por el motor del ventilador del soplador cuando aumenta la resistencia al movimiento del aire?
- R26-15. Se puede emplear un sistema de ductos con una unidad que tenga ventilador de hélice. ¿Cierto o falso?
- R26-16. Se puede emplear aceite automotriz con buenos resultados para lubricar motores eléctricos. ¿Cierto o falso?
- R26-17. Los relevadores de arranque que se usan en unidades de refrigeración o de aire acondicionado son de dos tipos. ¿Cuáles son? _____
- R26-18. El voltaje de funcionamiento de un relevador de corriente está entre _____ y _____ V.
- R26-19. Los relevadores de arranque se ajustan con facilidad. ¿Cierto o falso?
- R26-20. La tolerancia de valores nominales de capacidad en microfaradios, para cambiar un capacitor, es de + _____ a _____ %.
- R26-21. La tolerancia de valores nominales de voltaje, para cambiar un capacitor, es de + _____ % a _____ %.
- R26-22. Cuando se emplea un amperímetro y un voltímetro para determinar la capacidad de un capacitor, ¿qué fórmula se usaría?
- R26-23. Todos los capacitores de marcha tienen fusibles internos. ¿Cierto o falso?



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

GUÍA GENERAL DE REEMPLAZO

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

GUIA DE REFERENCIA PARA BOLSILLO (psig)

Table with columns for temperature in °F and °C, and refrigerant types: DuPont Freon 22, DuPont Suva HP 30, DuPont Suva HP 33, DuPont Suva 404 A, DuPont Suva 404 A, DuPont Suva 404 A, DuPont Suva 407 A, DuPont Suva 407 A.

GUIA DE REFERENCIA PARA BOLSILLO (psig)

Table with columns for temperature in °F and °C, and refrigerant types: DuPont Suva MP 39, DuPont Suva MP 66, DuPont Suva 134a, DuPont Suva 409 A, DuPont Suva 409 A, DuPont Suva 95, DuPont Suva 123.

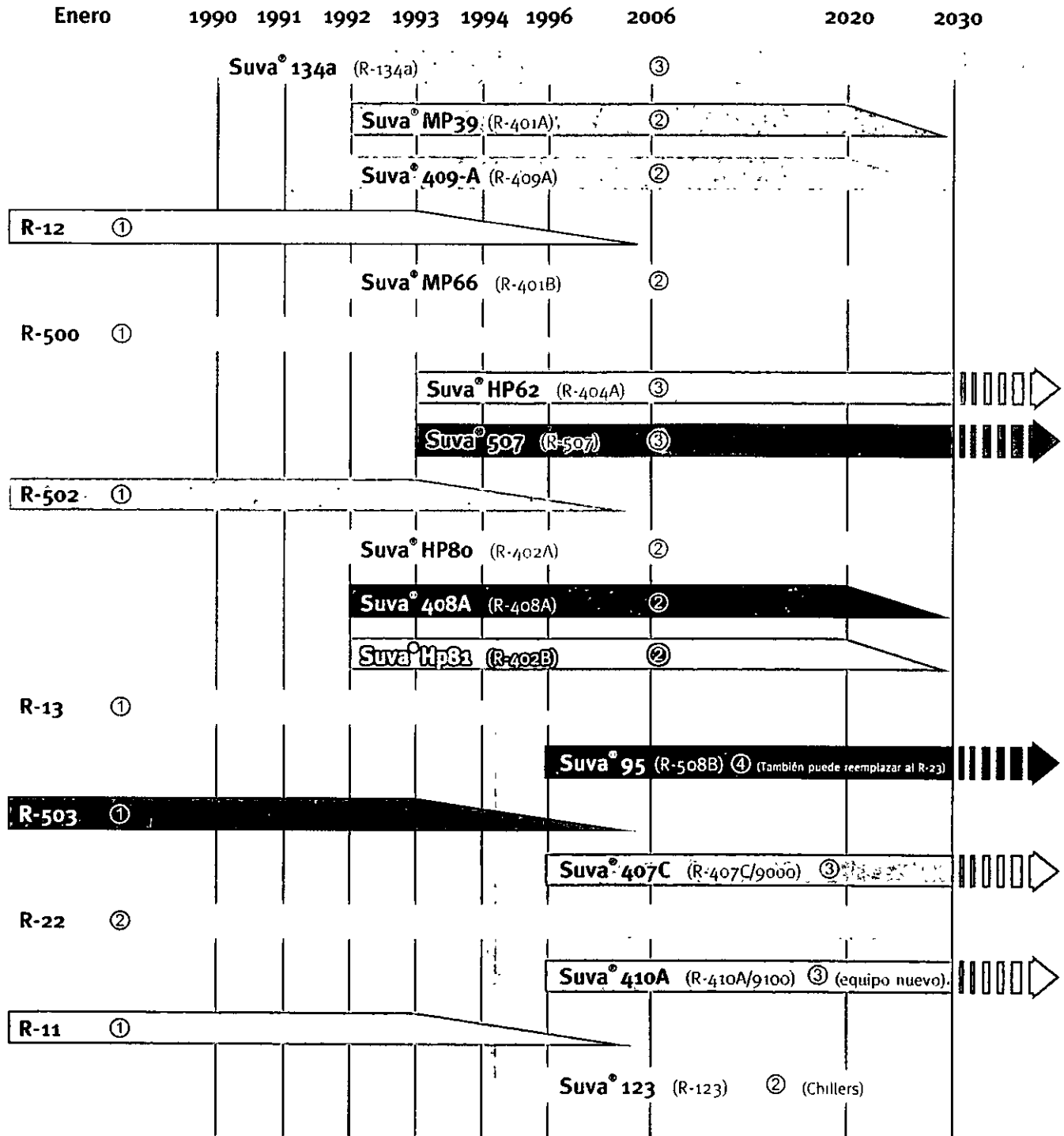
Información de contacto: Teléfono 722-1150, Fax 722-1151, Calle 14, No. 100, San Juan, P.R. 00911.

Información de contacto: Teléfono 722-1150, Fax 722-1151, Calle 14, No. 100, San Juan, P.R. 00911.

DuPont® Suva®

refrigerantes

Guía general de reemplazo



① Refrigerante CFC

② Refrigerante HCFC

③ Refrigerante HFC

④ Refrigerante PFC

NOTA: CUANDO SE SUSTITUYE CON LOS REEMPLAZOS SUGERIDOS, REFIÉRASE A LA LITERATURA ESPECÍFICA DE LA SUSTITUCIÓN Y AL FABRICANTE DEL EQUIPO PARA TENER LOS PROCEDIMIENTOS A DETALLE

DuPont® Suva®

refrigerantes

Guía de aceites sugeridos Para uso en refrigeración estacionaria

Aplicables a expansión directa

Refrigerante	1º.	2º.
R-12 ①	AM o AB	POE
•134a (R-134a) ③	POE	
•MP39 (R-401A) ②	AM o AB	POE
•409A (R-409A) ②	AM o AB	POE
R-500 ①	AM o AB	POE
•MP66 (R-401B) ②	AM o AB	POE
R-13 ①	AM o AB	POE
R-503 ①	AM o AB	POE
R-23 ③	POE	
•95 (R-508B) ④	POE	

Refrigerante	1º.	2º.
R-502 ①	AM o AB	POE
•HP62 (R-404A) ③	POE	
•507 (R-507) ③	POE	
•HP80 (R-402A) ②	AB	POE
•408A (R-408A) ②	AB	POE
•HP81 (R-402B) ②	AM o AB	POE
R-22 ②	AM o AB	POE
•407C (R-407C) ③	POE	
•410A (R-410A) ③	POE	

AM=Aceite mineral
• Refrigerante Suva®
② Refrigerante HCFC

AB=Alquilbenceno
③ Refrigerante HFC

POE=Poliol éster
① Refrigerante CFC
④ Refrigerante PFC

Guías para el cambio de aceite

- Donde sea posible, use el tipo de aceite, tamaño de la carga y viscosidad recomendados por el Fabricante del Equipo Original (FEO).
- Cuando se convierten muchos sistemas de CFC a un refrigerante de servicio de HCFC (los refrigerantes Suva® MP39, 409A, MP66, HP80, 408A o HP81), se recomienda el lubricante AB para un óptimo retorno de aceite. Un cambio de aceite del compresor a AB, típicamente removerá entre 50 y 80% del AM presente, lo que satisface las recomendaciones de requerimientos de la mayoría de fabricantes de compresores.

Nota: Muchos compresores ya tienen un lubricante AB, por lo que no se requiere un cambio de aceite cuando se convierte a un HCFC

- La experiencia en el campo ha mostrado que los refrigerantes Suva® MP39, 409A, MP66, y HP81 trabajan bien con el AM existente en muchos sistemas unitarios o acoplados
- Cuando se convierte un sistema de CFC a un refrigerante HFC (Suva® 134a, HP62, 507, 407C o 95) el refrigerante recomendado es el POE. Por lo menos el 95% del AM o AB debe reemplazarse con un POE de viscosidad similar. Esto típicamente requiere múltiples cambios de aceite

Qué esperar después de la sustitución

DuPont® Suva® HP62, HP80, 408A y HP81 se comparan con R-502
DuPont® Suva® MP39, MP66, 409A y R-134a se comparan con R-12
DuPont® Suva® 407C se compara con R-22

+ es aumento
- es disminución
Esta información intenta servir como una guía;
el desempeño real puede variar

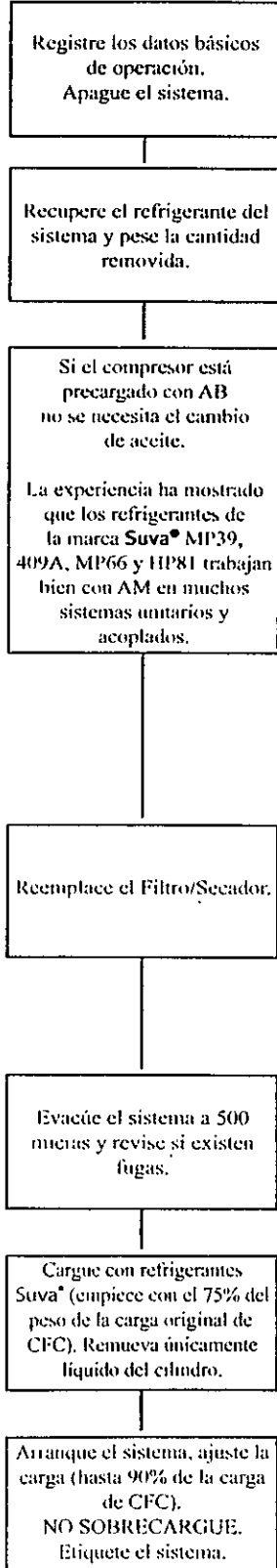
Refrigerante	Presión de Descarga (psi)	Presión de succión (psi)	Temperatura de Descarga (°F)	Capacidad de Refrigeración %	Sobrecalentamiento esperado (°F)
134a	+10	-2	-10	-10	-4
MP39	+20	La misma	+25	+10	-3
MP66	+30	+2	+30	+15	-1
409A	+25	La misma	+30	+10	-4
HP80	+40	+5	-5	+15	+4
HP81	+30	+5	+15	+15	La misma
408A	+5	La misma	+20	+5	-3
HP62	+20	La misma	-10	La misma	+2
507	+30	La misma	-15	La misma	+4
407C	+15	La misma	-15	La misma	+1

Di Pont® Suva®

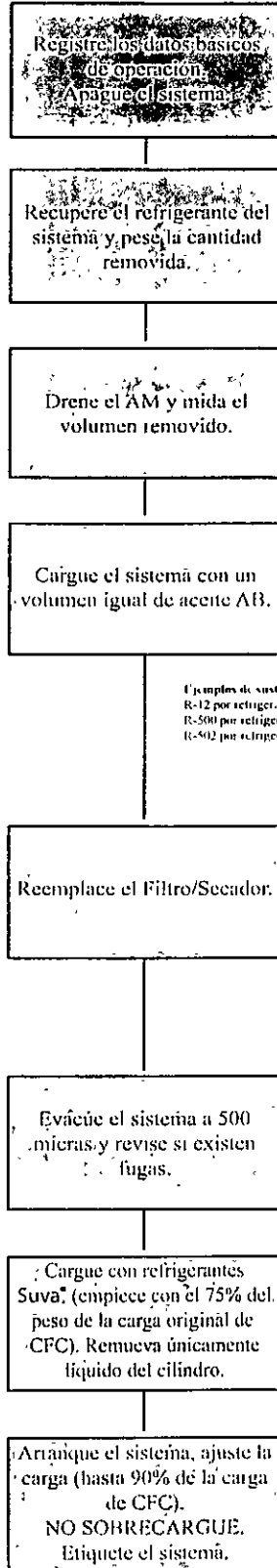
refrigerantes

Guía general de sustitución

Sustitución con HCFC Sin cambio de aceite
Para sistemas que contienen AB o sistemas acoplados que no requieren cambiar el AM

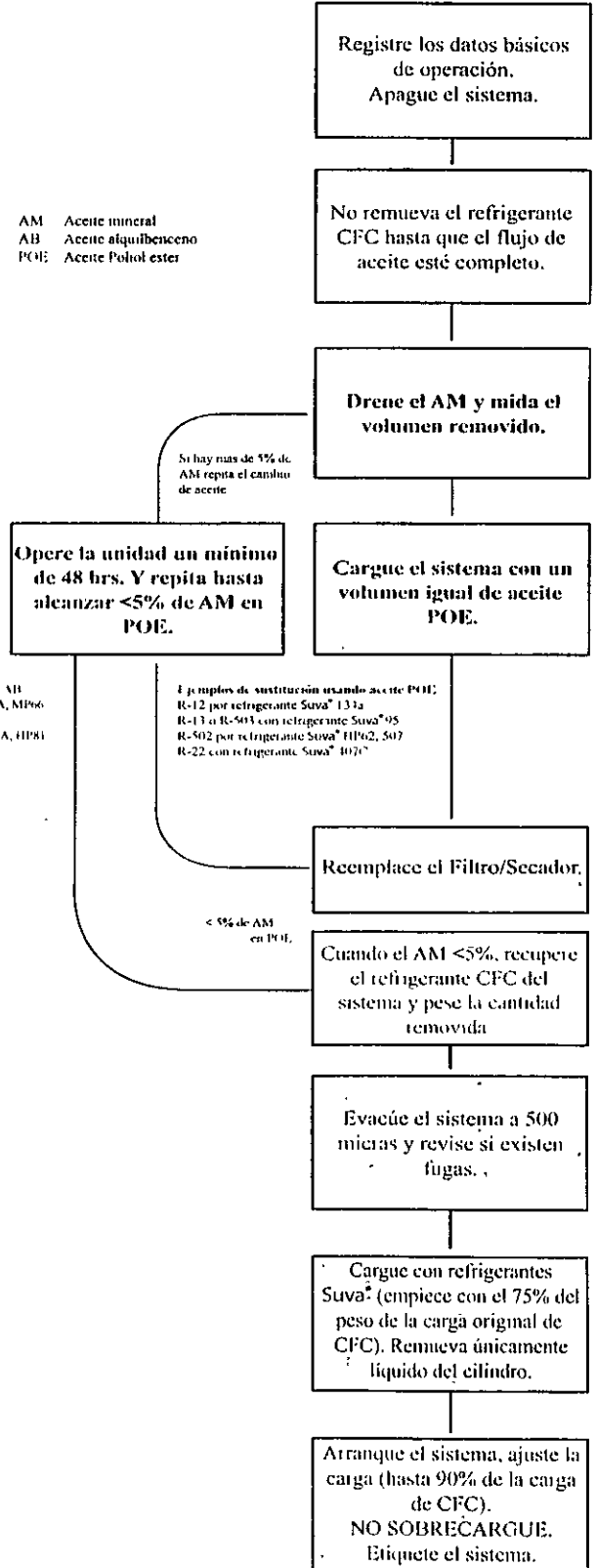


Sustitución con HCFC Cambio de aceite único
Para sistemas que requieren un solo cambio para remover el AM



Sustitución con HFC Múltiples cambios de aceite

AM Aceite mineral
AB Aceite alquibenceno
POE Aceite Poliol ester



*Para información más detallada, consulte nuestras guías de sustitución

Guía para fijar posiciones de control de presión

(aproximados)

Aplicables a expansión directa

Esta guía para fijar puntos (posiciones) de control de presión le proporciona posiciones aproximadas que pueden usarse como puntos iniciales que lo ayuden a optimizar su sistema. Reconocemos que los valores expresados pueden variar con ciertas condiciones específicas, tales como la humedad relativa existente, caídas de presión, disposición del almacén o establecimiento, localización y diseño del equipo. Si sus puntos o posiciones de control para R-12 o R502 varía de los valores básicos dados en la tabla, las posiciones con los refrigerantes alternos variarán de manera similar.

Aplicaciones		Temperatura deseable en la caja °C	R-502		HP80		408A		HP81		HP62		R-12		MP39		409A		MP66		R-134a	
			salida	entrada	salida	entrada	salida	entrada	salida	entrada	salida	entrada	salida	entrada	salida	entrada	salida	entrada	salida	entrada	salida	entrada
Helados	Abierto	-32.8 a -30.0	2	17	2	18	1	17	0	15	2	17	—	—	—	—	—	—	14"	1"	—	—
	Cerrado	-26.1 a -23.3	6	23	6	25	5	23	4	21	6	23	—	—	—	—	—	—	12"	3"	—	—
Alimentos Congelados	Abierto	-23.3 a -20.6	17	29	18	31	16	28	14	27	17	29	4*	5	4*	4	4*	3	2*	6	4*	4
	Cerrado	-20.6 a -17.8	21	33	22	35	20	32	19	30	21	33	0	7	0	6	0	5	2	8	0	6
Deh Case	Porción	6.1 a 7.2	43	68	47	75	43	68	42	68	44	69	11	27	12	26	11	25	14	29	12	26
Carne Fresca	Enfrador	1.1 a 3.3	33	55	36	60	33	55	32	54	34	56	5	19	6	18	5	17	8	20	6	18
	Cajas	3.3 a 5.6	35	64	39	70	35	64	34	63	36	65	7	24	8	23	7	22	10	26	8	23
Lácteos	Unidades de almacenamiento	10.0 a 15.6	53	68	59	75	53	68	52	68	54	69	16	27	17	26	16	25	19	29	17	26
		0.6 a 2.2	35	57	39	63	35	57	34	56	36	58	7	21	8	20	7	19	10	22	8	20
Productos agrícolas	Unidades de almacenamiento	4.4 a 7.2	49	79	53	87	49	79	48	78	50	80	14	33	15	32	14	31	18	35	15	32
		1.7 a 4.4	37	68	41	75	37	68	37	68	38	69	8	27	9	26	8	25	11	29	9	26
Carne empacada	Producto Cuarto	-2.2 a 0.0	52	68	59	75	52	68	52	68	53	69	16	27	17	26	16	25	19	29	17	26
		5.6 a 8.3	33	79	36	87	33	79	32	78	34	80	5	33	6	32	5	31	8	35	6	32
Cuartos otros	Carnes Aves Pescados	-2.2 a 0.0	52	70	57	77	52	70	51	69	53	71	16	27	17	26	16	25	19	29	17	26
		-6.7 a -1.1	51	68	56	75	51	68	50	68	52	69	15	27	16	26	15	25	18	29	16	26
		0.0 a 1.1	53	79	59	78	53	79	52	78	54	80	16	27	17	26	16	25	19	29	17	26
	Lácteos Agrícolas Panadería	0.6 a 1.7	60	82	66	90	60	82	59	82	61	83	23	40	24	39	23	38	27	43	24	39
		2.2 a 5.6	64	84	70	92	64	84	63	84	65	85	26	41	27	40	26	39	30	44	27	40
		1.7 a 4.4	60	82	66	90	60	82	59	82	61	83	23	40	24	39	23	38	27	43	24	39
Cereales congelados	Abarrotos Carnes Panadería	-26.1 a -24.4	11	23	12	25	10	22	9	21	11	23	9*	7	9*	1	9*	0	7*	3	9*	1
		-20.6 a -17.8	21	33	22	35	20	32	19	30	21	33	0	7	0	6	0	5	2	8	0	6
		-17.8 a -20.6	24	36	27	40	24	36	23	35	25	37	1	9	2	8	1	7	4	10	2	8
Bebidas	Leche Cerveza	1.7 a 4.4	53	68	59	75	53	68	52	68	54	69	16	27	17	26	16	25	19	29	17	26
		2.2 a 6.1	55	71	60	78	55	71	54	70	56	72	17	27	18	26	17	25	20	29	18	26
Almacenamiento de pieles	Almacén	-12.2 a -9.4	33	51	36	56	33	51	32	50	34	52	5	17	6	16	5	15	8	18	6	16
		-1.1 a 1.7	63	93	69	101	63	92	62	92	64	94	22	40	23	39	22	38	26	43	23	39
Flores Cortadas	Exhibición	0.0 a 1.7	10	93	75	101	10	92	68	92	11	94	25	40	26	39	25	38	29	43	26	39
Maquinas de hielo	Tipo seco	-20.6 a -17.8	25	48	27	52	24	48	23	46	25	48	2	15	2	14	1	13	4	17	2	14
Fuente de Sodas		-1.7 a 0.6	55	70	60	77	55	70	54	69	56	71	17	27	18	26	17	25	20	29	18	26
Barras de ensalada	Abierto	4.4 a 5.6	49	78	53	86	49	78	48	77	50	79	14	32	15	31	14	30	18	35	15	31
Doméstico	Refrigerador Congelador	2.2 a 7.8	64	84	70	92	64	84	63	84	65	85	26	43	27	42	26	41	30	46	27	42
		-23.3 a -17.8	17	33	18	35	16	32	14	30	17	33	4*	7	4*	6	4*	5	2*	8	4*	6

Nota: los valores de presión se expresan en psig o pulgadas de Mercurio

* Para aplicaciones de R-507, use las posiciones de R-404A.

La información contenida en este boletín se basa en datos técnicos y en pruebas que se creen son confiables. Se pretende que este boletín sea usado por personas que tienen habilidad técnica, y bajo su propio riesgo. Debido a que las condiciones de uso están fuera del control de DuPont, no podemos asumir responsabilidad por resultados obtenidos o por daños ocasionados durante la aplicación de la información aquí presentada.

Para mayores informes comunicarse al Centro Electrónico de Atención a Clientes (CEAC) al
Tel.: 57 22 11 50 en el D.F. y área metropolitana ó al 01 800 849 7514 desde el interior de la República
ó visítenos en Internet: www.suva.com.mx ó www.dupont.com.mx
* son Marcas Registradas por E. I. du Pont de Nemours and Company.



Los milagros de la ciencia®



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

GUÍAS DE SUSTITUCIÓN PARA LOS REFRIGERANTES

**EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA**



Suva[®]

Sólo por DuPont

Guías de Sustitución para los Refrigerantes de Servicio Marca Suva[®] de DuPont

Refrigerantes Suva[®] MP39, Suva[®]409A y Suva[®] MP66 para sustituir al R-12

Refrigerantes Suva[®] MP66 para sustituir al R-500

Refrigerantes Suva[®] HP80, Suva[®] 408A y Suva[®] HP81 para sustituir al R502

Guía de sustitución para emplear los Refrigerantes de Servicio Marca **Suva**®

Índice	Página
Introducción	1
Opciones de Reemplazo de R-12	1
Opciones de Reemplazo de R-502	1
Información importante sobre Seguridad	1
Información sobre Lubricantes y Secadores de Filtros	2
Información General sobre Sustituciones	2
Modificación de Sistemas	2
Información sobre Recuperación de Refrigerantes	3
Qué Esperar Después de una Sustitución	3
Los Ocho Pasos Fáciles para una Sustitución	3
Sustitución de los Sistemas R-12 con Refrigerantes: Suva® MP39, Suva® 409A, o Suva® MP66 (y de R-500 con Suva® MP66)	3
Sustitución de los Sistemas R-502 con Refrigerantes: Suva® HP80, Suva® 408A o Suva® HP81	5
Gráficas de Presión / Temperatura-Introducción	6
Cómo Leer las Tablas de Presión/Temperatura	6
Cómo Determinar la Presión de Sobrecalentamiento y Subenfriamiento	6
Lista de Comprobación para la Sustitución de los Sistemas R-12 (Refrigerantes: Suva® MP39, Suva® 409A o Suva® MP66)	7
Lista de Comprobación para la Sustitución de los Sistemas R-502 (Refrigerantes: Suva® HP80, Suva® 408A o Suva® HP81)	8
Hoja de Datos del Sistema	9
Apéndice	
Gráfica de Presión-Temperatura—Refrigerante Suva ® MP39	10
Gráfica de Presión-Temperatura—Refrigerante Suva ® 409A	12
Gráfica de Presión-Temperatura—Refrigerante Suva ® MP66	14
Gráfica de Presión-Temperatura—Refrigerante Suva ® HP80	16
Gráfica de Presión-Temperatura—Refrigerante Suva ® 408A	18
Gráfica de Presión-Temperatura—Refrigerante Suva ® HP81	20
Propiedades Físicas y Composición Refrigerante Suva ®	contra portada
Asistencia Técnica de DuPont e Información Adicional	contra portada

Introducción

Se han efectuado con éxito más de un millón de cambios a refrigerantes de servicio del refrigerante marca **Suva™**. Con el cambio, los sistemas han dado un rendimiento equivalente o mejor que con el refrigerante CFC original. Usando estas guías para el cambio, los sistemas R-12, R-500 y R-502 pueden fácil y económicamente sustituirse con el refrigerante de servicio del refrigerante **Suva™** apropiado. Esto permite que el equipo existente continúe operando con seguridad y eficiencia por el resto de su vida útil.

Opciones de Reemplazo de R-12

Los siguientes refrigerantes reemplazan al R-12 en aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado que usan compresores de desplazamiento positivo con evaporadores de expansión directa.

- **Refrigerante Suva® MP39 (R-401A)** es la alternativa recomendable para los sistemas R-12 de media y baja temperatura, tales como gabinetes y cuartos fríos, estantes de exhibición de alimentos y productos lácteos, surtidores de bebidas y máquinas vendedoras, así como refrigeradores caseros.
- **Refrigerante Suva® 409A (R-409A)** es la opción de reemplazo de R-12 en sistemas de refrigeración y aire acondicionado de media y baja temperatura que usan compresores de desplazamiento positivo con evaporadores de expansión directa.
- **Refrigerante Suva® MP66 (R-401B)** está disponible para sistemas R-12 que operan a bajas temperaturas de evaporador, abajo de -15°F (-26°C) en donde se necesita una mayor capacidad, tal como algunos congeladores domésticos y comerciales, así como equipos de refrigeración en transportes. El MP66 es también el reemplazo recomendable para los sistemas R-500 existentes.

Opciones de Reemplazo de R-502

Los siguientes refrigerantes reemplazan al R-502 en aplicaciones de refrigeración que usan compresores de desplazamiento positivo con evaporadores de expansión directa.

- **Refrigerante Suva® HP80 (R-402A)**. Ofrece la mejor combinación de propiedades en la mayoría de los casos. Tiene temperaturas de descarga y eficiencia comparables a las del R-502, pero con mejor capacidad. El refrigerante **Suva®** HP80 puede utilizarse en cuartos fríos y congeladores, en vitrinas de alimentos congelados y productos lácteos, dispensadores de helados, máquinas expendedoras de refrescos y algún equipo de refrigeración de transportes.
- **Refrigerante Suva® 408A (R-408A)**. Opera a presiones menores que los refrigerantes **Suva®** HP80 y el refrigerante **Suva®** HP81, con una correspondiente menor capacidad y con iguales o mayores temperaturas de descarga del

compresor que el refrigerante **Suva®** HP81, y el refrigerante **Suva®** 408A son adecuados para usarse en muchos de los mismos equipos que el refrigerante **Suva®** HP80 o el refrigerante **Suva®** HP81, y mejor aún para usarse en donde es poco deseable tener una mayor presión o capacidad del sistema, tal como en equipos antiguos en donde el tamaño del condensador puede ser limitado.

- **Refrigerante Suva® HP81 (R-402B)**. Se recomienda para aplicaciones en donde es aceptable un aumento de $10\text{-}20^{\circ}\text{F}$ ($5\text{-}11,1^{\circ}\text{C}$) en la temperatura de descarga del compresor, tales como máquinas de hielo, sistemas de compresión open drive, unidades condensadoras enfriadas por agua y compresores que operan en temperaturas ambiente bajas.

Importante Información sobre Seguridad

Al igual que los CFCs, los refrigerantes **Suva™** son seguros cuando se manejan apropiadamente. Sin embargo, cualquier refrigerante puede causar daño y aún la muerte cuando se manejan mal. Por favor revise las siguientes guías antes de usar cualquier tipo de refrigerante.

- **No trabaje donde haya altas concentraciones de vapores del refrigerante**. Mantenga una adecuada ventilación en el área de trabajo. No respire los vapores. No respire la niebla del lubricante de los sistemas con fugas. Ventile bien el área cuando haya cualquier tipo de fuga antes de intentar la reparación del equipo.
- **No use detectores manuales de fugas para verificar que el aire es respirable**. Estos detectores no están diseñados para esto. Use monitores de oxígeno para asegurarse que hay suficiente oxígeno para sustentar la vida.
- **No use llama abierta o sopletes para buscar fugas**. Tampoco cuando haya altas concentraciones de refrigerante. Las llamas abiertas liberan grandes cantidades de compuestos ácidos cuando hay presente cualquier tipo de refrigerante, y estos compuestos pueden ser peligrosos. No use sopletes como detectores de fugas. Los antiguos sopletes de haluros detectan cloro, que puede no estar presente en los nuevos refrigerantes. Use un detector electrónico de fugas diseñado para encontrar los refrigerantes que esté usando.

Si detecta un cambio visible en el tamaño o color de una llama al usar sopletes para reparar un equipo, **suspenda el trabajo inmediatamente y abandone el área**. Ventile bien el área de trabajo y detenga cualquier tipo de fuga antes de reiniciar el trabajo. Estos efectos en la llama pueden ser una indicación de concentraciones muy altas de refrigerante y el continuar el trabajo sin la ventilación adecuada puede producir daños severos o la muerte.

Nota: Cualquier refrigerante puede ser peligroso si se usa de manera indebida. Los riesgos incluyen líquido o vapor a presión y congelación por el líquido que se fuga.

La sobre exposición a altas concentraciones de vapor puede producir asfixia y paro cardiaco. Por favor lea la información sobre seguridad antes de manejar cualquier refrigerante.

Para una información más detallada sobre las propiedades, usos, almacenamiento y manejo de cualquier refrigerante **Suva®**, véase el Boletín técnico de **DuPont** P-MP, P-HP u otra literatura específica para estos productos. Refiérase a la Hoja de Datos de Seguridad de Materiales que corresponda, para tener mayor información acerca de cada refrigerante. El boletín **DuPont** de Seguridad AS-1 también da información para el manejo seguro de los refrigerantes.

Información sobre Lubricantes y Filtros Secadores

Lubricantes

La selección de lubricantes está basada en muchos factores, incluyendo las características de desgaste del compresor, compatibilidad de materiales, y miscibilidad de lubricantes/refrigerante que pueda afectar el retorno de aceite al compresor. Otras fuentes de información son los Distribuidores autorizados de **DuPont**, fabricantes de lubricantes y fabricantes de sistemas.

Tanto los lubricantes de alquil-benceno (AB) como los lubricantes de poliol-éster (POE) pueden utilizarse con los refrigerantes de servicio marca **Suva®**. En algunos casos, puede ser aceptable el aceite mineral (véase más abajo). Estos lubricantes están disponibles con los Distribuidores Autorizados de **DuPont**.

Para proporcionar un retorno óptimo del aceite, se recomienda un solo cambio del lubricante del compresor, de aceite mineral a un lubricante AB de la misma viscosidad. Este proceso normalmente reemplazará 50-80% del aceite mineral presente, y satisface las recomendaciones y requerimientos de la mayoría de fabricantes de compresores.

*La experiencia en el campo ha mostrado que el refrigerante **Suva®** MP39, El 409A, el MP66 y el HP81 trabajan bien con el aceite mineral existente en muchos sistemas unitarios y otros acoplados en donde no preocupa el retorno del aceite, tal como los enfriadores de gabinete, unidades de exhibición de punto de venta, máquinas expendedoras, dispensadores de refrescos y refrigeradores domésticos. Sin embargo, puede ser necesario un cambio de aceite, en sistemas que tienen un pobre retorno de aceite si el evaporador está distante del compresor, el evaporador está abajo del compresor o si hay baja velocidad en las líneas.*

Filtros Secadores

Cambie el Filtro Secador durante la sustitución. Esta es una práctica de rutina después de dar mantenimiento al sistema. Hay dos tipos de secadores que se usan comúnmente, piedra sólida y el de sílica.

Reemplace el secador con otro del mismo tipo del que está usando. La etiqueta del secador indicará qué refrigerantes pueden usarse con ese secador. Verifique con su Distribuidor Autorizado **DuPont** el secador correcto que debe usar en su sistema.

Información General sobre sustituciones

Modificaciones al Sistema

Las diferentes composiciones de los refrigerantes de servicio marca **Suva®** se han seleccionado para proveer un desempeño comparable al de los refrigerantes que están reemplazando en términos tanto de capacidad como de eficiencia de energía. Como resultado, se anticipan mínimas modificaciones a los sistemas durante la sustitución. Los refrigerantes **Suva®** que se discuten en este boletín son casi azeotrópicos, por lo tanto la composición del vapor en el cilindro refrigerante es diferente de la composición del líquido. Esta pequeña diferencia no afectará el desempeño en los sistemas de expansión directa, pero podría afectar el desempeño en sistemas con evaporadores saturados. En general, estos refrigerantes no se recomiendan para sistemas de compresor centrífugo o para sistemas con evaporadores saturados.

La sustitución de los sistemas R-12, R-500 o R-502 con otros refrigerantes alternos tales como el HCFC-22 o HFC-134a puede requerir múltiples cambios de aceite o modificaciones extensas al equipo existente. Para algunos sistemas este costo adicional puede ser importante. Los refrigerantes **Suva®** proporcionan al contratista de servicio y al propietario del equipo usado, una sustitución con bajos costos.

Nota: Los refrigerantes **Suva®** no fueron diseñados para usarse junto con otros refrigerantes o aditivos que no hayan sido claramente especificados por **DuPont** o por el fabricante del equipo. El mezclar refrigerantes **Suva®** con refrigerante CFC, o mezclar dos refrigerantes alternos diferentes, puede tener un efecto adverso sobre el desempeño del sistema "Completar" un refrigerante CFC con cualquier refrigerante **Suva®** no es recomendable.

Información sobre Recuperación de Refrigerantes

La mayoría del equipo de recuperación o reciclado que se usa para R-12, R-500 y R-502, puede usarse para los refrigerantes **Suva**[®]. Utilice los procedimientos estándar para evitar contaminación cruzada cuando cambia de un refrigerante a otro. La mayoría de las máquinas de recuperación o reciclado pueden usar el mismo aceite para el compresor que se usaba con R-12, R-500 o R-502. Sin embargo, pueden ser necesarias ciertas modificaciones, tales como una clase diferente de secador o un indicador de humedad distinto. Consulte al fabricante del equipo para obtener recomendaciones específicas.

En los Estados Unidos, DuPont aceptará los refrigerantes **Suva**[®] mencionados en este boletín

El refrigerante **Suva**[®] MP39 y el refrigerante **Suva**[®] MP66 pueden recuperarse en el mismo cilindro.

Los refrigerantes **Suva**[®] HP80 y el refrigerante marca **Suva**[®] HP81 pueden recuperarse en el mismo cilindro.

Qué esperar Después de una Sustitución

Esta tabla muestra de manera aproximada los cambios en el desempeño del sistema después de una sustitución.

Estos valores son guías generales sobre el comportamiento del sistema y el desempeño real variará con cada sistema

Los refrigerantes **Suva**[®] MP39, **Suva**[®] 409A y **Suva**[®] MP66 se comparan con R-12 **Suva**[®] HP80, **Suva**[®] 408A y **Suva**[®] HP81 se comparan con R-502.

Refrig Suva [®]	Presión descarga psi (kPa)	Presión succión psi(kPa)	Temp descarga °F (C)	Capacidad refrig (%)	Calentamiento esperado °F (C)
MP39	20 (137.9)	Igual	25 (13.9)	10	-3 (-1.7)
MP66	30 (206.9)	2 (13.8)	30 (16.7)	15	-1 (-0.6)
409A	25 (172.4)	Igual	30 (16.7)	10	-4 (-2.2)
HP80	40 (275.8)	5 (34.5)	-5 (-2.8)	15	-4 (-2.2)
HP81	30 (206.9)	5 (34.5)	15 (8.3)	15	Igual
408A	5 (34.5)	Igual	20 (11.1)	5	-3 (-1.7)

Cómo leer esta tabla

Ejemplo: cambio de R-12 a refrigerante **Suva**[®] MP39. La presión de descarga con refrigerante **Suva**[®] MP39 será alrededor de 20 psig mayor que con R-12 (usando la columna de presión de descarga). El sobrecalentamiento será 3°F menos con el refrigerante **Suva**[®] MP39.

Ocho pasos fáciles para una sustitución

Seleccione del Apéndice la lista de comprobación que corresponda al refrigerante que está reemplazando.

1. Establezca el desempeño básico con CFC
2. Retire el CFC del sistema a un cilindro de recuperación. Si es posible, pese la cantidad separada.
3. Drene el aceite mineral del sistema y mida el volumen retirado. (Sáltese los pasos 3 y 4 si ya hay lubricante AB en el sistema o si no va a cambiar el aceite mineral).
4. Añada lubricante AB; use el mismo volumen retirado en el paso 3.
5. Reemplace el filtro/secador.
6. Vacíe el sistema y compruebe la ausencia de fugas.
7. Recargue con el refrigerante **Suva**[®]. Retire únicamente el líquido del cilindro de carga. La carga típica es de 75-90% de la carga de CFC.
8. Arranque el sistema, ajuste el tamaño de la carga. Etiquete el sistema para señalar qué lubricante y refrigerante se están usando.

Sustitución terminada

Reemplazo de sistemas R-12 con refrigerantes **Suva**[®] MP39, **Suva**[®] 409A o **Suva**[®] MP66 (y R-500 con Refrigerante **Suva**[®] MP66)

A continuación se detalla el procedimiento recomendado para reemplazar los sistemas R-12 con refrigerantes **Suva**[®] MP39, **Suva**[®] 409A o **Suva**[®] MP66 y para reemplazar sistemas de R-500 con refrigerantes **Suva**[®] MP66.

1. **Establezca el desempeño básico con CFC:**
Tome los datos del desempeño del sistema con el refrigerante que se va a reemplazar. Verifique que la carga del refrigerante y las condiciones de operación sean las correctas. Será útil tomar los datos de temperaturas y presiones en diversos puntos del sistema (evaporador, condensador, succión y descarga del compresor, sobrecalentamiento y subenfriamiento, etc.), en condiciones normales de operación para establecer las mejoras logradas en la operación con el uso del refrigerante **Suva**[®]. En este manual se incluye una **Hoja de Datos del Sistema** para anotar los datos ya mencionados.
2. **Retire el CFC del sistema a un cilindro de recuperación.** La carga existente de R-12 debe quitarse del sistema y recogerse en un cilindro de recuperación usando un aparato de recuperación capaz de lograr un vacío de 10-15 pulgadas de mercurio (30-35 kPa). Si no se conoce el tamaño recomendado para la carga en el sistema, pese la cantidad de refrigerante removido. De esta cantidad se puede determinar la cantidad inicial del refrigerante **Suva**[®] a cargar en el sistema.

(Sáltese los pasos 3 y 4 si ya hay lubricante AB en el sistema o si no va a cambiar el aceite mineral; para mayor información vea la sección de Lubricantes).

3. **Drene el aceite mineral del sistema y mida el volumen retirado.** *Un cambio rápido del aceite nos da la seguridad de que se ha quitado del sistema una cantidad adecuada de aceite mineral (para información adicional, vea la sección de Lubricantes)* Si el lubricante existente es aceite mineral, deberá drenarse. Esto puede requerir que se separe el compresor del sistema, particularmente con los compresores herméticos, pequeños, que no tienen salida para drenar el aceite. En este caso, el lubricante, podría ser drenado por el orificio de succión del compresor, lo que quitará la mayor parte del lubricante. Los sistemas más grandes pueden necesitar que se drene por puntos adicionales en el sistema, particularmente en algunos puntos bajos alrededor del evaporador, lo que quitará de 50-80% del lubricante. En los sistemas con un separador de aceite, también debe drenarse cualquier lubricante presente en el separador.

En todos los casos, mida el volumen del lubricante separado del sistema. Registre esta información en la Hoja de *Comprobación de Reemplazo para sistemas R-12* (vea pág. 7). Compare este volumen con las especificaciones del compresor o sistema para asegurarse que se ha removido la mayoría del lubricante. Consulte al fabricante del compresor para saber que recomienda acerca del residuo permitido de aceite mineral en lubricantes AB o POE. (Alquil-Benceno o Poliol-Ester). Si en el arranque se nota un funcionamiento pobre del sistema, puede ser necesario un cambio adicional de lubricante. En la experiencia de DuPont, esto ocurre en menos del 1% de los casos de sustitución.

4. **Agregue lubricantes AB; use el mismo volumen que el removido en el paso 3.** En la mayoría de los casos, el reemplazo del lubricante será AB o quizás POE. Cargue el compresor con el nuevo lubricante, en un volumen igual al que se separó del sistema en el paso 3. Use un lubricante con el grado y viscosidad recomendados por el fabricante del compresor para el refrigerante **Suva[®]** que está usando; o use una viscosidad similar a la del aceite mineral removido si no hay información disponible para el compresor. Para muchos compresores, una viscosidad típica es de 150SUS o ISO32.
5. **Reemplace el filtro-secador.** Es una práctica de rutina reemplazar el filtro/secador después de dar mantenimiento al sistema. Hay secadores de reemplazo que son compatibles con los refrigerantes **Suva[®]**. Para información adicional sobre secadores vea la página 2 de este manual.

6. **Aplice vacío al sistema y verifique si hay fugas.** Use las prácticas normales de servicio. Para remover el aire u otros no condensables del sistema, aplique vacío al sistema hasta un vacío casi total (29.9 in Hg de vacío [500 micras] o menos de 10 kPa). **No se deben usar mezclas de aire y refrigerante a presión para buscar fugas; estas mezclas pueden ser combustibles.**

7. **Cargue con el refrigerante Suva[®].** **Sólo debe salir líquido del cilindro de carga.** *Los cilindros de los refrigerantes Suva[®] están equipados con tubos que permiten la salida de líquido del cilindro en posición vertical. La posición apropiada para sacar líquido del cilindro, está indicada por flechas en el cilindro y en la caja del mismo.* Una vez que el líquido ha sido removido del cilindro, se puede cargar el refrigerante al sistema como líquido o vapor, según se desee. Use los manómetros del cabezal o una válvula reguladora para atomizar el líquido a vapor si se requiere.

En general, el sistema de refrigeración requerirá menos peso del refrigerante **Suva[®]** que del R-12. La carga óptima variará dependiendo del diseño del sistema y de las condiciones de operación, pero para la mayor parte de los sistemas, el mejor tamaño de carga será del 75-90% en peso de la carga original de R-12. En las sustituciones de sistemas R-500 con refrigerantes **Suva[®] MP66**, el sistema de refrigeración requerirá una carga ligeramente mayor, como 105% de la carga original de R-500.

Para obtener mejores resultados

- Se recomienda que el sistema se cargue inicialmente con aproximadamente el 75% del peso de la carga original. Para reemplazar R-500 con el refrigerante **Suva[®] MP66**, empiece con 100% del peso de la carga de R-500.
- Agregue la carga inicial del refrigerante **Suva[®]** por el lado de alta presión del sistema (con el compresor parado) hasta que se igualen las presiones del sistema y del cilindro. Luego, conecte con el lado de baja presión del sistema, arranque el compresor y cargue el resto del refrigerante lentamente hacia el lado de succión del sistema. Se debe estar removiendo líquido del cilindro de carga, y por lo tanto se debe cargar lentamente para permitir que el refrigerante atomice (vaporice) antes de entrar a la succión del compresor y se evite daño al compresor.

8. **Arranque el sistema, ajuste el tamaño de la carga. Etiquete el sistema indicando el refrigerante y el lubricante utilizados.** Arranque el sistema y permita que se establezcan las condiciones de operación. Si le falta carga al sistema, agregue más refrigerante **Suva[®]** en pequeñas cantidades (pasando líquido del cilindro de carga) hasta que las condiciones del sistema alcancen el nivel deseado. Vea las tablas de presión-temperatura en este boletín, para comparar las presiones y temperaturas

para el refrigerante **Suva**[®] usado. Los refrigerantes **Suva**[®] son más sensibles al tamaño de la carga que los CFCs. El desempeño del sistema cambiará rápidamente si el sistema tiene una carga excesiva o insuficiente. En la mayoría de los casos se puede uno guiar viendo las mirillas de la línea de líquidos, pero también se debe determinar la carga del sistema midiendo las condiciones de operación del sistema (presiones de descarga y succión, temperatura de la línea de succión, el amperaje del motor del compresor, el sobrecalentamiento, etc.). **Si intenta seguir cargando hasta que la mirilla este sin burbujas, puede ser que sobrecargue el refrigerante.** Por favor lea "Cómo determinar la presión de succión, sobrecalentamiento y subenfriamiento".

Reemplazo de los sistemas R-502 por los refrigerantes **Suva**[®] HP80, **Suva**[®] 408 A o **Suva**[®] HP81

A continuación se detalla el procedimiento recomendado para reemplazar los sistemas R-502 con **Suva**[®] HP80, **Suva**[®] 408A o **Suva**[®] HP81

1. Establezca el desempeño básico con CFC.

Tome los datos del desempeño del sistema con el refrigerante que se va a reemplazar. Verifique que la carga del refrigerante y las condiciones de operación sean las correctas. Será conveniente tomar los datos básicos de temperaturas y presiones en diversos puntos del sistema (evaporador, condensador, succión y descarga del compresor, sobrecalentamiento y subenfriamiento etc.) en condiciones normales de operación, para establecer las mejoras logradas en la operación con el uso del refrigerante **Suva**[®]. En este manual se incluye una **Hoja de Datos del Sistema**, para anotar los datos ya mencionados

2. Retire el CFC del sistema a un cilindro de recuperación.

La carga existente de R-502 debe sacarse del sistema y recogerse en un cilindro de recuperación, usando un aparato de recuperación capaz de lograr un vacío de 10-15 pulgadas de mercurio (30-35 kPa). Si no se conoce el tamaño recomendado para la carga en el sistema, pese la cantidad de refrigerante removido. De esta cantidad se puede determinar la cantidad inicial del refrigerante **Suva**[®] a cargar en el sistema

(Sáltese los pasos 3 y 4, si ya hay lubricante AB en el sistema o si no va a cambiar el aceite mineral, para mayor información vea la sección de Lubricantes).

3. Drene el aceite mineral del sistema y mida el volumen retirado. *Un cambio rápido del aceite nos da la seguridad de que se ha quitado del sistema una cantidad adecuada de aceite mineral (para información adicional, vea la sección de Lubricantes).* Si el lubricante existente es aceite mineral, deberá drenarse. Esto puede requerir

que se separe el compresor del sistema, particularmente con los compresores herméticos, pequeños, que no tienen salida para drenar el aceite. En este caso, el lubricante podría ser drenado por el orificio de succión del compresor, lo que quitará la mayor parte del lubricante. Los sistemas más grandes pueden necesitar que se drene por puntos adicionales en el sistema, particularmente en algunos puntos bajos alrededor del evaporador, lo que quitará de 50-80% del lubricante. En los sistemas con un separador de aceite, también debe drenarse cualquier lubricante presente en el separador.

En todos los casos, mida el volumen del lubricante separado del sistema. Registre esta información en la *Hoja de Comprobación de Reemplazo para Sistemas R-502* (vea la página 8). Compare este volumen con las especificaciones del compresor/sistema para asegurarse que se ha removido la mayor parte del lubricante. Consulte al fabricante del compresor para saber qué recomienda acerca del residuo permisible de aceite mineral en lubricantes AB o POE (Alquil-Benceno o Poliol éster). Si en el arranque inicial se nota un funcionamiento deficiente del sistema, puede ser necesario un cambio adicional del lubricante. En la experiencia de **DuPont** esto ocurre en menos del 1% de los reemplazos.

4. Agregue lubricante AB; use el mismo volumen que el que removió en el paso 3. En la mayoría de los casos, el reemplazo del lubricante será AB o quizás POE. Cargue el compresor con el nuevo lubricante en volumen igual al que se separó del sistema en el paso 3. Use un lubricante con el grado y viscosidad recomendados por el fabricante del compresor para el refrigerante **Suva**[®] que está usando; o use una viscosidad similar a la del aceite mineral removido, si no hay información disponible para el compresor. Para muchos compresores, una viscosidad típica es de 150SUS o 15032.

5. Reemplace el filtro/secador. Es una práctica de rutina reemplazar el filtro/secador después de dar mantenimiento al sistema. Hay secadores de reemplazo que son compatibles con los refrigerantes **Suva**[®]. Para información adicional sobre secadores vea la página 2 de este manual

6. Aplique vacío al sistema y verifique si hay fugas. Use las prácticas normales de servicio. Para remover el aire y otros no condensables del sistema, aplique vacío al sistema hasta un vacío casi total (29.9 inHg de vacío [500 micras] o menos de 10 kPa). **No se deben usar mezclas de aire y refrigerante a presión para buscar fugas; estas mezclas pueden ser combustibles.**

7. Cargue con el refrigerante **Suva**[®]. Sólo debe salir líquido del cilindro de carga. *Los cilindros de los refrigerantes **Suva**[®] están equipados con tubos que permiten la salida de líquido del cilindro en posición vertical. La posición apropiada para sacar líquido del cilindro, está indicada por flechas en el cilindro y en la caja del mismo. Una vez que el líquido ha sido*

removido del cilindro, se puede cargar el refrigerante al sistema como líquido o como vapor, según se desee. Use los manómetros del cabezal o una válvula reguladora para atomizar el líquido a vapor si se requiere.

En general, el sistema de refrigeración requerirá menos peso del refrigerante **Suva**[®] que del R-502. La carga óptima variará dependiendo del diseño del sistema y de las condiciones de operación, pero para la mayor parte de los sistemas, el mejor tamaño de la carga será de 75-90% en peso, de la carga original del R-502

Para obtener mejores resultados:

- Se recomienda que el sistema se cargue inicialmente con aproximadamente el 75% del peso de la carga original.
 - Agregue la carga inicial del refrigerante **Suva**[®] por el lado de alta presión del sistema (con el compresor parado) hasta que se igualen las presiones del sistema y del cilindro. Luego conecte con el lado de baja presión del sistema, arranque el compresor y cargue el resto del refrigerante lentamente en el lado de succión del sistema. Se debe estar removiendo líquido del cilindro de carga, y por lo tanto se debe cargar lentamente para permitir que el refrigerante atomice (vaporice) antes de entrar a la succión del compresor y se evite daño al compresor.
8. **Arranque el sistema, ajuste el tamaño de la carga. Etiquete el sistema indicando el refrigerante y el lubricante que están siendo utilizados.** Arranque el sistema y espere hasta que se estabilicen las condiciones de operación. Si le falta carga al sistema, agregue más refrigerante **Suva**[®] en pequeñas cantidades (pasando líquido del cilindro de carga) hasta que las condiciones del sistema alcancen el nivel deseado. Vea las tablas de presión/temperatura en este manual, para comparar las presiones y temperaturas para el refrigerante **Suva**[®] usado.

Los refrigerantes **Suva**[®] son más sensibles al tamaño de la carga que los CFCs. El desempeño del sistema cambiará rápidamente si el sistema tiene una carga excesiva o insuficiente. En la mayoría de los casos se puede uno guiar viendo las mirillas de la línea de líquidos, pero también se debe determinar la carga del sistema midiendo las condiciones de operación (presiones de descarga y succión, temperatura de la línea de succión, amperaje del motor del compresor; el sobrecalentamiento, etc). **Si se intenta seguir cargando hasta que lo que se ve por el tubo de vidrio está transparente, puede ser que sobrecargue el refrigerante.** Por favor lea "Cómo determinar la presión de succión, sobrecalentamiento y subenfriamiento".

Tablas de presión/Temperatura

Introducción

Cómo leer las tablas de Presión/Temperatura

Las páginas siguientes contienen las tablas de presión/temperatura para los refrigerantes marca **Suva**[™] discutidos en este boletín

Se muestran tres temperaturas a una presión dada

- Temperatura de líquido saturado (punto de Burbuja)—En el condensador, esta es la temperatura a la cual se ha condensado todo el vapor. Abajo de esta temperatura, el refrigerante será líquido subenfriado. También se debe usar esta temperatura cuando se determine el valor de presión/temperatura del producto en un cilindro de refrigerante.
- Temperatura de vapor saturado (Punto de Rocío). En el evaporador, ésta es la temperatura a la cual acaba de hervir la última gota de líquido. Arriba de esta temperatura, el refrigerante será vapor sobrecalentado.
- Temperatura promedio de los serpentines (para los refrigerantes **Suva**[™] MP39, **Suva**[®] MP66 y **Suva**[™] 409A) —El evaporador o condensador trabajarán como si estuvieran operando a esta temperatura en forma constante. Basándose en la succión a presión del condensador, use esta temperatura promedio para compararla con las temperaturas del serpentín cuando trabajan con el refrigerante CFC que está reemplazando

Nota: Para el refrigerante **Suva**[®] HP80, **Suva**[™] HP81 y el refrigerante **Suva**[™] 408A, la temperatura promedio del serpentín será casi igual a la temperatura de vapor saturado mostrado para cada refrigerante y no se necesita la temperatura promedio

Como determinar la Presión de Succión, el sobrecalentamiento y el subenfriamiento

Presión de succión

Determine la temperatura esperada del evaporador, usando la columna de R-12, R500 o R-502 (de los datos básicos recogidos antes de la sustitución). Encuentre la misma temperatura esperada del evaporador en la columna Temperatura Promedio del Serpentín para el refrigerante **Suva**[™] MP39, **Suva**[™] MP66 o **Suva**[™] 409A, o la columna Temperatura de Vapor Saturado para el refrigerante **Suva**[®] HP80, **Suva**[®] HP81 o **Suva**[™] 408A. Anote la presión correspondiente a esta temperatura. Ésta es la presión de succión a la que debe operar el sistema.

Sobrecalentamiento

Usando la columna Temperatura de Vapor Saturado para el refrigerante **Suva**[™], se calcula la cantidad de sobrecalentamiento del vapor de la misma manera que para un refrigerante CFC.

Subenfriamiento

Usando la columna Temperatura del Líquido Saturado para el refrigerante **Suva**[™], se calcula la cantidad de subenfriamiento del líquido de la misma manera que para un refrigerante CFC.

Lista de comprobación para el reemplazo en Sistemas R-12 (Refrigerantes Suva[®] MP39, Suva[®] 409A o Suva[®] MP66)

- _____ 1. Establezca el desempeño básico con CFC 12 o R-500
- _____ 2. Remueva la carga de CFC-12 o R-500 del sistema.
(Se necesitarán 10-15 inHg [50-67 kPa] de vacío para remover la carga)
 - Use un cilindro de recuperación (no se libere a la atmósfera)
 - Pese la cantidad removida (si es posible): _____
- _____ 3. Drene la carga del lubricante del compresor (cuando sea necesario).
 - Mida la cantidad de lubricante removido y anótelo: _____
- _____ 4. Cargue el lubricante aprobado (alquil benceno en la mayoría de los casos).
 - Recargue con la misma cantidad removida en el paso 3.
 - Reinstale el compresor (si se tuvo que separar)
- _____ 5. Reemplace el filtro secador con un nuevo secador aprobado para usarse con refrigerantes **Suva[®]**.
 - Secadores de llenado suelto: Use desecante XH9 o equivalente
 - Secadores compactados de perlas: Use desecante XH9, XH6 o equivalente
 - Secadores de núcleo sólido: Investigue la recomendación del fabricante del secador
- _____ 6. Reconecte el sistema y aplique vacío hasta 29.9.
 - Busque fugas en el sistema. (Vuelva a hacer el vacío después).
- _____ 7. Cargue el sistema con el refrigerante marca **Suva[®]**
 - Remueva *únicamente líquido* del cilindro
 - Cargue inicialmente 70-75% del peso de la carga original de CFC-12, o 100% del peso de la carga original de R-500.
 - Cantidad de refrigerante cargada _____
- _____ 8. Ajuste la carga hasta alcanzar las condiciones de operación deseadas.
 - Remueva *únicamente líquido* del cilindro.
 - Si la carga está baja, añada en incrementos de 3-5% de la carga original de CFC12 o R-500.
 - Cantidad de refrigerante cargada: _____
 - Cantidad total de refrigerante cargada (suma de 7 y 8) _____
 - Etiquete los componentes y el sistema con el tipo de refrigerante **Suva[®]** y lubricante (alquil benceno)

¡Reemplazo terminado!

**Lista de comprobación para el reemplazo en Sistemas
R-502 (Refrigerantes Suva® HP80,
Suva® 408A, o Suva® HP81)**

- _____ 1. Establezca el desempeño básico con R-502
- _____ 2. Remueva la carga de R-502 del sistema (Se necesitará 10-15 inHg de vacío [50-67 kPa] para remover la carga.)
- Use un cilindro de recuperación (no se libere a la atmósfera)
 - Pese la cantidad removida (si es posible): _____
- _____ 3. Drene la carga del lubricante del compresor (a menos que ya contenga un lubricante alquil-benceno o poliol-éster)
- Mida la cantidad de lubricante removido y anótelo: _____
- _____ 4. Cargue lubricante de alquil-benceno o poliol-éster
- Recargue con una cantidad equivalente a la removida en el paso 3.
- _____ 5. Reinstale el compresor (si se tuvo que separar)
- _____ 6. Reemplace el filtro secador con un nuevo secador aprobado para usarse con refrigerantes **Suva®**.
- Secadores de núcleo sólido: verifique lo que recomienda el fabricante del secador
 - Secadores de llenado suelto: use desecante XH9, MS-594 o equivalente.
- _____ 7. Reconecte el sistema y evacue con una bomba de vacío. (Evacue hasta vacío total [cerca de 30 inHg/0 kPa/o bar])
- _____ 8. Busque fugas en el sistema. (Después vuelva a hacer el vacío)
- _____ 9. Cargue el sistema con refrigerantes marca **Suva®**.
- Remueva *únicamente líquido* del cilindro
 - Inicialmente cargue 75-80% del paso de la carga original de R-502
 - Cantidad de refrigerante cargado: _____
- _____ 10. Arranque el equipo y ajuste la carga hasta alcanzar las condiciones de operación deseadas
- Remueva *únicamente líquido* del cilindro
 - Si la carga está baja, añada en incrementos de 2-3% de la carga original de R-502.
 - Cantidad de refrigerante cargado: _____
- Total de refrigerante cargado (suma de 9 y 10):* _____
- _____ 11. Etiquete los componente del sistema indicando el tipo de refrigerante y de lubricante (alquil-benceno o poliol-éster)

Reemplazo terminado!

Hoja de Datos del Sistema

Tipo de Sistema/Localización: _____

Fab. del Equipo: _____ Fab. Compresor: _____

Modelo No.: _____ Modelo No.: _____

No. de Serie: _____ No. Serie: _____

Tamaño original de carga: _____ Tipo de Lubricante: _____

_____ Tam. Carga Lubricante: _____

Fab. Secador: _____ Tipo de Secador (señale uno): _____

Modelo No.: _____ Llenado Suelto: _____

_____ Núcleo sólido: _____

Medio de enfriamiento del condensador (aire/agua) _____

Dispositivo de expansión, señale uno _____ Tubo Capilar: _____

Válvula de Expansión: _____

Si es válvula de expansión:

Fabricante: _____

Modelo No.: _____

Punto de control: _____

Localización del Sensor: _____

Otros controles del sistema. Describa: _____

(círcule las unidades usadas donde sea aplicable)

Fecha/Hora				
Refrigerante				
Tamaño de la Carga (lb. oz/g)				
Temp Ambiente (°F/°C)				
Humedad relativa				
Compresor				
T Succion (°F/°C)				
P Succion (psi/kPa/bar)				
T Descarga (°F/°C)				
P Descarga (psi/kPa/bar)				
T de Caja (°F/°C)				
Evaporador:				
T Entrada Refrigerante (°F/°C)				
T Salida Refrigerante (°F/°C)				
T Ent Serp Aire/H ₂ O (°F/°C)				
T Sal Serp. Aire/H ₂ O (°F/°C)				
T Refrigerante en Punto de Ctl de Sobrecalentamiento (°F/°C)				
Condensador				
T Entrada Refrigerante (°F/°C)				
T Salida Refrigerante (°F/°C)				
T Entrada Serpentin Aire/H ₂ O (°F/°C)				
T Salida Serpentin Aire/H ₂ O (°F/°C)				
T Dispositivo de Exp. (°F/°C)				
Amps del motor				
Tiempo de corrida/ciclo				
Comentarios				

Apéndice
Gráfica de Presión-Temperatura (Unidades Inglesas),
Refrigerante Marca Suva® MP39 (psi/°F)

Presión psi	R-12 Sat. Temp., °F	Suva® MP39 Líquido Sat. Temp., °F	Suva® MP39 Vapor Sat. Temp., °F	Suva® MP39 Prom. Serp. Temp., °F
20*	-63	-67	-55	-60
15*	-49	-53	-42	-47
10*	-38	-43	-32	-37
5*	-29	-35	-23	-28
0	-22	-27	-16	-21
2	-16	-22	-11	-15
4	-11	-17	-6	-10
6	-7	-13	-2	-6
8	-2	-9	2	-2
10	-2	-5	6	-2
12	5	-2	9	5
14	9	2	13	9
16	12	5	16	12
18	15	8	19	15
20	18	11	21	17
22	21	14	24	20
24	24	16	27	23
26	27	19	29	25
28	29	21	32	28
30	32	24	34	30
32	34	26	36	32
34	37	28	38	34
36	39	30	40	36
38	41	32	42	38
40	43	34	44	40
42	45	36	46	42
44	47	38	48	44
46	49	40	50	46
48	51	42	52	48
50	53	44	54	50
55	58	48	58	54
60	62	52	62	58
65	66	56	66	62
70	70	59	69	65
75	74	63	73	69
80	77	66	76	71
85	81	69	79	74
90	84	73	82	78
95	87	76	85	81
100	90	78	88	83
105	93	81	90	86
110	96	84	93	89
115	99	87	96	92
120	102	89	98	94
125	104	92	101	97

Presión psi	R-12 Sat. Temp., °F	Suva® MP39 Líquido Sat. Temp., °F	Suva® MP39 Vapor Sat. Temp., °F	Suva® MP39 Prom. Serp. Temp., °F
130	107	94	103	99
135	109	96	105	101
140	112	99	107	103
145	114	101	110	106
150	117	103	112	108
155	119	105	114	110
160	121	108	116	112
165	123	110	118	114
170	125	112	120	116
175	128	114	122	118
180	130	116	124	120
185	132	117	126	122
190	134	119	127	123
195	136	121	129	125
200	138	123	131	128
205	139	125	133	129
210	141	126	134	130
215	143	128	136	132
220	145	130	138	134
225	147	131	139	135
230	148	133	141	137
235	150	135	142	139
240	152	136	144	140
245	154	138	145	142
250	155	139	147	143
255	157	141	148	145
260	158	142	150	146
265	160	144	151	148
270	162	145	153	149
275	163	147	154	151
280	165	148	155	152
285	166	150	157	154
290	168	151	158	155
295	169	152	159	156
300	170	154	161	158
310	173	156	163	160
320	176	159	166	163
330	179	162	168	165
340	182	164	170	167
350	184	167	173	170
360	187	169	175	172
370	189	171	177	174
380	192	174	180	177
390	194	176	182	179
400	196	178	184	181

* inHg Abajo de una Atmósfera

Nota: Temperatura de Líquido Saturado = Punto de Burbuja
 Temperatura de Vapor Saturado = Punto de Rocío

Tabla 2
Gráfica de Presión-Temperatura (Unidades SI)
Refrigerante Marca Suva® MP39 (kPa/°C)

Presión kPa	R-12 Sat. Temp., °C	Suva® MP39 Líquido Sat. Temp., °C	Suva® MP39 Vapor Sat. Temp., °C	Suva® MP39 Prom. Serp. Temp., °C	Presión kPa	R-12 Sat. Temp., °C	Suva® MP39 Líquido Sat. Temp., °C	Suva® MP39 Vapor Sat. Temp., °C	Suva® MP39 Prom. Serp. Temp., °C
10	-73.1	-74.7	-67.9	-71.3	760	30.8	24.4	29.6	27.0
20	-62.1	-64.0	-57.4	-60.7	770	31.3	24.9	30.0	27.4
30	-55.0	-57.1	-50.6	-53.9	780	31.8	25.3	30.5	27.9
40	-49.6	-51.9	-45.4	-48.7	790	32.3	25.8	30.9	28.4
50	-45.2	-47.7	-41.3	-44.5	800	32.8	26.3	31.4	28.8
60	-41.4	-44.1	-37.7	-40.9	810	33.2	26.7	31.8	29.3
70	-38.1	-40.9	-34.6	-37.8	820	33.7	27.2	32.2	29.7
80	-35.2	-38.1	-31.8	-35.0	830	34.2	27.6	32.7	30.1
90	-32.5	-35.6	-29.3	-32.5	840	34.7	28.0	33.1	30.6
100	-30.1	-33.3	-27.0	-30.1	850	35.1	28.5	33.5	31.0
110	-27.8	-31.1	-24.9	-28.0	860	35.6	28.9	34.0	31.4
120	-25.7	-29.1	-22.9	-26.0	870	36.0	29.3	34.4	31.9
130	-23.8	-27.2	-21.1	-24.2	880	36.5	29.8	34.8	32.3
140	-21.9	-25.5	-19.3	-22.4	890	36.9	30.2	35.2	32.7
150	-20.1	-23.8	-17.7	-20.7	900	37.4	30.6	35.6	33.1
160	-18.5	-22.2	-16.1	-19.2	910	37.8	31.0	36.0	33.5
170	-16.9	-20.7	-14.6	-17.7	920	38.3	31.4	36.4	33.9
180	-15.4	-19.3	-13.2	-16.2	930	38.7	31.8	36.8	34.3
190	-13.9	-17.9	-11.9	-14.9	940	39.1	32.2	37.2	34.7
200	-12.5	-16.6	-10.5	-13.6	950	39.6	32.6	37.6	35.1
210	-11.2	-15.3	-9.3	-12.3	960	40.0	33.0	38.0	35.5
220	-9.9	-14.0	-8.1	-11.1	970	40.4	33.4	38.4	35.9
230	-8.6	-12.9	-6.9	-9.9	980	40.8	33.8	38.8	36.3
240	-7.4	-11.7	-5.8	-8.7	990	41.3	34.2	39.1	36.7
250	-6.2	-10.6	-4.7	-7.6	1000	41.7	34.6	39.5	37.1
260	-5.1	-9.5	-3.6	-6.6	1050	43.7	36.5	41.3	38.9
270	-4.0	-8.4	-2.6	-5.5	1100	45.6	38.3	43.1	40.7
280	-2.9	-7.4	-1.6	-4.5	1150	47.5	40.1	44.8	42.5
290	-1.9	-6.4	-0.6	-3.5	1200	49.3	41.8	46.5	44.1
300	-0.8	-5.5	0.3	-2.6	1250	51.1	43.5	48.1	45.8
310	0.2	-4.5	1.3	-1.6	1300	52.8	45.1	49.7	47.4
320	1.1	-3.6	2.2	-0.7	1350	54.5	46.6	51.2	48.9
330	2.1	-2.7	3.0	0.2	1400	56.1	48.1	52.6	50.4
340	3.0	-1.8	3.9	1.0	1450	57.7	49.6	54.1	51.9
350	3.9	-1.0	4.7	1.9	1500	59.2	51.1	55.5	53.3
360	4.8	-0.1	5.6	2.7	1550	60.7	52.5	56.8	54.7
370	5.7	0.7	6.4	3.5	1600	62.2	53.9	58.2	56.0
380	6.5	1.5	7.2	4.3	1650	63.6	55.2	59.5	57.3
390	7.4	2.3	7.9	5.1	1700	65.1	56.5	60.7	58.6
400	8.2	3.1	8.7	5.9	1750	66.4	57.8	62.0	59.9
410	9.0	3.8	9.4	6.6	1800	67.8	59.1	63.2	61.1
420	9.8	4.6	10.2	7.4	1850	69.1	60.3	64.4	62.3
430	10.5	5.3	10.9	8.1	1900	70.4	61.5	65.5	63.5
440	11.3	6.0	11.6	8.8	1950	71.7	62.7	66.7	64.7
450	12.1	6.7	12.3	9.5	2000	72.9	63.9	67.8	65.8
460	12.8	7.4	13.0	10.2	2050	74.1	65.0	68.9	67.0
470	13.5	8.1	13.6	10.9	2100	75.3	66.1	70.0	68.1
480	14.2	8.8	14.3	11.5	2150	76.5	67.2	71.0	69.1
490	14.9	9.5	14.9	12.2	2200	77.7	68.3	72.1	70.2
500	15.6	10.1	15.6	12.8	2250	78.8	69.4	73.1	71.2
510	16.3	10.8	16.2	13.5	2300	79.9	70.4	74.1	72.3
520	17.0	11.4	16.8	14.1	2350	81.0	71.5	75.1	73.3
530	17.6	12.0	17.5	14.7	2400	82.1	72.5	76.1	74.3
540	18.3	12.6	18.1	15.3	2450	83.2	73.5	77.0	75.3
550	18.9	13.2	18.6	15.9	2500	84.2	74.5	78.0	76.2
560	19.6	13.8	19.2	16.5	2550	85.3	75.5	78.9	77.2
570	20.2	14.4	19.8	17.1	2600	86.3	76.4	79.8	78.1
580	20.8	15.0	20.4	17.7	2650	87.3	77.4	80.7	79.0
590	21.4	15.6	20.9	18.3	2700	88.3	78.3	81.6	79.9
600	22.0	16.1	21.5	18.8	2750	89.3	79.2	82.5	80.8
610	22.6	16.7	22.0	19.4	2800	90.2	80.1	83.3	81.7
620	23.2	17.3	22.6	19.9	2850	91.2	81.0	84.2	82.6
630	23.8	17.8	23.1	20.5	2900	92.1	81.9	85.0	83.5
640	24.4	18.4	23.7	21.0	2950	93.1	82.8	85.8	84.3
650	24.9	18.9	24.2	21.5	3000	94.0	83.7	86.6	85.2
660	25.5	19.4	24.7	22.1	3050	94.9	84.5	87.4	86.0
670	26.0	19.9	25.2	22.6	3100	95.8	85.4	88.2	86.8
680	26.6	20.5	25.7	23.1	3150	96.7	86.2	89.0	87.6
690	27.1	21.0	26.2	23.6	3200	97.6	87.1	89.8	88.4
700	27.7	21.5	26.7	24.1	3250	98.4	87.9	90.6	89.2
710	28.2	22.0	27.2	24.6	3300	99.3	88.7	91.3	90.0
720	28.7	22.5	27.7	25.1	3350	100.1	89.5	92.1	90.8
730	29.3	23.0	28.2	25.6	3400	101.0	90.3	92.8	91.5
740	29.8	23.4	28.6	26.0	3450	101.8	91.1	93.5	92.3
750	30.3	23.9	29.1	26.5	3500	102.6	91.8	94.3	93.0

Nota: Temperatura de Líquido Saturado = Punto de Burbuja
Temperatura de Vapor Saturado = Punto de Rocío

Tabla 3
Gráfica de Presión-Temperatura (Unidades Inglesas)
Refrigerante Marca Suva® 409A (psi/°F)

Presión psi	R-12 Sat. Temp., °F	Suva® 409A Líquido Sat. Temp., °F	Suva® 409A Vapor Sat. Temp., °F	Suva® 409A Prom. Serp. Temp., °F
20*	-63	-70	-55	-61
15*	-49	-56	-41	-49
10*	-38	-46	-31	-39
5*	-29	-37	-22	-30
0	-22	-30	-15	-23
2	-16	-25	-10	-18
4	-11	-20	-5	-13
6	-7	-16	-1	-9
8	-2	-12	3	-5
10	2	-8	7	0
12	5	-4	10	3
14	9	-1	13	6
16	12	2	17	10
18	15	5	20	13
20	18	8	22	15
22	21	11	25	18
24	24	13	28	21
26	27	16	30	23
28	29	18	33	26
30	32	21	35	28
32	34	23	37	30
34	37	26	39	32
36	39	27	41	24
38	41	30	43	37
40	43	32	45	39
42	45	33	47	40
44	47	35	49	42
46	49	37	51	44
48	51	39	53	46
50	53	41	55	48
55	58	45	59	52
60	62	49	63	56
65	66	53	66	60
70	70	57	70	64
75	74	60	73	67
80	77	64	77	71
85	81	66	80	73
90	84	70	83	77
95	87	73	86	80
100	90	76	89	83
105	93	79	92	86
110	96	81	94	88
115	99	84	97	90
120	102	87	99	93
125	104	89	102	96

Presión psi	R-12 Sat. Temp., °F	Suva® 409A Líquido Sat. Temp., °F	Suva® 409A Vapor Sat. Temp., °F	Suva® 409A Prom. Serp. Temp., °F
130	107	92	104	98
135	109	94	106	99
140	112	96	109	103
145	114	99	111	105
150	117	101	113	107
155	119	103	115	109
160	121	105	117	111
165	123	107	119	113
170	125	109	121	115
175	128	111	123	117
180	130	113	125	119
185	132	115	127	121
190	134	117	129	123
195	136	119	130	125
200	138	121	132	126
205	139	123	134	129
210	141	124	136	130
215	143	126	137	133
220	145	128	139	134
225	147	129	140	135
230	148	131	142	136
235	150	133	144	139
240	152	134	145	140
245	154	136	147	142
250	155	138	148	143
255	157	139	150	145
260	158	141	151	146
265	160	142	153	143
270	162	144	154	144
275	163	145	155	150
280	165	147	157	152
285	166	148	158	153
290	168	149	159	154
295	169	151	161	156
300	170	152	162	157
310	173	155	165	160
320	176	158	167	162
330	179	160	170	165
340	182	163	172	168
350	184	165	174	170
360	187	168	177	173
370	189	170	179	175
380	192	172	181	177
390	194	175	183	179
400	196	177	185	183

* inHg Abajo de una Atmósfera

Nota: Temperatura de Líquido Saturado = Punto de Burbuja
 Temperatura de Vapor Saturado = Punto de Rocio

Tabla 4
Gráfica de Presión - Temperatura (Unidades SI)
Refrigerante Marca Suva® 409A (kPa/°C)

Presión kPa	R-12 Sat. Temp., °C	Suva® 409A Líquido Sat. Temp., °C	Suva® 409A Vapor Sat. Temp., °C	Suva® 409A Prom. Serp. Temp., °C
10	-73.1	-76.1	-67.3	-71.7
20	-62.1	-65.5	-56.8	-62.1
30	-55.0	-58.6	-50.1	-54.4
40	-49.6	-53.4	-44.9	-49.2
50	-45.2	-49.2	-40.8	-45.0
60	-41.4	-45.6	-37.2	-41.4
70	-38.1	-42.5	-34.1	-38.3
80	-35.2	-39.7	-31.3	-35.5
90	-32.5	-37.1	-28.8	-33.0
100	-30.1	-34.8	-26.5	-30.7
110	-27.8	-32.7	-24.4	-28.6
120	-25.7	-30.7	-22.4	-26.6
130	-23.8	-28.8	-20.6	-24.7
140	-21.9	-27.0	-18.8	-22.9
150	-20.1	-25.4	-17.2	-21.3
160	-18.5	-23.8	-15.6	-19.7
170	-16.9	-22.3	-14.1	-18.2
180	-15.4	-20.8	-12.7	-16.8
190	-13.9	-19.4	-11.4	-15.4
200	-12.5	-18.1	-10.0	-14.1
210	-11.2	-16.8	-8.8	-12.8
220	-9.9	-15.6	-7.6	-11.6
230	-8.6	-14.4	-6.4	-10.4
240	-7.4	-13.3	-5.3	-9.3
250	-6.2	-12.1	-4.2	-8.2
260	-5.1	-11.1	-3.1	-7.1
270	-4.0	-10.0	-2.1	-6.1
280	-2.9	-9.0	-1.1	-5.1
290	-1.9	-8.0	-0.1	-4.1
300	-0.8	-7.0	0.8	-3.1
310	0.2	-6.1	1.8	-2.2
320	1.1	-5.2	2.7	-1.3
330	2.1	-4.3	3.6	-0.4
340	3.0	-3.4	4.4	0.5
350	3.9	-2.5	5.3	1.4
360	4.8	-1.7	6.1	2.2
370	5.7	-0.9	6.9	3.0
380	6.5	-0.1	7.7	3.8
390	7.4	0.7	8.5	4.6
400	8.2	1.5	9.2	5.4
410	9.0	2.3	10.0	6.2
420	9.8	3.0	10.7	6.9
430	10.5	3.8	11.4	7.6
440	11.3	4.5	12.1	8.3
450	12.1	5.2	12.8	9.0
460	12.8	5.9	13.5	9.7
470	13.5	6.6	14.2	10.4
480	14.2	7.2	14.8	11.0
490	14.9	7.9	15.5	11.7
500	15.6	8.6	16.1	12.4
510	16.3	9.2	16.7	13.0
520	17.0	9.8	17.4	13.6
530	17.6	10.5	18.0	14.3
540	18.3	11.1	18.6	14.9
550	18.9	11.7	19.2	15.5
560	19.6	12.3	19.8	16.1
570	20.2	12.9	20.3	16.6
580	20.8	13.5	20.9	17.2
590	21.4	14.0	21.5	17.8
600	22.0	14.6	22.0	18.3
610	22.6	15.2	22.6	18.9
620	23.2	15.7	23.1	19.4
630	23.8	16.3	23.7	20.0
640	24.4	16.8	24.2	20.5
650	24.9	17.4	24.7	21.1
660	25.5	17.9	25.2	21.6
670	26.0	18.4	25.7	22.1
680	26.6	18.9	26.2	22.6
690	27.1	19.5	26.7	23.1
700	27.7	20.0	27.2	23.6
710	28.2	20.5	27.7	24.1
720	28.7	21.0	28.2	24.6
730	29.3	21.5	28.7	25.1
740	29.8	22.0	29.2	25.6
750	30.3	22.4	29.6	26.0

Presión kPa	R-12 Sat. Temp., °C	Suva® 409A Líquido Sat. Temp., °C	Suva® 409A Vapor Sat. Temp., °C	Suva® 409A Prom. Serp. Temp., °C
760	30.8	22.9	30.1	26.5
770	31.3	23.4	30.6	27.0
780	31.8	23.9	31.0	27.5
790	32.3	24.3	31.5	27.9
800	32.8	24.8	31.9	28.4
810	33.2	25.2	32.4	28.8
820	33.7	25.7	32.8	29.3
830	34.2	26.1	33.2	29.7
840	34.7	26.6	33.7	30.2
850	35.1	27.0	34.1	30.6
860	35.6	27.5	34.5	31.0
870	36.0	27.9	34.9	31.4
880	36.5	28.3	35.4	31.9
890	36.9	28.7	35.8	32.3
900	37.4	29.2	36.2	32.7
910	37.8	29.6	36.6	33.1
920	38.3	30.0	37.0	33.5
930	38.7	30.4	37.4	33.9
940	39.1	30.8	37.8	34.3
950	39.6	31.2	38.2	34.7
960	40.0	31.6	38.6	34.2
970	40.4	32.0	39.0	35.5
980	40.8	32.4	39.3	35.9
990	41.3	32.8	39.7	36.3
1000	41.7	33.2	40.1	36.7
1050	43.7	35.1	42.0	38.6
1100	45.6	37.0	43.7	40.4
1150	47.5	38.8	45.5	42.2
1200	49.3	40.5	47.1	43.8
1250	51.1	42.2	48.8	45.5
1300	52.8	43.8	50.3	47.1
1350	54.5	45.4	51.9	48.7
1400	56.1	46.9	53.3	50.1
1450	57.7	48.4	54.8	51.6
1500	59.2	49.9	56.2	53.1
1550	60.7	51.3	57.6	54.5
1600	62.2	52.7	58.9	55.8
1650	63.6	54.1	60.2	57.2
1700	65.1	55.4	61.5	58.5
1750	66.4	56.7	62.7	59.7
1800	67.8	58.0	64.0	61.0
1850	69.1	59.3	65.2	62.3
1900	70.4	60.5	66.3	63.4
1950	71.7	61.7	67.5	64.6
2000	72.9	62.9	68.6	65.8
2050	74.1	64.0	69.7	66.9
2100	75.3	65.2	70.8	68.0
2150	76.5	66.3	71.9	69.1
2200	77.7	67.4	72.9	70.2
2250	78.8	68.5	73.9	71.2
2300	79.9	69.6	75.0	72.3
2350	81.0	70.6	75.9	73.3
2400	82.1	71.7	76.9	74.3
2450	83.2	72.7	77.9	75.3
2500	84.2	73.7	78.8	76.3
2550	85.3	74.7	79.8	77.3
2600	86.3	75.7	80.7	78.2
2650	87.3	76.6	81.6	79.1
2700	88.3	77.6	82.5	80.1
2750	89.3	78.5	83.4	81.0
2800	90.2	79.4	84.2	81.8
2850	91.2	80.4	85.1	82.8
2900	92.1	81.3	85.9	84.1
2950	93.1	82.1	86.7	84.4
3000	94.0	83.0	87.6	85.2
3050	94.9	83.9	88.4	86.2
3100	95.8	84.8	89.2	87.0
3150	96.7	85.6	89.9	87.8
3200	97.6	86.4	90.7	88.6
3250	98.4	87.3	91.5	89.4
3300	99.3	88.1	92.2	90.2
3350	100.1	88.9	93.0	91.0
3400	101.0	89.7	93.7	91.7
3450	101.8	90.5	94.4	92.5
3500	102.6	91.3	95.1	93.2

Nota: Temperatura de Líquido Saturado = Punto de Burbuja
 Temperatura de Vapor Saturado = Punto de Rocío

Tabla 5
Gráfica de Presión-Temperatura (Unidades Inglesas)
Refrigerante Marca Suva® MP66 (psi/°F)

Presión psi	R-12 Sat. Temp., °F	R-500 Sat. Temp., °F	Suva® MP66 Líquido Sat. Temp., °F	Suva® MP66 Vapor Sat. Temp., °F	Suva® MP66 Prom. Serp. Temp., °F
20*	-63	-69	-70	-59	-64
15*	-49	-55	-56	-45	-50
10*	-38	-44	-46	-35	-40
5*	-29	-36	-37	-27	-31
0*	-22	-28	-30	-20	-24
2	-16	-23	-25	-14	-18
4	-11	-18	-20	-10	-14
6	-7	-14	-16	-6	-10
8	-2	-10	-12	-2	-6
10	2	-6	-8	2	-2
12	5	-2	-5	6	2
14	9	1	-1	9	5
16	12	4	2	12	8
18	15	7	5	15	11
20	18	10	8	18	14
22	21	13	10	20	16
24	24	16	13	23	19
26	27	18	15	25	21
28	29	21	18	28	24
30	32	23	20	30	26
32	34	26	22	32	28
34	37	28	25	34	30
36	39	30	27	37	33
38	41	32	29	39	35
40	43	34	31	41	37
42	45	36	33	42	38
44	47	38	35	44	40
46	49	40	37	46	42
48	51	42	38	48	44
50	53	44	40	50	46
55	58	48	44	54	50
60	62	52	48	58	54
65	66	56	52	61	57
70	70	60	56	65	61
75	74	63	59	68	64
80	77	67	63	72	68
85	81	70	66	75	71
90	84	73	69	78	74
95	87	76	72	81	77
100	90	79	75	83	79
105	93	82	77	86	81
110	96	84	80	89	84
115	99	87	83	91	87
120	102	90	85	94	89
125	104	92	88	96	92

Presión psi	R-12 Sat. Temp., °F	R-500 Sat. Temp., °F	Suva® MP66 Líquido Sat. Temp., °F	Suva® MP66 Vapor Sat. Temp., °F	Suva® MP66 Prom. Serp. Temp., °F
130	107	95	90	99	94
135	109	97	93	101	97
140	112	99	95	103	99
145	114	102	97	105	101
150	117	104	99	107	103
155	119	106	101	109	105
160	121	108	103	111	107
165	123	110	106	113	110
170	125	112	108	115	112
175	128	114	109	117	113
180	130	116	111	119	115
185	132	118	113	121	117
190	134	120	115	123	119
195	136	122	117	125	121
200	138	124	119	126	123
205	139	126	121	128	125
210	141	128	122	130	128
215	143	129	124	131	128
220	145	131	126	133	130
225	147	133	127	135	131
230	148	134	129	136	133
235	150	136	130	138	134
240	152	138	132	139	136
245	154	139	134	141	138
250	155	141	135	142	139
255	157	142	137	144	141
260	158	144	138	145	142
265	160	145	140	146	143
270	162	147	141	148	145
275	163	148	142	149	146
280	165	150	144	151	148
285	166	151	145	152	149
290	168	153	147	153	150
295	169	154	148	155	152
300	170	155	149	156	153
310	173	158	152	158	155
320	176	161	155	161	158
330	179	163	157	163	160
340	182	166	160	166	163
350	184	168	162	168	165
360	187	171	164	170	167
370	183	173	167	172	170
380	192	176	169	175	172
390	194	178	171	177	174
400	196	180	174	179	177

* inHg Abajo de una Atmósfera

Nota: Temperatura de Líquido Saturado = Punto de Burbuja
 Temperatura de Vapor Saturado = Punto de Rocio

Tabla 6
Gráfica de Presión-Temperatura (Unidades SI)
Refrigerante Marca Suva® MP66 (kPa/°C)

Presión kPa	R-12	R-500	Suva® MP66	Suva® MP66	Suva® MP66	Presión kPa	R-12	R-500	Suva® MP66	Suva® MP66	Suva® MP66
	Sat. Temp., °C	Sat. Temp., °C	Líquido Sat. Temp., °C	Vapor Sat. Temp., °C	Prom. Sarp. Temp., °C		Sat. Temp., °C	Sat. Temp., °C	Líquido Sat. Temp., °C	Vapor Sat. Temp., °C	Prom. Sarp. Temp., °C
10	-73.1	-76.1	-75.9	-69.5	-72.7	760	30.8	24.6	22.3	27.2	24.8
20	-62.1	-65.2	-65.4	-59.0	-62.2	770	31.3	25.1	22.8	27.7	25.2
30	-55.0	-58.2	-58.5	-52.3	-55.4	780	31.8	25.6	23.2	28.1	25.7
40	-49.6	-52.8	-53.4	-47.2	-50.3	790	32.3	26.0	23.7	28.6	26.1
50	-45.2	-48.5	-49.2	-43.0	-46.1	800	32.8	26.5	24.1	29.0	26.6
60	-41.4	-44.8	-45.6	-39.5	-42.6	810	33.2	26.9	24.6	29.4	27.0
70	-38.1	-41.6	-42.5	-36.4	-39.5	820	33.7	27.4	25.0	29.9	27.5
80	-35.2	-38.8	-39.7	-33.7	-36.7	830	34.2	27.8	25.5	30.3	27.9
90	-32.5	-36.2	-37.2	-31.2	-34.2	840	34.7	28.3	25.9	30.7	28.3
100	-30.1	-33.8	-34.9	-28.9	-31.9	850	35.1	28.7	26.3	31.2	28.8
110	-27.8	-31.6	-32.7	-26.8	-29.8	860	35.6	29.2	26.8	31.6	29.2
120	-25.7	-29.6	-30.7	-24.9	-27.8	870	36.0	29.6	27.2	32.0	29.6
130	-23.8	-27.7	-28.9	-23.0	-26.0	880	36.5	30.0	27.6	32.4	30.0
140	-21.9	-25.9	-27.1	-21.3	-24.2	890	36.9	30.5	28.0	32.8	30.4
150	-20.1	-24.2	-25.5	-19.7	-22.6	900	37.4	30.9	28.5	33.2	30.8
160	-18.5	-22.6	-23.9	-18.1	-21.0	910	37.8	31.3	28.9	33.6	31.2
170	-16.9	-21.0	-22.4	-16.7	-19.5	920	38.3	31.7	29.3	34.0	31.6
180	-15.4	-19.6	-21.0	-15.2	-18.1	930	38.7	32.1	29.7	34.4	32.0
190	-13.9	-18.2	-19.6	-13.9	-16.8	940	39.1	32.6	30.1	34.8	32.4
200	-12.5	-16.8	-18.3	-12.6	-15.4	950	39.6	33.0	30.5	35.2	32.8
210	-11.2	-15.5	-17.0	-11.3	-14.2	960	40.0	33.4	30.9	35.6	33.2
220	-9.9	-14.3	-15.8	-10.1	-13.0	970	40.4	33.8	31.3	36.0	33.6
230	-8.6	-13.1	-14.6	-9.0	-11.8	980	40.8	34.2	31.7	36.3	34.0
240	-7.4	-11.9	-13.5	-7.9	-10.7	990	41.3	34.6	32.0	36.7	34.4
250	-6.2	-10.8	-12.4	-6.8	-9.6	1000	41.7	35.0	32.4	37.1	34.8
260	-5.1	-9.7	-11.3	-5.7	-8.5	1050	43.7	36.9	34.3	38.9	36.6
270	-4.0	-8.6	-10.3	-4.7	-7.5	1100	45.6	38.7	36.1	40.7	38.4
280	-2.9	-7.6	-9.3	-3.7	-6.5	1150	47.5	40.5	37.9	42.4	40.1
290	-1.9	-6.6	-8.3	-2.7	-5.5	1200	49.3	42.3	39.6	44.0	41.8
300	-0.8	-5.6	-7.3	-1.8	-4.6	1250	51.1	43.9	41.2	45.6	43.4
310	0.2	-4.6	-6.4	-0.9	-3.6	1300	52.8	45.6	42.8	47.2	45.0
320	1.1	-3.7	-5.5	0.0	-2.7	1350	54.5	47.2	44.3	48.7	46.5
330	2.1	-2.8	-4.6	0.9	-1.8	1400	56.1	48.7	45.9	50.1	48.0
340	3.0	-1.9	-3.7	1.7	-1.0	1450	57.7	50.2	47.3	51.6	49.4
350	3.9	-1.1	-2.8	2.6	-0.1	1500	59.2	51.7	48.8	52.9	50.8
360	4.8	-0.2	-2.0	3.4	0.7	1550	60.7	53.1	50.2	54.3	52.2
370	5.7	0.6	-1.2	4.2	1.5	1600	62.2	54.5	51.5	55.6	53.6
380	6.5	1.4	-0.4	5.0	2.3	1650	63.6	55.9	52.9	56.9	54.9
390	7.4	2.2	0.4	5.7	3.1	1700	65.1	57.2	54.2	58.2	56.2
400	8.2	3.0	1.2	6.5	3.8	1750	66.4	58.5	55.4	59.4	57.4
410	9.0	3.8	1.9	7.2	4.6	1800	67.8	59.8	56.7	60.6	58.6
420	9.8	4.5	2.6	8.0	5.3	1850	69.1	61.1	57.9	61.8	59.8
430	10.5	5.3	3.4	8.7	6.0	1900	70.4	62.3	59.1	62.9	61.0
440	11.3	6.0	4.1	9.4	6.7	1950	71.7	63.5	60.3	64.1	62.2
450	12.1	6.7	4.8	10.1	7.4	2000	72.9	64.7	61.4	65.2	63.3
460	12.8	7.4	5.5	10.7	8.1	2050	74.1	66.9	62.6	66.3	64.4
470	13.5	8.1	6.2	11.4	8.8	2100	75.3	67.0	63.7	67.3	65.5
480	14.2	8.8	6.8	12.1	9.4	2150	76.5	68.1	64.8	68.4	66.6
490	14.9	9.5	7.5	12.7	10.1	2200	77.7	69.2	65.9	69.4	67.6
500	15.6	10.1	8.1	13.3	10.7	2250	78.8	70.3	66.9	70.4	68.7
510	16.3	10.6	8.8	14.0	11.4	2300	79.9	71.4	68.0	71.4	69.7
520	17.0	11.4	9.4	14.6	12.0	2350	81.0	72.4	69.0	72.4	70.7
530	17.6	12.1	10.0	15.2	12.6	2400	82.1	73.5	70.0	73.4	71.7
540	18.3	12.7	10.6	15.8	13.2	2450	83.2	74.5	71.0	74.3	72.7
550	18.9	13.3	11.2	16.4	13.8	2500	84.2	75.5	72.0	75.3	73.6
560	19.6	13.9	11.8	17.0	14.4	2550	85.3	76.5	72.9	76.2	74.6
570	20.2	14.5	12.4	17.5	15.0	2600	86.3	77.4	73.9	77.1	75.5
580	20.8	15.1	13.0	18.1	15.5	2650	87.3	78.4	74.8	78.0	76.4
590	21.4	15.7	13.6	18.7	16.1	2700	88.3	79.3	75.8	78.9	77.3
600	22.0	16.2	14.1	19.2	16.7	2750	89.3	80.3	76.7	79.8	78.2
610	22.6	16.8	14.7	19.8	17.2	2800	90.2	81.2	77.6	80.6	79.1
620	23.2	17.4	15.2	20.3	17.8	2850	91.2	82.1	78.5	81.5	80.0
630	23.8	17.9	15.8	20.8	18.3	2900	92.1	83.0	79.4	82.3	80.8
640	24.4	18.5	16.3	21.3	18.8	2950	93.1	83.9	80.2	83.1	81.7
650	24.9	19.0	16.8	21.9	19.4	3000	94.0	84.7	81.1	83.9	82.5
660	25.5	19.6	17.4	22.4	19.9	3050	94.9	85.6	81.9	84.7	83.3
670	26.0	20.1	17.9	22.9	20.4	3100	95.8	86.4	82.8	85.5	84.1
680	26.6	20.6	18.4	23.4	20.9	3150	96.7	87.3	83.6	86.3	84.9
690	27.1	21.1	18.9	23.9	21.4	3200	97.6	88.1	84.4	87.1	85.7
700	27.7	21.6	19.4	24.4	21.9	3250	98.4	88.9	85.2	87.8	86.5
710	28.2	22.1	19.9	24.9	22.4	3300	99.3	89.7	86.0	88.6	87.3
720	28.7	22.6	20.4	25.3	22.9	3350	100.1	90.5	86.8	89.3	88.1
730	29.3	23.1	20.9	25.8	23.3	3400	101.0	91.3	87.6	90.1	88.6
740	29.8	23.6	21.4	26.3	23.8	3450	101.8	92.1	88.4	90.8	89.6
750	30.3	24.1	21.8	26.7	24.3	3500	102.6	92.8	89.2	91.5	90.3

Nota: Temperatura de Líquido Saturado = Punto de Burbuja
Temperatura de Vapor Saturado = Punto de Rocío

Tabla 7
Gráfica de Presión-Temperatura (Unidades Inglesas)
Refrigerante Marca Suva® HP80 (psi/°F)

Presión psi	R-502 Temp., °F	Suva® HP80 Líquido Sat. Temp., °F	Suva® HP80 Vapor Sat. Temp., °F
20*	-88	-94	-89
15*	-75	-81	-77
10*	-65	-71	-67
5*	-56	-63	-59
0	-50	-57	-53
2	-45	-52	-48
4	-40	-47	-44
6	-36	-43	-40
8	-32	-39	-36
10	-29	-36	-33
12	-25	-33	-29
14	-22	-29	-26
16	-19	-26	-23
18	-16	-24	-21
20	-13	-21	-18
22	-11	-18	-15
24	-8	-16	-13
26	-6	-14	-11
28	-3	-11	-8
30	-1	-9	-6
32	1	-7	-4
34	3	-5	-2
36	5	-3	0
38	7	-1	2
40	9	1	4
42	11	3	6
44	13	5	7
46	15	6	9
48	16	8	11
50	18	10	12
52	20	11	14
54	21	13	15
56	23	14	17
58	24	16	18
60	26	17	20
62	27	19	21
64	29	20	23
66	30	22	24
68	32	23	25
70	33	24	27
72	34	26	28
74	36	27	29
76	37	28	31
78	38	30	32
80	40	31	33
82	41	32	34
84	42	33	35
86	43	34	37
88	45	36	38
90	46	37	39
92	47	38	40
94	48	39	41
96	49	40	42
98	50	41	43
100	51	42	44
105	54	44	46
110	57	47	49
115	60	50	52
120	62	52	54
125	64	54	56
130	57	57	59

Presión psi	R-502 Temp., °F	Suva® HP80 Líquido Sat. Temp., °F	Suva® HP80 Vapor Sat. Temp., °F
135	69	59	61
140	71	61	63
145	73	63	65
150	75	65	67
155	78	67	69
160	80	69	71
165	82	71	73
170	84	73	75
175	85	75	77
180	87	77	78
185	89	78	80
190	91	80	82
195	93	82	84
200	95	82	85
205	96	85	87
210	98	87	88
215	100	88	90
220	101	90	92
225	103	91	93
230	105	93	95
235	106	94	96
240	108	96	97
245	109	97	99
250	111	99	100
255	112	100	102
260	114	102	103
265	115	103	104
270	117	104	106
275	118	106	107
280	119	107	108
285	121	108	110
290	122	110	111
295	123	111	112
300	125	112	114
305	126	113	115
310	127	115	116
315	129	116	117
320	130	117	118
325	131	118	120
330	132	119	121
335	134	121	122
340	135	122	123
345	136	123	124
350	137	124	125
355	138	125	126
360	139	126	127
365	141	127	128
370	142	128	130
375	143	130	131
380	144	131	132
385	145	132	133
390	146	133	134
395	147	134	135
400	148	135	136
405	149	136	137
410	150	137	138
415	151	138	139
420	152	139	140
425	153	140	141
430	154	141	142
435	155	142	143
440	156	143	144
445	157	144	144

* inHg Abajo de una Atmósfera

Nota: Temperatura de Líquido Saturado = Punto de Burbuja
 Temperatura de Vapor Saturado = Punto de Rocío

Tabla 8
Gráfica de Presión-Temperatura (Unidades SI)
Refrigerante Marca Suva® HP80 (kPa/°C)

Presión kPa	R-502 Temp., °C	Suva® HP80 Líquido Sat. Temp., °C	Suva® HP80 Vapor Sat. Temp., °C
10	-85.5	-88.3	-85.4
20	-75.2	-78.1	-75.6
30	-68.6	-71.6	-69.2
40	-63.6	-66.7	-64.4
50	-59.5	-62.7	-60.5
60	-56.1	-59.4	-57.2
70	-53.1	-56.4	-54.3
80	-50.4	-53.8	-51.7
90	-47.9	-51.4	-49.4
100	-45.7	-49.2	-47.2
110	-43.6	-47.2	-45.2
120	-41.7	-45.3	-43.4
130	-39.9	-43.5	-41.7
140	-38.3	-41.9	-40.0
150	-36.7	-40.3	-38.5
160	-35.1	-38.8	-37.0
170	-33.7	-37.4	-35.7
180	-32.3	-36.1	-34.3
190	-31.0	-34.8	-33.1
200	-29.7	-33.5	-31.8
210	-28.5	-32.3	-30.6
220	-27.3	-31.2	-29.5
230	-26.2	-30.1	-28.4
240	-25.1	-29.0	-27.3
250	-24.0	-27.9	-26.3
260	-23.0	-26.9	-25.3
270	-22.0	-25.9	-24.4
280	-21.0	-25.0	-23.4
290	-20.1	-24.1	-22.5
300	-19.2	-23.2	-21.6
310	-18.3	-22.3	-20.7
320	-17.4	-21.4	-19.9
330	-16.5	-20.6	-19.1
340	-15.7	-19.8	-18.3
350	-14.9	-19.0	-17.5
360	-14.1	-18.2	-16.7
370	-13.3	-17.4	-16.0
380	-12.5	-16.7	-15.2
390	-11.8	-15.9	-14.5
400	-11.0	-15.2	-13.8
410	-10.3	-14.5	-13.1
420	-9.6	-13.8	-12.4
430	-8.9	-13.1	-11.7
440	-8.2	-12.4	-11.0
450	-7.5	-11.8	-10.4
460	-6.9	-11.1	-9.7
470	-6.2	-10.5	-9.1
480	-5.6	-9.9	-8.5
490	-4.9	-9.2	-7.9
500	-4.3	-8.6	-7.3
510	-3.7	-8.0	-6.7
520	-3.1	-7.4	-6.1
530	-2.5	-6.8	-5.5
540	-1.9	-6.3	-5.0
550	-1.3	-5.7	-4.4
560	-0.7	-5.1	-3.8
570	-0.2	-4.6	-3.3
580	0.4	-4.1	-2.8
590	0.9	-3.5	-2.2
600	1.5	-3.0	-1.7
610	2.0	-2.5	-1.2
620	2.6	-1.9	-0.7
630	3.1	-1.4	-0.2
640	3.6	-0.9	0.3
650	4.1	-0.4	0.8
660	4.6	0.1	1.3
670	5.1	0.5	1.8
680	5.6	1.0	2.3
690	6.1	1.5	2.7
700	6.6	2.0	3.2
710	7.1	2.4	3.6
720	7.6	2.9	4.1
730	8.0	3.4	4.6
740	8.5	3.8	5.0

Presión kPa	R-502 Temp., °C	Suva® HP80 Líquido Sat. Temp., °C	Suva® HP80 Vapor Sat. Temp., °C
750	9.0	4.3	5.4
760	9.4	4.7	5.9
770	9.5	5.1	6.3
780	10.3	5.6	6.7
790	10.8	6.0	7.2
800	11.2	6.4	7.6
810	11.6	6.9	8.0
820	12.1	7.3	8.4
830	12.5	7.7	8.8
840	12.9	8.1	9.2
850	13.3	8.5	9.6
860	13.8	8.9	10.0
870	14.2	9.3	10.4
880	14.5	9.7	10.8
890	15.0	10.1	11.2
900	15.4	10.5	11.6
910	15.8	10.9	12.0
920	16.2	11.2	12.4
930	16.6	11.6	12.8
940	17.0	12.0	13.1
950	17.4	12.4	13.5
960	17.8	12.7	13.8
970	18.1	13.1	14.2
980	18.5	13.5	14.6
990	18.9	13.8	14.9
1000	19.3	14.2	15.3
1050	21.1	16.0	17.0
1100	22.9	17.7	18.7
1150	24.6	19.3	20.3
1200	26.3	20.9	21.9
1250	27.9	22.4	23.4
1300	29.4	23.9	24.9
1350	30.9	25.4	26.3
1400	32.4	26.8	27.7
1450	33.9	28.1	29.1
1500	35.3	29.5	30.4
1550	36.7	30.8	31.7
1600	38.0	32.1	33.0
1650	39.3	33.3	34.2
1700	40.6	34.5	35.4
1750	41.8	35.7	36.5
1800	43.1	36.9	37.7
1850	44.3	38.0	38.8
1900	45.5	39.1	39.9
1950	46.6	40.2	41.0
2000	47.8	41.3	42.1
2050	48.9	42.4	43.1
2100	50.0	43.4	44.1
2150	51.1	44.4	45.2
2200	52.1	45.4	46.1
2250	53.2	46.4	47.1
2300	54.2	47.4	48.1
2350	55.2	48.3	49.0
2400	56.2	49.3	49.9
2450	57.1	50.2	50.8
2500	58.1	51.1	51.7
2550	59.1	52.0	52.6
2600	60.0	52.9	53.5
2650	60.9	53.8	54.4
2700	61.8	54.6	55.2
2750	62.7	55.5	56.0
2800	63.6	56.3	56.9
2850	64.4	57.1	57.7
2900	65.3	57.9	58.5
2950	66.1	58.8	59.3
3000	66.9	59.5	60.0
3050	67.8	60.3	60.8
3100	68.6	61.1	61.6
3150	69.4	61.9	62.3
3200	70.1	62.6	63.1
3250	70.9	63.4	63.8
3300	71.7	64.1	64.5
3350	72.4	64.8	65.3
3400	73.2	65.6	66.0

Nota: Temperatura de Líquido Saturado = Punto de Burbuja
 Temperatura de Vapor Saturado = Punto de Rocío

Table 9
Gráfica de Presión-Temperatura (Unidades Inglesas)
Refrigerante Marca Suva® 408A (psi/°F)

Presión psi	R-502 Temp., °F	Suva® 408A Líquido Sat. Temp., °F	Suva® 408A Vapor Sat. Temp., °F
20*	-88	-85	-84
15*	-75	-72	-72
10*	-65	-62	-62
5*	-56	-54	-54
0	-50	-48	-47
2	-45	-43	-42
4	-40	-38	-37
6	-36	-34	-33
8	-32	-30	-29
10	-29	-27	-26
12	-25	-23	-23
14	-22	-20	-19
16	-19	-17	-16
18	-16	-14	-14
20	-13	-12	-11
22	-11	-9	-8
24	-8	-6	-6
26	-6	-4	-3
28	-3	-2	-1
30	-1	1	1
32	1	3	3
34	3	5	5
36	5	7	7
38	7	9	9
40	9	11	11
42	11	13	13
44	13	14	15
46	15	16	17
48	16	18	19
50	18	20	20
52	20	21	22
54	21	23	23
56	23	24	25
58	24	26	27
60	26	27	28
62	27	29	29
64	29	30	31
66	30	32	32
68	32	33	34
70	33	35	35
72	34	36	36
74	36	37	38
76	37	38	39
78	38	40	40
80	40	41	42
82	41	42	43
84	42	43	44
86	43	45	45
88	45	46	46
90	46	47	48
92	47	48	48
94	48	49	50
96	49	50	51
98	50	51	52
100	51	53	53
105	54	55	56
110	57	58	58
115	60	60	61
120	62	63	63
125	64	65	66
130	67	67	68
135	69	70	70

Presión psi	R-502 Temp., °F	Suva® 408A Líquido Sat. Temp., °F	Suva® 408A Vapor Sat. Temp., °F
140	71	72	72
145	73	74	74
150	75	76	76
155	78	78	79
160	80	80	81
165	82	82	82
170	84	84	84
175	85	86	86
180	87	88	88
185	89	89	90
190	91	91	92
195	93	93	93
200	95	95	95
205	96	96	97
210	98	98	98
215	100	100	100
220	101	101	102
225	103	103	103
230	105	104	105
235	106	106	106
240	108	107	108
245	109	109	109
250	111	110	111
255	112	112	112
260	114	113	113
265	115	114	115
270	117	116	116
275	118	117	118
280	119	119	119
285	121	120	120
290	122	121	122
295	123	122	123
300	125	124	124
305	126	125	125
310	127	126	127
315	129	127	128
320	130	129	129
325	131	130	130
330	132	131	131
335	134	132	133
340	135	133	134
345	136	135	135
350	137	136	136
355	138	137	137
360	139	138	138
365	141	139	139
370	142	140	141
375	143	141	142
380	144	142	143
385	145	143	144
390	146	144	145
395	147	146	146
400	148	147	147
405	149	148	148
410	150	149	149
415	151	150	150
420	152	151	151
425	153	152	152
430	154	153	153
435	155	154	154
440	156	155	155
445	157	155	156
450	158	156	157

* inHg de vacío

Nota: Temperatura de Líquido Saturado = Punto de Burbuja
 Temperatura de Vapor Saturado = Punto de Rocío

Table 10
Gráfica de Presión-Temperatura (Unidades SI)
Refrigerante Marca Suva® 408A (kPa/°C)

Presión kPa	R-502 Temp., °C	Suva® 408A Líquido Sat. Temp., °C	Suva® 408A Vapor Sat. Temp., °C	Presión kPa	R-502 Temp., °C	Suva® 408A Líquido Sat. Temp., °C	Suva® 408A Vapor Sat. Temp., °C
10	-88.5	-83.7	-83.1	760	9.4	10.0	10.3
20	-75.2	-73.6	-73.1	770	9.9	10.5	10.8
30	-68.6	-67.1	-66.6	780	10.3	10.9	11.2
40	-63.6	-62.2	-61.7	790	10.8	11.4	11.7
50	-59.5	-58.2	-57.7	800	11.2	11.8	12.1
60	-56.1	-54.8	-54.3	810	11.6	12.2	12.5
70	-53.1	-51.8	-51.3	820	12.1	12.7	12.9
80	-50.4	-49.1	-48.7	830	12.5	13.1	13.4
90	-47.9	-46.7	46.3	840	12.9	13.5	13.8
100	-45.7	-44.5	-44.1	850	13.3	13.9	14.2
110	-43.6	-42.5	-42.0	860	13.8	14.3	14.6
120	-41.7	-40.6	-40.1	870	14.2	14.7	15.0
130	-39.9	-38.8	-38.4	880	14.5	15.1	15.4
140	-38.3	-37.1	-36.7	890	15.0	15.5	15.8
150	36.7	-35.5	-35.1	900	15.4	15.9	16.2
160	-35.1	-34.0	-33.6	910	15.8	16.3	16.6
170	-33.7	-32.6	-32.2	920	16.2	16.7	17.0
180	-32.3	-31.2	-30.8	930	16.6	17.1	17.4
190	-31.0	-29.9	-29.5	940	17.0	17.5	17.8
200	-29.7	-28.7	-28.3	950	17.4	17.9	18.1
210	-28.5	-27.5	-27.1	960	17.8	18.2	18.5
220	-27.3	-26.3	-25.9	970	18.1	18.6	18.9
230	-26.2	-25.2	-24.8	980	18.5	19.0	19.3
240	-25.1	-24.1	23.7	990	18.9	19.3	19.6
250	-24.0	-23.0	-22.6	1000	19.3	19.7	20.0
260	-23.0	-22.0	-21.6	1050	21.1	21.5	21.8
270	-22.0	-21.0	-20.6	1100	22.9	23.2	23.5
280	-21.0	-20.0	-19.7	1150	24.6	24.9	25.2
290	-20.1	-19.1	-18.7	1200	26.3	26.5	26.8
300	-19.2	-18.2	-17.8	1250	27.9	28.1	28.3
310	-18.3	-17.3	-16.9	1300	29.4	29.6	29.9
320	-17.4	-16.4	-16.1	1350	30.9	31.1	31.3
330	-16.5	-15.6	-15.2	1400	32.4	32.5	32.8
340	-15.7	-14.8	-14.4	1450	33.9	33.9	34.2
350	-14.9	-13.9	-13.6	1500	35.3	35.3	35.5
360	-14.1	-13.1	-12.8	1550	36.7	36.6	36.9
370	-13.3	-12.4	-12.0	1600	38.0	37.9	38.2
380	-12.5	-11.6	-11.3	1650	39.3	39.2	39.4
390	-11.8	-10.9	-10.5	1700	40.6	40.4	40.7
400	-11.0	-10.1	-9.8	1750	41.8	41.7	41.9
410	-10.3	-9.4	-9.1	1800	43.1	42.9	43.1
420	-9.6	-8.7	-8.4	1850	44.3	44.0	44.2
430	-8.9	-8.0	-7.7	1900	45.5	45.2	45.4
440	-8.2	-7.3	-7.0	1950	46.6	46.3	46.5
450	-7.5	-6.7	-6.3	2000	47.8	47.4	47.6
460	-6.9	-6.0	-5.7	2050	48.9	48.5	48.7
470	-6.2	-5.4	-5.0	2100	50.0	49.5	49.7
480	-5.6	-4.7	-4.4	2150	51.1	50.6	50.8
490	-4.9	-4.1	-3.8	2200	52.1	51.6	51.8
500	-4.3	-3.5	-3.1	2250	53.2	52.6	52.8
510	-3.7	-2.9	-2.5	2300	54.2	53.6	53.8
520	-3.1	-2.3	-1.9	2350	55.2	54.5	54.7
530	-2.5	-1.7	-1.4	2400	56.2	55.5	55.7
540	-1.9	-1.1	-0.8	2450	57.1	56.4	56.6
550	-1.3	-0.5	-0.2	2500	58.1	57.4	57.6
560	-0.7	0.0	0.4	2550	59.1	58.3	58.5
570	-0.2	0.6	0.9	2600	60.0	59.2	59.4
580	0.4	1.2	1.5	2650	60.9	60.1	60.3
590	0.9	1.7	2.0	2700	61.8	60.9	61.1
600	1.5	2.2	2.6	2750	62.7	61.8	62.0
610	2.0	2.8	3.1	2800	63.6	62.7	62.8
620	2.6	3.3	3.6	2850	64.4	63.5	63.7
630	3.1	3.8	4.1	2900	65.3	64.3	64.5
640	3.6	4.3	4.6	2950	66.1	65.1	65.3
650	4.1	4.8	5.1	3000	66.9	65.9	66.1
660	4.6	5.3	5.6	3050	67.8	66.7	66.9
670	5.1	5.8	6.1	3100	68.6	67.5	67.7
680	5.6	6.3	6.6	3150	69.4	68.3	68.4
690	6.1	6.8	7.1	3200	70.1	69.1	69.2
700	6.6	7.3	7.6	3250	70.9	69.8	70.0
710	7.1	7.8	8.1	3300	71.7	70.6	70.7
720	7.6	8.2	8.5	3350	72.4	71.3	71.4
730	8.0	8.7	9.0	3400	73.2	72.0	72.2
740	8.5	9.1	9.4	3450	73.9	72.7	72.9
750	9.0	9.6	9.9	3500	74.6	73.4	73.6

Nota: Temperatura de Líquido Saturado = Punto de Burbuja
Temperatura de Vapor Saturado = Punto de Rocío

Tabla 11
Gráfica de Presión-Temperatura (Unidades Inglesas)
Refrigerante Marca Suva® HP81 (psi/°F)

Presión psi	Suva® HP81		Suva® HP81	Presión psi	Suva® HP81		Suva® HP81
	R-502 Temp., °F	Líquido Sat Temp., °F	Vapor Sat. Temp., °F		R-502 Temp., °F	Líquido Sat Temp., °F	Vapor Sat. Temp., °F
20*	-88	-91	-86	140	71	66	68
15*	-75	-78	-73	145	73	68	71
10*	-65	-68	-63	150	75	70	73
5*	-56	-60	-55	155	78	72	75
0	-50	-53	-49	160	80	74	77
2	-45	-48	-44	165	82	76	78
4	-40	-43	-39	170	84	78	80
6	-36	-39	-35	175	85	80	82
8	-32	-35	-32	180	87	82	84
10	-29	-32	-28	185	89	84	86
12	-25	-29	-25	190	91	85	87
14	-22	-25	-22	195	93	87	89
16	-19	-22	-19	200	95	89	91
18	-16	-20	-16	205	96	90	92
20	-13	-17	-13	210	98	92	94
22	-11	-14	-11	215	100	94	96
24	-8	-12	-8	220	101	95	97
26	-6	-9	-6	225	103	97	99
28	-3	-7	-4	230	105	98	100
30	-1	-5	-1	235	106	100	102
32	1	-3	1	240	108	101	103
34	3	-1	3	245	109	103	105
36	5	1	5	250	111	104	106
38	7	3	7	255	112	106	107
40	9	5	8	260	114	107	109
42	11	7	10	265	115	108	110
44	13	9	12	270	117	110	112
46	15	11	14	275	118	111	113
48	16	12	16	280	119	112	114
50	18	14	17	285	121	114	116
52	20	16	19	290	122	115	117
54	21	17	20	295	123	116	118
56	23	19	22	300	125	118	119
58	24	20	23	305	126	119	121
60	26	22	25	310	127	120	122
62	27	23	26	315	129	121	123
64	29	25	28	320	130	123	124
66	30	26	29	325	131	124	125
68	32	28	31	330	132	125	127
70	33	29	32	335	134	126	128
72	34	30	33	340	135	127	129
74	36	32	34	345	136	128	130
76	37	33	36	350	137	130	131
78	38	34	37	355	138	131	132
80	40	35	38	360	139	132	133
82	41	37	39	365	141	133	134
84	42	38	41	370	142	134	135
86	43	39	42	375	143	135	136
88	45	40	43	380	144	136	138
90	46	41	44	385	145	137	139
92	47	43	45	390	146	138	140
94	48	44	46	395	147	139	141
96	49	45	47	400	148	140	142
98	50	46	49	405	149	141	143
100	51	47	50	410	150	142	144
105	54	50	52	415	151	143	145
110	57	52	55	420	152	144	146
115	60	55	57	425	153	145	147
120	62	57	60	430	154	146	148
125	64	59	62	435	155	147	149
130	67	62	64	440	156	148	149
135	69	64	66	445	157	149	150

* inHg de vacío

Nota: Temperatura de Líquido Saturado = Punto de Burbuja
 Temperatura de Vapor Saturado = Punto de Rocío

Tabla 12
Gráfica de Presión-Temperatura (Unidades SI)
Refrigerante Marca Suva® HP81 (kPa/°C)

Presión kPa	R-502 Temp., °C	Suva® HP81 Líquido Sat Temp., °C	Suva® HP81 Vapor Sat. Temp., °C	Presión kPa	R-502 Temp., °C	Suva® HP81 Líquido Sat Temp., °C	Suva® HP81 Vapor Sat. Temp., °C
10	-88.5	-86.8	-83.7	760	9.4	7.0	8.5
20	-75.2	-76.6	-73.8	770	9.9	7.4	8.9
30	-68.6	-70.1	-67.4	780	10.3	7.8	9.3
40	-63.6	-65.1	-62.5	790	10.8	8.3	9.8
50	-59.5	-61.1	-58.6	800	11.2	8.7	10.2
60	-56.1	-57.7	-55.2	810	11.6	9.1	10.6
70	-53.1	-54.7	52.3	820	12.1	9.6	11.0
80	-50.4	-52.0	-49.7	830	12.5	10.0	11.4
90	-47.9	-49.6	-47.3	840	12.9	10.4	11.8
100	-45.7	-47.4	-45.1	850	13.3	10.8	12.2
110	-43.6	-45.4	-43.1	860	13.8	11.2	12.6
120	-41.7	-43.5	-41.3	870	14.2	11.6	13.0
130	-39.9	-41.7	-39.5	880	14.5	12.0	13.4
140	-38.3	-40.0	-37.9	890	15.0	12.4	13.8
150	-36.7	-38.5	-36.3	900	15.4	12.8	14.2
160	-35.1	-37.0	-34.9	910	15.8	13.2	14.6
170	-33.7	-35.5	-33.5	920	16.2	13.6	15.0
180	-32.3	-34.2	-32.1	930	16.6	14.0	15.4
190	-31.0	-32.9	-30.8	940	17.0	14.3	15.7
200	-29.7	-31.6	-29.6	950	17.4	14.7	16.1
210	-28.5	-30.4	-28.4	960	17.8	15.1	16.5
220	-27.3	-29.2	-27.3	970	18.1	15.5	16.8
230	-26.2	-28.1	-26.2	980	18.5	15.8	17.2
240	-25.1	-27.0	-25.1	990	18.9	16.2	17.6
250	-24.0	-26.0	-24.1	1000	19.3	16.6	17.9
260	-23.0	-25.0	-23.1	1050	21.1	18.3	19.7
270	-22.0	-24.0	-22.1	1100	22.9	20.0	21.4
280	-21.0	-23.0	-21.1	1150	24.6	21.7	23.0
290	-20.1	-22.1	-20.2	1200	26.3	23.3	24.6
300	-19.2	-21.2	-19.3	1250	27.9	24.9	26.1
310	-18.3	-20.3	-18.4	1300	29.4	26.4	27.6
320	-17.4	-19.4	-17.6	1350	30.9	27.8	29.1
330	-16.5	-18.6	-16.8	1400	32.4	29.3	30.5
340	-15.7	-17.7	-15.9	1450	33.9	30.7	31.9
350	-14.9	-16.9	-15.1	1500	35.3	32.0	33.2
360	-14.1	-16.1	-14.4	1550	36.7	33.3	34.5
370	-13.3	-15.4	-13.6	1600	38.0	34.6	35.8
380	-12.5	-14.6	-12.8	1650	39.3	35.9	37.0
390	-11.8	-13.9	-12.1	1700	40.6	37.1	38.2
400	-11.0	-13.1	-11.4	1750	41.8	38.3	39.4
410	-10.3	-12.4	-10.7	1800	43.1	39.5	40.6
420	-9.6	-11.7	-10.0	1850	44.3	40.7	41.7
430	-8.9	-11.0	-9.0	1900	45.5	41.8	42.8
440	-8.2	-10.3	-8.6	1950	46.6	42.9	43.9
450	-7.5	-9.7	-8.0	2000	47.8	44.0	45.0
460	-6.9	-9.0	-7.3	2050	48.9	45.1	46.1
470	-6.2	-8.4	-6.7	2100	50.0	46.1	47.1
480	-5.6	-7.7	-6.1	2150	51.1	47.1	48.1
490	-4.9	-7.1	-5.4	2200	52.1	48.2	49.1
500	-4.3	-6.5	-4.8	2250	53.2	49.2	50.1
510	-3.7	-5.9	-4.2	2300	54.2	50.1	51.1
520	-3.1	-5.3	-3.6	2350	55.2	51.1	52.0
530	-2.5	-4.7	-3.1	2400	56.2	52.0	53.0
540	-1.9	-4.1	-2.5	2450	57.1	53.0	53.9
550	-1.3	-3.6	-1.9	2500	58.1	53.9	54.8
560	-0.7	-3.0	-1.4	2550	59.1	54.8	55.7
570	-0.2	-2.4	-0.8	2600	60.0	55.7	56.6
580	0.4	-1.9	0.3	2650	60.9	56.6	57.4
590	0.9	-1.3	0.3	2700	61.8	57.5	58.3
600	1.5	-0.8	0.8	2750	62.7	58.3	59.1
610	2.0	-0.3	1.3	2800	63.6	59.2	60.0
620	2.6	0.2	1.8	2850	64.4	60.0	60.8
630	3.1	0.8	2.3	2900	65.3	60.8	61.6
640	3.6	1.3	2.8	2950	66.1	61.6	62.4
650	4.1	1.8	3.3	3000	66.9	62.4	63.2
660	4.6	2.3	3.8	3050	67.8	63.2	64.0
670	5.1	2.8	4.3	3100	68.6	64.0	64.7
680	5.6	3.3	4.8	3150	69.4	64.8	65.5
690	6.1	3.7	5.3	3200	70.1	65.6	66.2
700	6.6	4.2	5.7	3250	70.9	66.3	67.0
710	7.1	4.7	6.2	3300	71.7	67.0	67.7
720	7.6	5.1	6.7	3350	72.4	67.8	68.4
730	8.0	5.6	7.1	3400	73.2	68.5	69.2
740	8.5	6.1	7.6	3450	73.9	69.3	69.9
750	9.0	6.5	8.0	3500	74.6	70.0	70.6

Nota: Temperatura de Líquido Saturado = Punto de Burbuja
 Temperatura de Vapor Saturado = Punto de Rocío

Tabla 13
Propiedades Físicas y Composición de los Refrigerantes Marca Suva® de DuPont

	Unit	R-12	MP39 (R-401A)	MP66 (R-401B)	409A (R-409A)	R-500	R-502	HP80 (R-402A)	HP81 (R-402B)	408A (R-408A)
Propiedad										
Punto de ebullición, 1 atm	°F	-22	-27	-30	-30	-28	-50.1	-56.5	-53.2	-46.3
	°C	-30	-33	-34	-34	-33	-46	-49	-47	-44
Densidad, Líquido Saturado a 77°F (25°C)	lb/ft ³	81.8	74.5	74.5	76.1	72.2	75.9	71.9	72.1	66.2
	kg/m ³	1309.6	1192.7	1192.7	1218.4	1155.9	1215.2	1151.1	1154.3	1059.9
Densidad, Vapor Saturado a 77°F (25°C)	lb/ft ³	2.32	1.81	1.92	1.86	2.29	4.16	1.24	1.05	3.63
	kg/m ³	37.1	29.0	30.7	29.8	36.7	66.6	19.9	16.8	58.1
Presión de Vapor Líquido Saturado a 77°F (25°C)	psia	95	112	119	118	112	168	194	182	170
	kpa	656	773	821	814	773	1159	1339	1256	1173
Desgaste potencial de ozono vs. R-12	R-12 = 1	1	0.03	0.035	0.05	0.7	0.307	0.02	0.03	0.026
	R11 = 1	3	0.22	0.24	0.3	2	4.1	0.63	0.52	0.75
Composición, % en peso										
R-12		100				74				
R-22			53	61	60		49	38	60	47
R-115							51			
R-124			34	28	25					
R-125								60	38	7
R-142b					15					
R-143a										46
R-152a			13	11		26				
R-290								2	2	

Para mayores informes comunicarse al Centro Electrónico de Atención a Clientes DuPont
 Tel. 5 36 30 80 (D.F.) y 01 800 849 7514 desde el interior de la República o visítenos en Internet www.dupont/suva.
 Suva® Marca Registrada por E. I. du Pont de Nemours and Company para sus refrigerantes

La información aquí contenida está basada en pruebas y datos técnicos que creemos confiables y está destinada para que la usen personas que tengan habilidades técnicas, a su entera discreción y riesgo. Como las condiciones de uso quedan fuera del control de DuPont, no podemos asumir responsabilidad alguna por los resultados o daños producidos mediante la aplicación de los datos presentados.



Suva®

Sólo por DuPont



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

LINEAMIENTOS PARA EL REACONDICIONAMIENTO DE EQUIPOS

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

DuPont[®] Suva[®]

refrigerantes

ART. 5

Lineamientos para el reacondicionamiento de equipos con DuPont[®] Suva[®] MP39, DuPont[®] Suva[®] MP66 y DuPont[®] Suva[®] 409A

DuPont ha desarrollado los refrigerantes marca DuPont[®] Suva[®] como alternativas para el R-12 en refrigeración y aire acondicionado. Estos refrigerantes tienen la tarea de reemplazar el R-12 en equipo existente de refrigeración. DuPont[®] Suva[®] Mp66 es también un excelente reemplazo para aplicaciones con R-500.

Los productos DuPont[®] Suva[®] MP39 y DuPont[®] Suva[®] MP66 contienen tres componentes HCFC-22, HFC-152a y HCFC-124. La tabla muestra sus composiciones.

Composición de los refrigerantes MP % peso

	HCFC-22	HCF-152a	HCFC-124
DuPont [®] Suva [®] Mp39 (R-401A)	53	13	34
DuPont [®] Suva [®] Mp39 (R-401A)	61	11	28

DuPont[®] Suva[®] 409A contiene tres componentes, como se muestra en la tabla.

Composición de DuPont[®] Suva[®] 409 % peso

	HCFC-22	HCF-142b	HCFC-124
DuPont [®] Suva [®] 409A (R-409A)	60	15	25

Estos refrigerantes ofrecen propiedades ambientales mejoradas en comparación con el CFC-12, con un potencial de agotamiento de ozono y un potencial del sobrecalentamiento de la tierra significativamente más bajos.

(Consulte el boletín de seguridad de DuPont AS-3 para obtener información más detallada acerca de las propiedades y las características de rendimiento de los refrigerantes alternos Mp39, Mp66 y 409A.)

Consulte las hojas de datos de seguridad del material (MSDS) para obtener información de seguridad respecto al uso del MP39, MP66 y 409A.

Las mezclas MP, 409A y lubricante de alquilbenceno son compatibles con la mayoría de los materiales de construcción comúnmente utilizados en los sistemas con CFC's. La composición de cada mezcla ha sido seleccionada para proporcionar un rendimiento comparable con el CFC-12 para aplicaciones específicas, en términos tanto de capacidad como de eficiencia de energía.

Como resultado, las modificaciones mínimas del sistema son anticipadas cuando se reacondicionan los sistemas con CFC-12a MP39, MP66 y 409A. El MP39, MP66 y 409A son miscibles con lubricantes de alquilbenceno, los cuales actualmente están en uso comercial con CFC-12 en algunos sistemas de refrigeración.

Otros refrigerantes alternos, como HCFC-22 o HFC-134a, pudieran requerir mayores modificaciones dentro del sistema (como por ejemplo: reemplazo del compresor, etc.) Al ser reacondicionado el sistema actualmente con CFC-12, lo cual pudiera resultar Costoso.

El uso de los refrigerantes alternos DuPont[®] Suva[®] MP39, DuPont[®] Suva[®] MP66 y DuPont[®] Suva[®] 409A proporcionan una solución de menor cost para reacondicionar los sistemas con CFC-12 existentes. Dichos refrigerantes alternos estarán disponibles para dar servicio al equipo durante el resto de su vida útil.

SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE

DuPont[®] Suva[®] MP39 y DuPont[®] Suva[®] 409A son los refrigerantes alternos recomendados para la mayoría de los sistemas con CFC-12 de temperatura media. Con DuPont[®] Suva[®] MP39 y DuPont[®] Suva[®] 409, se espera un rendimiento comparable al del CFC-12 en los sistemas que operan con temperatura del evaporador de -23°C a 7°C (-10°F a 45°F), haciéndolo adecuado para emplearlo en aplicaciones tales como:

- Cámaras de refrigeración
- Conservadores de alimentos y lácteos
- Máquinas despachadoras
- Máquinas enfriadoras de bebidas
- Refrigeradores caseros

DuPont[®] Suva[®] Mp66 proporciona una capacidad comparable con la del CFC-12 en los sistemas que operan con temperaturas del evaporador entre -40°C a -23°C (-40°F a -10°F) haciéndolo adecuado para emplearlo en los equipos de refrigeración para el transporte y congeladores domésticos y comerciales.

RESUMEN DEL PROCESO DE REACONDICIONAMIENTO

El reacondicionamiento de un sistema existente con CFC-12 a DuPont® Suva® MP39, DuPont® Suva® MP66 y Suva® 409A puede realizarse efectuando prácticas de servicio y usando el equipo que comúnmente utilizan los contratistas de servicio en el campo. Los pasos clave dentro del Reacondicionamiento son los siguientes:

- Recuperar la carga del CFC-12 del sistema.
- Remover el aceite mineral del compresor y reemplazar con el lubricante de alquilbenceno.
- Reemplazar el filtro deshidratador con un deshidratador compatible con las mezclas MP y 409A.
- Carga el sistema con MP39, MP66 ó 409A.
- Arrancar el sistema y ajustar la carga y/o los controles para lograr la operación deseada.

Para la mayoría de los sistemas, el cambio de lubricante del compresor, el cambio de filtro deshidratador y, en los sistemas con válvulas de expansión, un posible ajuste en la posición de sobrecalentamiento, serán las únicas modificaciones del sistema requeridas en un reacondicionamiento con MP39, MP66 y 409A. Para los sistemas que todavía están bajo garantía, recomendamos ponerse en contacto con los fabricantes del equipo o del compresor antes de realizar el reacondicionamiento concerniente a los términos de la garantía, ya que algunas garantías del equipo o el compresor pueden ser impactadas por un cambio del refrigerante originalmente especificado para el sistema o compresor.

PROCEDIMIENTO DE REACONDICIONAMIENTO

A continuación se presenta una descripción más detallada sobre el procedimiento recomendado para reacondicionar un sistema de CFC-12 con DuPont® Suva® MP39, DuPont® Suva® MP66, y DuPont® Suva® 409A.

- 1. Establezca en base de datos, el desempeño de su equipo con CFC-12:** Para contratistas de servicio que realizan sus trabajos de reacondicionamiento inicial con las mezclas MP y 409A, se recomienda que se recolecte la información sobre el rendimiento del sistema con CFC-12, con el objeto de establecer las condiciones normales de operación para el equipo. Esta información de temperaturas y presiones a varios puntos en el sistema (evaporador, condensador, succión y descarga del compresor, dispositivo de expansión, etc.) a temperaturas específicas de operación y condiciones ambientales, puede ser útil cuando se optimize el sistema con DuPont® Suva® MP39, DuPont® Suva® MP66 y DuPont® Suva® 409A.
- 2. Remover el CFC del sistema a un cilindro de recuperación:** El CFC-12 deberá ser removido del sistema y recolectado en un cilindro con un dispositivo de recuperación capaz de extraer 10-20 pulgadas de Hg al vacío (34-67 kPa). Si no se sabe el volumen de carga de CFC-12 recomendado para el sistema, pese a la cantidad de refrigerante removido si es posible, de esta manera la cantidad inicial de la mezcla MP o 409A cargada en el sistema se determinará de esta cifra.

- 3. Drene el lubricante del compresor:** La mayoría de los compresores con CFC-12 usan un lubricante de aceite mineral. A fin de proporcionar la misma miscibilidad que el CFC-12/aceite mineral, se debe usar un lubricante de alquilbenceno con DuPont® Suva® MP39, DuPont® Suva® MP66 y DuPont® Suva® 409A.

Por lo tanto, debe reemplazarse el aceite mineral en el compresor. El drenaje del lubricante del compresor puede requerir la remoción del sistema, particularmente con compresores pequeños herméticos que no tienen drenaje de aceite.

En este caso, el lubricante puede ser drenado de la línea de succión del compresor. En la mayoría de los sistemas pequeños, del 90 - 95% del lubricante puede ser removido del compresor de esta manera.

Los sistemas más grandes pueden requerir el drenaje desde puntos adicionales en el sistema, particularmente lugares bajos alrededor del evaporador, para remover la mayoría del lubricante.

En sistemas que cuentan con un acumulador de aceite, también debe drenarse cualquier lubricante presente en él.

Mida la cantidad de lubricante removido del compresor y compare con las especificaciones de compresor/sistema para asegurarse de que se ha removido la mayoría del lubricante del sistema.

Anote la cantidad de lubricante removido, ya que la necesitará en el próximo paso.

- 4. Cargue el lubricante alquilbenceno en el compresor:**

Cargue el compresor con lubricante alquilbenceno usando el mismo volumen que el del lubricante de aceite mineral removido en el paso 3. Utilice una viscosidad del alquilbenceno similar a la del aceite mineral usado en el sistema (150SUS ó 32cSt es típico para sistemas con CFC-12 de temperatura media

- 5. Reinstale el compresor:** Use las prácticas de servicio normal.

- 6. Reemplace el filtro deshidratador:** Es una práctica de rutina reemplazar el filtro deshidratador después del mantenimiento del sistema. Existen dos tipos de filtros deshidratadores que comúnmente se utilizan en los equipos con CFC-12 de temperatura media:

- 1) deshidratadores de relleno suelto, que contiene sólo el desecante de malla molecular u otro tipo, y

sólo el desecante de malla molecular u otro tipo, y

- 2) deshidratadores de centro sólido (piedra), en los cuales el desecante de malla molecular se dispersa dentro de un aglutinante de centro sólido.

El desecante de la malla molecular XH-9 (fabricado por UOP) es recomendado para su uso en deshidratadores de relleno suelto con DuPont® Suva® Mp39, DuPont® Suva® Mp66 y DuPont® Suva® 409A.

El MP39 y MP66 no son compatibles con los desecantes XH-5 o XH-6 comúnmente encontrados en deshidratadores de relleno suelto en los sistemas con CFC-12. Para los deshidratadores de centro sólido, verifique con su fabricante el uso recomendado para DuPont® Suva® MP39, DuPont® Suva® MP66 y Suva® 409A. Algunos modelos existentes de deshidratadores de centro sólido (por ejemplo, el filtro deshidratador "Catch All" de sporlan) son compatibles con DuPont® Suva® Mp39, DuPont® Suva® MP66 y DuPont® Suva® 409A.

7. **Vuelva a conectar el sistema y evacúe:** Emplee prácticas de servicio normal. Para remover el aire u otro elemento no condensable en el sistema, se recomienda que el sistema sea evacuado al vacío total (30 pulgadas de Hg al vacío/o kPa).
8. **Sistema de verificación de fugas:** Emplee prácticas de servicio normal. Vuelva a evacuar el sistema después de la verificación de fugas.
9. **Cargue el sistema con DuPont® Suva® MP39, DuPont® Suva® MP66 y DuPont® Suva® 409A:** Los refrigerantes MP39, MP66 y 409A son mezclas casi azeotrópicas.

Para asegurarse de que la composición adecuada de la mezcla es cargada en el sistema, es importante que sólo se remueva el líquido del cilindro.

La posición correcta se indica con flechas en el cilindro y en la caja del cilindro. Una vez removida la fase líquida del cilindro, se puede cargar el refrigerante MP39, MP66 y 409A en fase vapor al sistema mientras el vapor de todo el refrigerante removido es transferido al sistema. Nunca debe cargarse el refrigerante como un líquido en la línea de succión del compresor, ya que esto puede dañar el compresor. Se debe usar una válvula de estrangulación para controlar el flujo de refrigerante al lado de la succión para asegurarse de que el líquido es convertido en vapor antes de entrar al sistema.

El sistema de refrigeración requerirá un volumen de carga más pequeño con MP39, MP66 y 409A que con CFC-12. La carga óptima variará dependiendo de las condiciones de operación, tamaño del evaporador y condensador, tamaño del recipiente (si existe) y longitud de la tubería del sistema. Para muchos sistemas, la carga óptima será del 75-90% en peso de la carga original de CFC-12. Se recomienda que el sistema sea cargado inicialmente con el 70-5% en peso de la carga original de CFC-12. Por ejemplo, si la carga original de CFC-12 fue de 10 onzas, cargue inicialmente 7-7.5 onzas de

MP39, MP66 o 409A: simplemente, si la carga original de CFC-12 fue de 300 gramos, cargue inicialmente 210-220 gramos de Mp39, MP66 o 409A.

Arranque el sistema y ajuste la carga:

10. Arranque el sistema y deje que se estabilicen las condiciones. Si se cargó menos el sistema, agregue más MP39, MP66 o 409A en incrementos de 3-5% en peso de la carga original de CFC-12. Por ejemplo, si la carga original fue de 10 onzas, cargue en incrementos de 0.5 onzas; similarmente, si la carga original fue de 300 gramos, cargue en incrementos de 10 gramos. Continúe hasta lograr las condiciones deseadas de operación. Cuando el sistema esté estabilizado las presiones de succión del compresor para las mezclas MP y 409A serán alrededor de 1 psi (6-7 kPa) de operación normal del sistema con CFC-12 para la mayoría de las aplicaciones de temperatura media.
11. Las presiones de descarga del compresor serán típicamente alrededor de 10-20 psi (70-140kPa) más altas que la operación normal del sistema con CFC-12. Las mezclas MP y el 409A son más sensibles al volumen de carga que las del CFC-12. Por lo tanto, el rendimiento del sistema cambiará más rápidamente si el sistema es sobrecargado (o menos cargado) con las mezclas MP y 409A.

Nota: Muchos sistemas de tipo remoto tienen indicador de nivel en la tubería de líquidos cerca del condensador. Es mejor que cargue su sistema midiendo las condiciones de operación (presiones de descarga y succión, temperatura de la línea de succión, amperaje del compresor, sobrecalentamiento, etc.) primero, antes de usar el indicador de nivel en la tubería de líquidos como una guía. Esto puede evitar una sobrecarga.

Etiquete los componentes y el sistema: Después de reacondicionar el sistema con MP39, MP66 o 409A, etiquete los componentes del sistema para identificar el tipo de refrigerante (DuPont® Suva® MP39, DuPont® Suva® MP66 y DuPont® Suva® 409A) y el lubricante (alquilbenceno) en el sistema, con el fin de asegurar que se usarán el refrigerante y lubricante correctos para dar servicio al equipo en el futuro.

SUMARIO

Con la eliminación de los CFC's, el equipo de refrigeración existente necesitará ser reemplazado con nuevo equipo o reacondicionado para permitir que se use con refrigerantes alternos. Utilizando el procedimiento descrito anteriormente, los sistemas de refrigeración con CFC-12 actuales pueden ser reacondicionados para su uso con DuPont® Suva® Mp39, DuPont® Suva® Mp66 y DuPont® Suva® 409A, permitiendo que continúen en servicio durante el resto de su vida útil.

Se adjunta una lista de verificación para reacondicionamiento, una hoja de datos del sistema y las tablas de presión-temperatura para MP39, MP66 y 409A que le ayudarán en el proceso de reacondicionamiento.

LISTA DE VERIFICACION PARA REACONDICIONAMIENTO CON DuPont® Suva® MP39, DuPont® Suva® MP66 y DuPont® Suva® 409A

- _____ 1. Establezca el rendimiento del equipo con CFC-12. (Ver hoja de datos para recomendaciones de datos).
- _____ 2. Remueva la carga de CFC-12 del sistema.
(Necesita 10-20 pulgadas de mercurio al vacío (34-67 kPa) para remover la carga).
 - Use el cilindro de recuperación/no ventear el CFC-12 a la atmósfera.
 - Pese la cantidad removida (si es posible): _____
- _____ 3. Drene la carga de lubricante del compresor
 - Remueva el 90-95% de lubricante del compresor
 - Mida la cantidad removida: _____
- _____ 4. Cargue el lubricante alquilbenceno.
 - Vuelva a cargar con la cantidad equivalente a la removida en el paso 3.
- _____ 5. Vuelva a instalar el compresor
- _____ 6. Reemplace el filtro deshidratador con el nuevo deshidratador aprobado para uso con mezclas de DuPont® Suva® MP y DuPont® Suva® 409A.
 - Deshidratador de relleno suelto: use desecante XH9
 - Deshidratador de centro sólido (piedra)Verifique con el fabricante para recomendaciones
- _____ 7. Vuelva a conectar el sistema y evacue con la bomba de vacío (evacue el vacío total [30 pulgadas de mercurio al vacío / o kPa])
- _____ 8. Sistema de verificación de fugas. (vuelva a evacuar el sistema después de la verificación de fugas).
- _____ 9. Cargue el sistema con DuPont® Suva® MP39, DuPont® Suva® MP66 o DuPont® Suva® 409A.
 - Remueva solamente el líquido del cilindro
 - Cargue inicialmente el 70-75% en peso de la carga adicional de CFC12
 - Cantidad de refrigerante cargado: _____
- _____ 10. Arranque el equipo y ajuste la carga hasta lograr las condiciones deseadas de operación.
 - Remueva solamente el líquido del cilindro.
 - Si está bajo en carga, agregue en incrementos de 3-5% de la carga original CFC-12
 - Cantidad de refrigerante cargado: _____Carga total de refrigerante (agregue 9 y 10) _____
- _____ 11. Etiquete los componentes y el sistema con el tipo de refrigerantes (DuPont® Suva® Mp39, DuPont® Suva® MP66 o DuPont® Suva® 409A) y lubricante (alquilbenceno).
- _____ 12. ¡ El reacondicionamiento está completo !

HOJA DE DATOS DEL SISTEMA

Tipo de sistema/lugar: _____

Fabricante del equipo: _____ Fabricación del compresor: _____

No. de modelo: _____ No. de modelo: _____

No. de serie: _____ No. de serie: _____

Volumen de carga de CFC-12: _____ Tipo de lubricante: _____

Fabricación del deshidratador: _____ Volumen de carga: _____

No. de modelo: _____ Tipo de deshidratador (marcar uno): _____

Relleno suelto: _____

Centro sólido: _____

Medio de enfriamiento del condensador (aire/agua): _____

Dispositivo de expansión (marcar uno): _____

Tubo capilar: _____

Válvula de expansión: _____

Si es válvula de expansión:

Fabricante: _____

No. de modelo: _____

Control/punto de ajuste: _____

Lugar de sensor: _____

Otros controles del sistema (por ejemplo, control principal de presión). Describe: _____

(Circule las unidades usadas donde sea aplicable)

Fecha/hora				
Refrigerante				
Volumen de carga (libras, oz/gramos)				
Temperatura ambiente (°F/°C)				
Humedad relativa				
Compresor:				
Temperatura de succión (°F/°C)				
Presión de succión (psig, psia/kPa)				
Temperatura de descarga (°F/°C)				
Presión de descarga (psig, psia/kPa)				
Temperatura del evaporador (°F/°C)				
Evaporador:				
Temp. de admisión del refrigerante (°F/°C)				
Temp. de salida del refrigerante (°F/°C)				
Temp. de entradas del aire del serpentín/H2O (°F/°C)				
Temp. de salida el aire del serpentín/H2O (°F/°C)				
Temp. del refrigerante a punto de control del sobrecalentamiento (°F/°C)				
Condensador:				
Temperatura de entrada del refrigerante (°F/°C)				
Temp. de salida del refrigerante (°F/°C)				
Temp. de entrada del aire del serpentín/H2O (°F/°C)				
Temp. de salida del aire del serpentín/H2O (°F/°C)				
Temp. de entrada del dispositivo de exp. (°F/°C)				
Amperaje del motor				
Tiempo de corrida/ciclo				

Comentarios:

TABLA 1
Tabla de Presión - Temperatura
Vapor saturado DuPont® Suva® MP39
(Unidades de ingeniería)

Sistema inglés Presión (psig)	Temperatura del vapor Sat. DuPont® Suva® MP39 (°F) ⁽¹⁾
15*	-42
10*	-31
5*	-23
0	-16
5	-4
10	6
15	14
20	22
25	28
30	34
35	40
40	45
45	50
50	54
55	58
60	62
65	66
70	69
75	73
80	76
85	79
90	82
95	85
100	88
110	94
120	99
130	104
140	108
150	112
165	119
180	124
195	130
210	135
225	140
240	145
255	149
270	153
285	157
300	161

* Pulgadas de mercurio vacío.

⁽¹⁾ Temperatura del vapor saturado (punto de condensación) - La temperatura (a una presión determinada) a la cual ha hervido la última gota de MP39 líquido. También es la temperatura (a una presión determinada) cuando comienza la condensación. Arriba de esta temperatura (a la misma presión), el refrigerante es vapor sobrecalentado.

NOTA: Para MP39, la temperatura media del evaporador cuando ocurre un cambio de estado es aproximadamente de 4°F abajo de la temperatura del vapor saturado. Por ejemplo, a una temperatura de vapor saturado de 10°F, la temperatura media del evaporador es aproximadamente de 6°F.

TABLA 2
Tabla de Presión - Temperatura
Vapor saturado DuPont® Suva® MP39
(Unidades SI [sistema métrico internacional])

Sistema inglés Presión (psig)	Temperatura del vapor Sat. DuPont® Suva® MP39 (°C) ⁽¹⁾
25	-53.5
50	-41.0
75	-33.0
100	-27.0
125	-22.0
150	-17.5
175	-14.0
200	-10.5
225	-7.5
250	-4.5
275	-2.0
300	0.5
325	3.0
350	5.0
375	7.0
400	9.0
450	12.5
500	16.0
550	19.0
600	22.0
650	24.5
700	27.0
750	29.5
800	31.5
900	36.0
1000	40.0
1200	47.0
1400	53.0
1600	58.5
1800	63.5
2000	68.0
2200	72.5
2400	76.5
2600	80.0

* Pulgadas de mercurio vacío.

⁽¹⁾ Temperatura del vapor saturado (punto de condensación) - La temperatura (a una presión determinada) a la cual ha hervido la última gota de MP39 líquido. También es la temperatura (a una presión determinada) cuando comienza la condensación. Arriba de esta temperatura (a la misma presión), el refrigerante es vapor sobrecalentado.

NOTA: Para MP39, la temperatura media del evaporador es aproximadamente de 2°C abajo de la temperatura del vapor saturado. Por ejemplo, a una temperatura de vapor saturado de -10°C, la temperatura media del evaporador es aproximadamente de -12°C.

TABLA 3 .
Tabla de Presión - Temperatura
Vapor saturado DuPont® Suva® MP66
(Unidades ingeniería) sistema inglés

Presión (kPa)	Temperatura del vapor Sat. MP66 (°F) ⁽¹⁾
15*	-45
10*	-35
5*	-26
0	-19
5	-7
10	3
15	11
20	18
25	25
30	31
35	36
40	41
45	46
50	50
55	54
60	58
65	62
70	66
75	69
80	72
85	75
90	78
95	81
100	84
110	89
120	94
130	99
140	104
150	108
165	114
180	120
195	125
210	130
225	135
240	140
255	144
270	148
285	153
300	157

* Pulgadas de mercurio vacío.

⁽¹⁾ Temperatura del vapor saturado (punto de condensación) - La temperatura (a una presión determinada) a la cual ha hervido la última gota de MP66 líquido. También es la temperatura (a una presión determinada) cuando comienza la condensación. Arriba de esta temperatura (a la misma presión), el refrigerante es vapor sobrecalentado.

NOTA: Para MP66, la temperatura media del evaporador es aproximadamente de 4°C abajo de la temperatura del vapor saturado. Por ejemplo, a una temperatura de vapor saturado de 10°F, la temperatura media del evaporador es aproximadamente de 6°F.

TABLA 4
Tabla de Presión - Temperatura
Vapor saturado DuPont® Suva® MP66
(Unidades SI [sistema métrico internacional])

Presión (kPa)	Temperatura del vapor Sat. DuPont® Suva® MP66 (°C) ⁽¹⁾
50	-43.0
75	-35.0
100	-28.5
125	-23.5
150	-19.5
175	-15.5
200	-12.5
225	-9.5
250	-6.5
275	-4.0
300	-1.5
325	0.5
350	3.0
375	5.0
400	7.0
450	10.5
500	13.5
550	16.5
600	19.5
650	22.0
700	24.5
750	27.0
800	29.5
900	33.5
1000	37.5
1200	44.5
1400	50.5
1600	56.0
1800	61.0
2000	65.5
2200	70.0
2400	74.0
2600	77.5

* Pulgadas de mercurio vacío.

⁽¹⁾ Temperatura del vapor saturado (punto de condensación) - La temperatura (a una presión determinada) a la cual ha hervido la última gota de MP66 líquido. También es la temperatura (a una presión determinada) cuando comienza la condensación. Arriba de esta temperatura (a la misma presión), el refrigerante es vapor sobrecalentado.

NOTA: Para MP66, la temperatura media del evaporador es aproximadamente de 2°C abajo de la temperatura del vapor saturado. Por ejemplo, a una temperatura de vapor saturado de -10°C, la temperatura media del evaporador es aproximadamente de -12°C.

TABLA 5
Gráfica de Presión - Temperatura (Unidades SI)
Refrigerante marca DuPont® Suva® 409A® (kPa/°C)

Presión kPa	R-12 Sat. Temp., °C	DuPont® Suva® 409A Líquido Sat. Temp., °C	DuPont® Suva® 409A Vapor Sat. Temp., °C	DuPont® Suva® 409A Prom. Serp Temp., °C
10	-73.1	-76.1	-67.3	-71.7
20	-62.1	-65.5	-56.8	-62.1
30	-55.0	-58.6	-50.1	-54.4
40	-49.6	-53.4	-44.9	-49.2
50	-45.2	-49.2	-40.8	-45.0
60	-41.4	-45.6	-37.2	-41.4
70	-38.1	-42.5	-34.1	-38.3
80	-35.2	-39.7	-31.3	-35.5
90	-32.5	-37.1	-28.8	-33.0
100	-30.1	-34.8	-26.5	-30.7
110	-27.8	-32.7	-24.4	-28.6
120	-25.7	-30.7	-22.4	-26.6
130	-23.8	-28.8	-20.6	-24.7
140	-21.9	-27.0	-18.8	-22.9
150	-20.1	-25.4	-17.2	-21.3
160	-18.5	-23.8	-15.6	-19.7
170	-16.9	-22.3	-14.1	-18.2
180	-15.4	-20.8	-12.7	-16.8
190	-13.9	-19.4	-11.4	-15.4
200	-12.5	-18.1	-10.0	-14.1
210	-11.2	-16.8	-8.8	-12.8
220	-9.9	-15.6	-7.6	-11.6
230	-8.6	-14.4	-6.4	-10.4
240	-7.4	-13.3	-5.3	-9.3
250	-6.2	-12.1	-4.2	-8.2
260	-5.1	-11.1	-3.1	-7.1
270	-4.0	-10.0	-2.1	-6.1
280	-2.9	-9.0	-1.1	-5.1
290	-1.9	-8.0	-0.1	-4.1
300	-0.8	-7.0	0.8	-3.1
310	0.2	-6.1	1.8	-2.2
320	1.1	-5.2	2.7	-1.3
330	2.1	-4.3	3.6	-0.4
340	3.0	-3.4	4.4	0.5
350	3.9	-2.5	5.3	1.4
360	4.8	-1.7	6.1	2.2
370	5.7	-0.9	6.9	3.0
380	6.5	-0.1	7.7	3.8
390	7.4	0.7	8.5	4.6
400	8.2	1.5	9.2	5.4
410	9.0	2.3	10.0	6.2
420	9.8	3.0	10.7	6.9
430	10.5	3.8	11.4	7.6
440	11.3	4.5	12.1	8.3
450	12.1	5.2	12.8	9.0
460	12.8	5.9	13.5	9.7
470	13.5	6.6	14.2	10.4
480	14.2	7.2	14.8	11.0
490	14.9	7.9	15.5	11.7
500	15.6	8.6	16.1	12.4
510	16.3	9.2	16.7	13.0
520	17.0	9.8	17.4	13.6
530	17.6	10.5	18.0	14.3
540	18.3	11.1	18.6	14.9
550	18.9	11.7	19.2	15.5
560	19.6	12.3	19.8	16.1
570	20.2	12.9	20.3	16.6
580	20.8	13.5	20.9	17.2
590	21.4	14.0	21.5	17.8
600	22.0	14.6	22.0	18.3
610	22.6	15.2	22.6	18.9
620	23.2	15.7	23.1	19.4
630	23.8	16.3	23.7	20.0
640	24.4	16.8	24.2	20.5
650	24.9	17.4	24.7	21.1
660	25.5	17.9	25.2	21.6
670	26.0	18.4	25.7	22.1
680	26.6	18.9	26.2	22.6
690	27.1	19.5	26.7	23.1
700	27.7	20.0	27.2	23.6
710	28.2	20.5	27.7	24.1
720	28.7	21.0	28.2	24.6
730	29.3	21.5	28.7	25.1
740	29.8	22.0	29.2	25.6
750	30.3	22.4	29.6	26.0

Presión kPa,	R-12 Sat. Temp., °C	DuPont® Suva® 409A Líquido Sat. Temp., °C	DuPont® Suva® 409A Vapor Sat. Temp., °C	DuPont® Suva® 409A Prom. Serp Temp., °C
760	30.8	22.9	30.1	26.5
770	31.3	23.4	30.6	27.0
780	31.8	23.9	31.0	27.5
790	32.3	24.3	31.5	27.9
800	32.8	24.8	31.9	28.4
810	33.2	25.2	32.4	28.8
820	33.7	25.7	32.8	29.3
830	34.2	26.1	33.2	29.7
840	34.7	26.6	33.7	30.2
850	35.1	27.0	34.1	30.6
860	35.6	27.5	34.5	31.0
870	36.0	27.9	34.9	31.4
880	36.5	28.3	35.4	31.9
890	36.9	28.7	35.8	32.3
900	37.4	29.2	36.2	32.7
910	37.8	29.6	36.6	33.1
920	38.3	30.0	37.0	33.5
930	38.7	30.4	37.4	33.9
940	39.1	30.8	37.8	34.3
950	39.6	31.2	38.2	34.7
960	40.0	31.6	38.6	34.2
970	40.4	32.0	39.0	35.5
980	40.8	32.4	39.3	35.9
990	41.3	32.8	39.7	36.3
1000	41.7	33.2	40.1	36.7
1050	43.7	35.1	42.0	38.6
1100	45.6	37.0	43.7	40.4
1150	47.5	38.8	45.5	42.2
1200	49.3	40.5	47.1	43.8
1250	51.1	42.2	48.8	45.5
1300	52.8	43.8	50.3	47.1
1350	54.5	45.4	51.9	48.7
1400	56.1	46.9	53.3	50.1
1450	57.7	48.4	54.8	51.6
1500	59.2	49.9	56.2	53.1
1550	60.7	51.3	57.6	54.5
1600	62.2	52.7	58.9	55.8
1650	63.6	54.1	60.2	57.2
1700	65.1	55.4	61.5	58.5
1750	66.4	56.7	62.7	59.7
1800	67.8	58.0	64.0	61.0
1850	69.1	59.3	65.2	62.3
1900	70.4	60.5	66.3	63.4
1950	71.7	61.7	67.5	64.6
2000	72.9	62.9	68.6	65.8
2050	74.1	64.0	69.7	66.9
2100	75.3	65.2	70.8	68.0
2150	76.5	66.3	71.9	69.1
2200	77.7	67.4	72.9	70.2
2250	78.8	68.5	73.9	71.2
2300	79.9	69.6	75.0	72.3
2350	81.0	70.6	75.9	73.3
2400	82.1	71.7	76.9	74.3
2450	83.2	72.7	77.9	75.3
2500	84.2	73.7	78.8	76.3
2550	85.3	74.7	79.8	77.3
2600	86.3	75.7	80.7	78.2
2650	87.3	76.6	81.6	79.1
2700	88.3	77.6	82.5	80.1
2750	89.3	78.5	83.4	81.0
2800	90.2	79.4	84.2	81.8
2850	91.2	80.4	85.1	82.8
2900	92.1	81.3	85.9	84.1
2950	93.1	82.1	86.7	84.4
3000	94.0	83.0	87.6	85.2
3050	94.9	83.9	88.4	86.2
3100	95.8	84.8	89.2	87.0
3150	96.7	85.6	89.9	87.8
3200	97.6	86.4	90.7	88.6
3250	98.4	87.3	91.5	89.4
3300	99.3	88.1	92.2	90.2
3350	100.1	88.9	93.0	91.0
3400	101.0	89.7	93.7	91.7
3450	101.8	90.5	94.4	92.5
3500	102.6	91.3	95.1	93.2

Nota: Temperatura de líquido saturado = Punto de burbuja
 Temperatura de vapor saturado = Punto de rocío

TABLA 6
Gráfica de Presión - Temperatura (Unidades inglesas)
Refrigerante marca DuPont® Suva® 409A® (psi/°F)

Presión kPa	R-12 Sat. Temp., °C	DuPont® Suva® 409A Líquido Sat. Temp., °C	DuPont® Suva® 409A Vapor Sat. Temp., °C	DuPont® Suva® 409A Prom Serp. Temp., °C
20	-63	-70	-55	-61
15	-49	-56	-41	-49
10	-38	-46	-31	-39
5	-29	-37	-22	-30
0	-22	-30	-15	-23
2	-16	-25	-10	-18
4	-11	-20	-5	-13
6	-7	-16	-1	-9
8	-2	-12	3	-5
10	2	-8	7	0
12	5	-4	10	3
14	9	-1	13	6
16	12	2	17	10
18	15	5	20	13
20	18	8	22	15
22	21	11	25	18
24	24	13	28	21
26	27	16	30	23
28	29	18	33	26
30	32	21	35	28
32	34	23	37	30
34	37	25	39	32
36	39	27	41	34
38	41	30	43	37
40	43	32	45	39
42	45	33	47	40
44	47	35	49	42
46	49	37	51	44
48	51	39	53	46
50	53	41	55	48
55	58	45	59	52
60	62	49	63	56
65	66	53	66	60
70	70	57	70	64
75	74	60	73	67
80	77	64	77	71
85	81	66	80	73
90	84	70	83	77
95	87	73	86	80
100	90	76	89	83
105	93	79	92	86
110	96	81	94	88
115	99	84	97	90
120	102	87	99	93
125	104	89	102	96

Presión kPa	R-12 Sat. Temp., °C	DuPont® Suva® 409A Líquido Sat Temp., °C	DuPont® Suva® 409A Vapor Sat Temp., °C	DuPont® Suva® 409A Prom Serp Temp., °C
130	107	92	104	98
135	109	94	106	99
140	112	96	109	103
145	114	99	111	105
150	117	101	113	107
155	119	103	115	109
160	121	105	117	111
165	123	107	119	113
170	125	109	121	115
175	128	111	123	117
180	130	113	125	119
185	132	115	127	121
190	134	117	129	123
195	136	119	130	125
200	138	121	132	126
205	139	123	134	129
210	141	124	136	130
215	143	126	137	133
220	145	128	139	134
225	147	129	140	135
230	148	131	142	136
235	150	133	144	139
240	152	134	145	140
245	154	136	147	142
250	155	138	148	143
255	157	139	150	145
260	158	141	151	146
265	160	142	153	143
270	162	144	154	144
275	163	145	155	150
280	165	147	157	152
285	166	148	158	153
290	168	149	159	154
295	169	151	161	156
300	170	152	162	157
310	173	155	165	160
320	176	158	167	162
330	179	160	170	165
340	182	163	172	168
350	184	165	174	170
360	187	168	177	173
370	189	170	179	175
380	192	172	181	177
390	194	175	182	179
400	196	177	185	183

* inHg abajo de una atmósfera

Nota: Temperatura de líquido saturado = Punto de burbuja
 Temperatura de vapor saturado = Punto de rocío

¿Alguna duda y/o sugerencia?

Consulte a su distribuidor autorizado o llame al (CEAC) Centro Electrónico de Atención a Clientes de DuPont.
 D.F. 5722-1150; del Interior de la República Mexicana al 01 800 849 7514.

www.suva.com.mx
www.dupont.com.mx

DUPONT FLUOROQUIMICOS Homero 206 Col. Chapultepec Morales, 11570 México, D.F. Tels. 5722-1000, 5722-1179 Fax. 5722-1183

® es marca registrada por E.I. du Pont de Nemours and company



Los milagros de la ciencia®



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

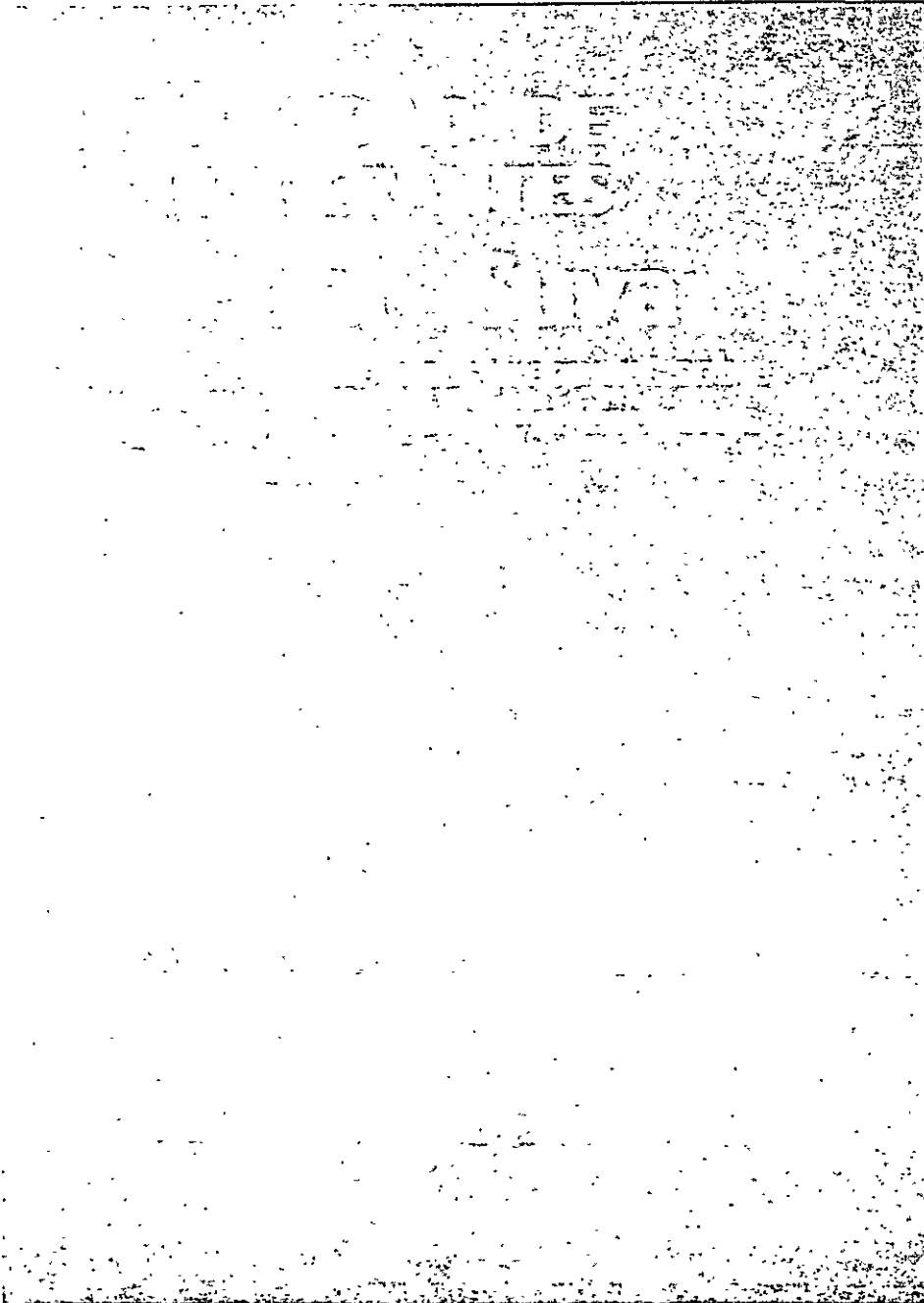
TEMA

SEGURIDAD DE REFRIGERANTES

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

DuPont[®] Suva[®]

refrigerantes



Los milagros de la ciencia[®]

¿QUÉ ES DuPont® Suva®?

DuPont® Suva® es la marca comercial de DuPont para su familia de refrigerantes con el medio ambiente amigables? que fueron desarrollados como alternativas efectivas y seguras para los refrigerantes CFC existentes.

DuPont® Suva® 123 es el refrigerante, que tiene el objetivo de reemplazar el CFC-11, DuPont® Suva® 124 es un posible sustituto del CFC-114 y por último, DuPont Suva 134a es una alternativa primaria para CFC-12. La tabla en la página 3 proporciona un rápido panorama de estos refrigerantes, incluyendo la fórmula química, el punto de ebullición e información del límite de exposición aceptable. (AEL).

INTRODUCCIÓN

Durante muchos años, se han utilizado los clorofluorocarbonos (CFC's) como refrigerantes, y aparentemente eran la opción ideal debido a sus combinaciones únicas.

Sin embargo, la excepcional estabilidad de estos compuestos, conjuntamente con su contenido de cloro, los ha relacionado con el agotamiento de la capa protectora de ozono de la tierra. Como resultado, muchas compañías, y DuPont, están desarrollando refrigerantes alternativos en base a compuestos de hidroclorofluorocarbono (HCFC) e hidrofliuorocarbono (HFC), que se denominan refrigerantes Dupont® SUVA® y sustituyen a los CFC'S.

Las pruebas han demostrado que los HCFC's y los HFC's exhiben propiedades y características de rendimiento similares a los CFC's, pero con un impacto ambiental enormemente reducido. Ofrecen una toxicidad aceptable, una esta-

bilidad en el uso, no son inflamables y presentan una baja reactividad fotoquímica.

Aunque no son sustitutos "directos", los refrigerantes a base de HCFC y HFC requieren cambios mínimos en el equipo.

(Para una descripción detallada, consultar los boletines DuPont). El Programa para Pruebas de Alternativas de Toxicidad de Fluorocarbonos (PAFT), un esfuerzo de investigación conjunto patrocinado por quince líderes de CFC's, actualmente está evaluando seis posibles productos alternativos: HFC-134a, HCFC-123, HCFC-141b, HCFC-124, HFC-125 y HCFC-225 ca/cb. El PAFT integra información toxicológica pasada y presente para realizar una evaluación cuidadosa de los riesgos de las alternativas propuestas. El PAFT I para HCFC-123 se encuentra bastante avanzado.

Los resultados a la fecha indican que no hay algo que impida su uso en áreas industriales generales, siempre que se observen las prácticas recomendadas de higiene y ventilación. Sin embargo, los datos también sugieren que el límite de exposición por inhalación en el trabajo para el HCFC-123 será mejor que el requerido para CFC-11. El PAFT II sobre HCFC-134a ya ha sido terminado, con excepción del estudio clínico. Todos los resultados disponibles muestran que el HCFC-134a será cuando menos tan seguro en su uso como el CFC-12.

El programa PAFT III sobre HCFC-124, inició a finales de 1989, y finalizó en 1994-1995. No se han reportado resultados toxicológicos adversos.

Este folleto responde preguntas comunes relacionadas con seguridad, describe síntomas y recomienda tratamientos para problemas que pueden resultar por el uso o manejo inadecuado de los refrigerantes DuPont® Suva®.

INFLAMABILIDAD

¿Son inflamables los refrigerantes DuPont® Suva®?

Los refrigerantes DuPont® Suva® no son inflamables y no son explosivos; sin embargo, las mezclas con gases inflamables o líquidos pueden convertirse en inflamables y deberán manejarse con precaución. También, los refrigerantes

DuPont® Suva® no deberán exponerse a flamas abiertas o elementos de calentamiento eléctrico.

DuPont® Suva® 134a no es inflamable a temperatura ambiente y presión atmosférica. Sin embargo DuPont® Suva® 134a ha mostrado en pruebas que es combustible a presiones tan bajas como 5.5 psig (a 177°C) cuando se mezcla con aire a concentraciones generalmente mayores a 60% en volumen del aire. A bajas temperaturas, se requieren mayores presiones para la combustibilidad. Los refrigerantes DuPont® Suva® no deben ser mezclados con el aire para pruebas de fugas. En general, no se debe permitir que estén presentes con altas concentraciones de aire arriba de la presión atmosférica.

TOXICIDAD / SOFOCACIÓN POR INHALACIÓN

¿ Son tóxicos los refrigerantes DuPont® Suva® ?

Los refrigerantes DuPont® Suva® no poseen peligro relativo de toxicidad general, carcinogenicidad, mutagenicidad o teratogenicidad al nivel AEL o menor.

¿ Qué es un AEL ?

Un AEL es un límite de exposición permitido para productos químicos establecidos por el comité AEL de DuPont para sustancias que aún no tienen un valor límite de umbral (Threshold Limit Value (TKV)) asignado por la Conferencia Americana Gubernamental de Higiene Industrial. Un AEL específica las concentraciones en el aire promedio en base al tiempo (TWA), las dosis o límites biológicos que no se deben exceder

así como los períodos de tiempo aplicables. Un AEL se establece para prevenir efectos sobre la salud derivados de exposiciones para turnos de trabajo completos (ocho horas o doce horas TWA). Las exposiciones cortas no deben exceder tres veces al AEL durante más de un total de 30 minutos durante un día de trabajo, siempre que no se exceda el TWA. Bajo ninguna circunstancia se debe exceder cinco veces el AEL.

¿Cuáles son los síntomas de la exposición por arriba del AEL?

La inhalación de altas concentraciones de vapores de refrigerantes DuPont® Suva® primero afectan el sistema nervioso central, crean efectos narcóticos o anestésicos. Los síntomas pueden incluir mareo, una sensación de intoxicación y una pérdida de la coordinación. La inhalación continua de grandes concentraciones de vapores DuPont® Suva® puede producir irregularidades cardíacas, pérdida de la conciencia y finalmente la muerte. Si usted experimenta cualquiera de los síntomas iniciales, salga al aire fresco y busque atención médica inmediatamente (la recuperación ocurre rápidamente con muy pequeños efectos posteriores). La ilustración de esta página muestra las fórmulas químicas de los refrigerantes DuPont® Suva® así como los puntos de ebullición y los AELs.

¿Qué es la sensibilización cardíaca?

Si usted inhala vapores por arriba del AEL, su corazón se puede sensibilizar a la adrenalina; y ocasionar irregularidades cardíacas y hasta paro cardíaco.

La probabilidad de estos problemas cardíacos aumenta si se encuentra bajo tensión física o emocional. Se debe proporcionar atención médica inmediatamente. No tratar con adrenalina (epinefrina) o estimulantes cardíacos similares. Estos tratamientos aumentarán el riesgo de arritmias cardíacas y paro cardíaco. Si la persona presenta dificultad al respirar, administre oxígeno. Si se detiene la respiración, dar artificialmente, preferentemente de boca a boca.

¿La inhalación de vapores de refrigerantes DuPont® Suva® puede ocasionar sofocación?

Si se presenta una liberación grande de vapores, durante una fuga o derrame grande, los vapores se pueden concentrar y desplazar el oxígeno disponible para la respiración, ocasionando sofocación.

¿Cuáles son los Límites de Exposición de Emergencia?

Los Límites de Exposición de Emergencia (EELs) se establecen por situaciones de emergencia como derrame o liberación accidental de un químico. Los EELs especifican las duraciones y concentraciones que son factibles del escape de algún producto sin ocasionar efectos irreversibles en la salud. Los EELs son aplicables solamente a situaciones de emergencia en las que se espera muy poca probabilidad de que vuelvan a ocurrir en la vida de un individuo.

¿Cómo se concentran los vapores de refrigerantes DuPont® Suva® y se convierten en un peligro?

Los vapores de los refrigerantes

DuPont® Suva® son de 3 a 5 veces más pesados que el aire; por consiguiente, los vapores que se escapan tienden a juntarse y concentrarse cerca del piso o en las partes bajas, desplazando el aire. A mayor cantidad de refrigerante, menor cantidad de aire, por lo tanto, existe el problema potencial de sofocación.

¿Cómo se puede trabajar con seguridad en sistemas dentro de áreas cerradas?

Primero, dirigir la tubería de escape y purga hacia el exterior, lejos de las tomas de aire.

Segundo, asegurarse de que el área esté bien ventilada, utilizando ventilación auxiliar si es necesario para mover los vapores del refrigerante.

Tercero, asegurarse de que el área esté libre de vapores antes de empezar a trabajar. Y finalmente, instalar un equipo de monitoreo del aire para detectar fugas. (Para una descripción completa de detección de fugas, consultar el Boletín de DuPont. También consultar el Estándar ASHRAE-15-1989 para los requerimientos de ventilación).

¿Qué se puede hacer si ocurre un derrame o fuga grande?

Evacuar a todo el personal hasta que el área haya sido ventilada. Utilizar fuelles o ventiladores para circular el aire al nivel del suelo. No volver a entrar al área afectada a menos que se encuentre equipado con un aparato de respiración autónomo. Siempre usar una máscara de aire para entrar a los tanques o a otras áreas en donde pueda existir concentración de vapor. Utilizar el sistema de compañeros y cuerda de seguridad.

Propiedades físicas de los refrigerantes

Producto	Fórmula	Punto de ebullición		AEL* ppm(v/v)	EEL* ppm(v/v)
		C	F-		
DuPont® Suva® 123	CF3CHCl2	27	82.2	50	1,000 (60 min)
DuPont® Suva® 124	CHCl1FCF3	-11.0	12.2	500	N/A
DuPont® Suva® 134a	CH2CFC3	-26.5	-15.7	1,000	N/A

¿ Es peligrosa la inhalación deliberada de vapores de refrigerantes DuPont® Suva® ?
Inhalar deliberadamente vapores de refrigerantes DuPont® Suva® puede ocasionar sensibilización cardíaca y la muerte. Esta práctica es extremadamente peligrosa, ya que la muerte puede ocurrir repentinamente.

¿ Se puede percibir el olor de los refrigerantes DuPont® Suva® ?

Algunos refrigerantes DuPont® Suva® tienen un olor ligeramente dulce que puede ser difícil de detectar. Otros, como el DuPont® Suva® 123, tienen un olor tan leve que no se pueden detectar por medio del olfato a niveles que se consideren seguros para su exposición. Por consiguiente, es posible que sea necesaria una verificación frecuente de fugas y la instalación de detectores permanentes de fugas para áreas cerradas utilizadas por el personal.

TOXICIDAD ORAL

¿ Son tóxicos los refrigerantes DuPont® Suva® si se ingieren oralmente ?

Aunque los refrigerantes DuPont® Suva® tienen una baja toxicidad oral, se debe evitar su ingestión. En caso de ingestión, no inducir el vómito.

Ya que cuando éste se presenta, el refrigerante puede introducirse a los pulmones. Esto puede conducir a otros peligros serios, como neumonitis química, edema pulmonar y hemorragia. Solicitar atención médica inmediatamente.

Contacto con la piel y ojos.

¿ Es peligroso el contacto con la piel u ojos con los refrigerantes DuPont® Suva® ?

A temperatura ambiente los vapores de los refrigerantes DuPont® Suva® tienen muy poco efecto o ninguno con la piel o los ojos. Sin embargo, los refrigerantes DuPont® Suva® que no son líquidos a temperatura ambiente tienden a disolver la grasa protectora de la piel, ocasionando resequedad o irritación, particularmente después del contacto prolongado o repetido. Siempre utilizar ropa protectora cuando haya riesgo de exposición de refrigerantes DuPont® Suva® líquidos.

Cuando se presenten salpicaduras, utilizar siempre protección para los ojos y careta. En caso de salpicadura en los ojos, lavarlos con agua y obtener atención médica inmediatamente.

Además debido a que el AEL para DuPont® Suva® 123 es mucho menor que para la mayor, de los demás refrigerantes se deben tomar algunas aplicaciones extra. Por ejemplo, al manejar DuPont® Suva® 123, usar guantes con recubrimiento de butililo para evitar un contacto prolongado con la piel y utilizar lentes químicos protectores para evitar el contacto con los ojos. También, proporcionar aparato de respiración autónomo para usarse en caso de un derrame mayor o fallas en el sistema. Finalmente, instalar equipo de monitoreo de aire para detectar fugas. (Para una descripción completa sobre detección de fugas, consultar el boletín).

QUEMADURA POR FRÍO

¿ La quemadura por frío es un peligro posible ?

En forma líquida, los refrigerantes DuPont® Suva® a temperatura baja y media pueden congelar la piel al contacto, ocasionando quemaduras por frío. Si usted inicia el tratamiento entre los 20 a 30 minutos posteriores al contacto, empapar el área expuesta con agua tibia, no en agua caliente o fría.

Si no puede iniciar el tratamiento hasta después de 30 minutos del contacto, aplicar una cubierta ligera de un ungüento sin fármacos, como vaselina. Si el área expuesta se encuentra en un lugar en el que la presencia de ungüento puede no ser de ayuda, como un ojo, aplique un vendaje ligero. En todos los casos de quemaduras por frío, solicitar atención médica tan pronto como sea posible. El médico debe considerar la administración de un anticoagulante para evitar la gangrena si la quemadura por frío es severa e incluye un área grande.

PRESIÓN

¿ La presión puede ser un peligro ?
Si. Algunos de los riesgos potenciales son:

- * Un recipiente, envase o tubería llenados en exceso, cuya temperatura aumente. Esto puede hacer que el recipiente "se llene de líquido" y ocasionar inmediatamente un incremento

¡ PRECAUCIÓN !

- * Nunca mezclar los refrigerantes DuPont® SUVA® con aire.
- * Nunca calentar los cilindros arriba de 52°C (125°F)
- * Nunca hacer mal uso de las válvulas o dispositivos de alivio de presión.
- * Nunca rellenar cilindros desechables con producto alguno. Los cilindros desechables nunca se deben rellenar o convertir para utilizarse como tanques de aire comprimido. Los cilindros vacíos deben ser desfogados y descartados. La reutilización de estos cilindros puede ocasionar un serio peligro debido a la posibilidad de corrosión y subsecuente debilitamiento de las paredes del recipiente. El peligro es particularmente mayor cuando la corrosión es causada por vapor de agua contenido en el gas o aire comprimido con el que se rellena el cilindro; es posible que no haya evidencia visible del daño del cilindro hasta que las paredes se encuentren seriamente debilitadas y el cilindro explote violentamente. El embarque de cilindros desechables rellenos está prohibido por los reglamentos DOT en E.U.A.
- * Almacenar siempre los cilindros desechables en un área seca. El almacenamiento en lugares húmedos, puede provocar oxidación, que debilitará el cilindro después de un periodo de tiempo.

peligroso en la presión hidrostática. DuPont posee cilindros refrigerantes retornables y tanques de tonelada.

Nadie puede recargar estos recipientes sin la autorización de DuPont.

Los reglamentos del departamento de transporte (DOT) en E.U.A. prohíbe recargar los cilindros refrigerantes retornables, sin la autorización de DuPont, y para transportarlos en el comercio interestatal.

- Un cilindro correctamente lleno retornable o desechable que se calienta arriba de la temperatura máxima recomendada de 52°C (125°F) puede dar como resultado presiones peligrosamente elevadas, excedentes a la presión para la que esta diseñado el cilindro.
- Un cilindro de refrigerante retornable o desechable conectado al lado de descarga de un equipo de refrigeración o de los sistemas de aire acondicionado.

La presión puede incrementar por arriba de la capacidad de los dispositivos de escape, ocasionando que el cilindro se rompa o explote.

¿Qué es lo que se debe hacer para manejar cilindros desechables y retornables?

- Verificar un anclaje apropiado del cilindro.
- Abrir lentamente las válvulas. Proteger de la oxidación durante el almacenamiento.
- Verificar que la etiqueta concuerde con el código de color.
- No manipular indebidamente los dispositivos de alivio de presión.
- No dejar caer, marcar o abusar

mecánicamente de los recipientes.

- No usar cilindros desechables como tanques de aire.
- No forzar las conexiones.
- No calentar arriba de 52°C (125°F)

¿Cómo se deben soldar las tuberías en sistemas de aire acondicionado o refrigeración?

- Asegurarse de que haya ventilación adecuada en el área.
- Proporcionar ventilación auxiliar si es necesario.
- Evacuar el refrigerante DuPont® Suva® del sistema de refrigeración o del aire acondicionado. Asegurarse de que DuPont® Suva® no se escape hacia áreas de trabajo.
- Purgar el sistema con nitrógeno.
- Dejar el sistema abierto antes de empezar a soldar; esto evitará un incremento peligroso en la presión hidrostática en el sistema y la descomposición potencial del refrigerante.

DESCOMPOSICIÓN

¿Qué es lo que ocasiona la descomposición?

Los refrigerantes DuPont® Suva® se descompondrán al ser expuestos a altas temperaturas provenientes de flamas o calentadores de resistencia eléctrica.

La descomposición puede producir compuestos tóxicos e irritantes, tales como ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico.

¿Cómo se puede saber que un refrigerante DuPont® Suva® se ha descompuesto?

Los fuertes olores liberados irritarán la nariz y garganta.

¿Son peligrosos los productos ó en descomposición o descompuestos?

Si, los vapores ácidos producidos son peligrosos y el área deberá ser evacuada y ventilada para evitar exposición del personal. Cualquiera que esté expuesto a los productos de descomposición debe ser llevado al aire fresco y se le debe dar tratamiento médico inmediatamente. De hecho, la naturaleza irritante de los humos generalmente forzarán a las personas a salir del área antes de que puedan ocurrir efectos dañinos.

REQUERIMIENTOS ESPECIALES PARA DuPont® Suva® 123

- Instalar un monitor de aire capaz de detectar HCFC-123 en concentraciones de 0 ppm a 50 ppm.
- Instalar alarmas apropiadas que se activen al/o bajo del AEL de 50 ppm, y alertar a las personas que se encuentran dentro y fuera del cuarto del equipo en el que existe la condición de fuga.
- Dirigir los cabezales de descarga a las válvulas de alivio y purgar las unidades hacia el exterior, lejos de todas las tomas de aire.
- Instalar escape local para ventilar el área de trabajo en caso de que el punto de alarma del monitor de aire se halla excedido.
- Seguir los estándares mínimos para sistemas de refrigeración de clase I según lo requiere el Estándar 15-1989 ASHRAE, pero agregando el monitor de aire antes mencionado. Para mayor información sobre detecciones de fugas consultar boletín DuPont.

DuPont Chemicals
Centro de Servicios al Cliente,
B-15305 Wilmington,
DE 198981-800-441-9450
En Delaware: 774-2099

EUROPA

DuPont de Nemours
International S.A. 2 Chemin
du Pavillion PO Box 50CH
1218 Le Grand-Saconnèx
Ginebra, Suiza 41-22-717
-5111

CANADÁ

DuPont Canadá, Inc. PO Box
2200, Streetsville
Mississauga, Ontario L5M
2H3(416)821-3300

MÉXICO

DuPont México, S.A. de C.V
DUMEXSA
Homero 206
Col. Chapultepec Morales
C.P. 11570 - México, D.F.
01 (55) 5722-1150
(01) 800 849 75 14
www.suva.com.mx

AMÉRICA DEL SUR

DuPont Brasil, S.A. Alameda
Itapicuru, 506 Alphaville
06400 Barueri Sao Paolo
Brasil 55-11-421-8005

DuPont Argentina S.A. Casilla
Correo 1888 Correo Central
1000 Buenos Aires, Argentina
54-311-8167

AUSTRALIA

DuPont Australia PO Box
930 North Sydney, NSW
2060 Australia 61-2-923-6111

ASIA PACÍFICO

DuPont Mitsui
Fluorochemicals Company,
Ltd, Mitsui Seimei Building 2-
3, Ohtemachi, 1 Chome
Chiyoda-Ku, Tokio 100 Japón
81-33-214-5241

DuPont Taiwan 13th Floor,
Hung Kuo Building 167 Tun
Hwa North Roadm, Taipei
Taiwan 10590, R.O.C. 886-2-
554-4405

DuPont China Limited PO
Box TST 98851 1122 New
World Office Building (East
Wing) Salisbury Road Tsim

Sha Tsui Kowloon, Hong
Kong 852-734-5345

DuPont Thailand PO Box
2398 Bangkok 10501,
Tailandia 66-2-238-4361

DuPont Korea CPO Box
587 29th Floor Kyobo
Building, 1, 1-KA, Chong-Ro,
Chongro-Ku Seúl, Corea 82-
2-734-3661

DuPont Far East, Singapore 1
Maritime Square #07 01
World Trade Center Singapur
040965-273-2244

DuPont Far East Philippines
5th Floor, Solid Bank Building
777 Paseo de Roxas Nariman
Point Makati, Metro Manila
Bombay, Filipinaas 63-2-818-
9911

DuPont Far East, India 25
Maker Chambers VI 400-021
India 91-22-202-7712

® es marca registrada por E.I. du Pont de Nemours and Company.





FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

REACONDICIONAMIENTOS DE SISTEMAS

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA



Suva[®] refrigerantes

Reacondicionamiento de Sistemas R-22 a Suva HP62(R-404A) o Suva 507.

La siguiente información detallada es recomendada para el procedimiento de reacondicionamiento de sistemas R-22 a Suva[®] HP62 (R-404A) o Suva[®] 507.

1. Establezca una base de datos del funcionamiento del R-22.

Recoja los datos del funcionamiento del sistema mientras que R-22 están en el sistema. Revise que la carga del refrigerante y las condiciones de operación sean las correctas. Una base de datos de temperatura y presión en varios puntos del sistema (evaporador, condensador, succión y descarga del compresor, sobrecalentamiento y subenfriamiento) a condiciones normales de operación, debe ser utilizada cuando se está optimizando la operación del sistema con refrigerantes Suva[®]. Al final de este documento se anexa una Hoja de Datos del Sistema.

2. Drene el aceite mineral o el alquilbenceno del sistema y revise el nivel de aceite removido. Deje el R-22 en el sistema.

Si el aceite existente es mineral o alquilbenceno debe ser drenado. Esto puede requerir remover el compresor del sistema, particularmente con compresores herméticos pequeños que no tienen un puerto de drenado de aceite. En este caso, el aceite debe ser drenado por el puerto de la succión

En el compresor después de que el R-22 haya sido recuperado correctamente. Para una correcta limpieza, en todos los casos es importante remover por lo menos un 50% del aceite. En un sistema grande, podría requerirse drenarse en puntos adicionales particularmente en puntos bajos alrededor del evaporador. En sistemas con separador de aceite, este también debe de ser drenado.

En todos los casos, mida el volumen de aceite removido del sistema. Compare este volumen con las especificaciones del compresor, para asegurarse de que se haya quitado la mayoría del aceite. Consulte al fabricante del compresor para recomendaciones de la cantidad residual permitida de aceite mineral o alquilbenceno en el poliol éster. Si el funcionamiento del sistema no es el adecuado cuando es encendido, un cambio de aceite puede ser requerido.

3. Adición de aceite poliol éster; utilice el mismo volumen como el que se ha removido en el Paso 2. Encienda el sistema y déjelo en operación por lo menos 24 horas o más, si tiene un sistema de tubería complejo.

Cargue con el nuevo aceite el compresor al mismo volumen que removió en el Paso 2. Utilice un aceite a la viscosidad y grado que el fabricante del compresor recomienda para el refrigerante Suva[®] que está utilizando o

Utilice un aceite con la misma viscosidad que el aceite mineral o alquilbenceno que esta removiendo si la información del compresor no esta disponible.

La viscosidad usual para muchos compresores es de 150 SUS o ISO 32.

4. Drene el aceite mineral y repita el Paso 2 y 3 por lo menos dos veces más. Continúe limpiando hasta que el aceite mineral/alquilbenceno sea menos del 5% en peso o como lo recomiende el fabricante del compresor.

Para la operación apropiada de los HFC en un reacondicionamiento, la concentración de residuos del aceite mineral/alquilbenceno deber ser muy baja. Removiendo y substituyendo el poliol éster repetidamente, limpiara el aceite viejo del sistema de refrigeración, dando suficiente tiempo en cada cambio que el aceite circule por todo el sistema.

5. Recupere la carga del R-22 en un cilindro apropiado para recuperación.

Use prácticas normales de servicio. Si el tamaño de la carga correcta no es conocida, pese la cantidad de refrigerante recuperado.

6. Cambie el filtro deshidratador.

Es práctica rutinaria el cambio el filtro deshidratador siguiendo los sistemas de mantenimiento. Los deshidratadores compatibles con los refrigerantes Suva[®] están disponibles. El cambio del filtro deshidratador debe hacerse durante el reacondicionamiento. Hay dos tipos de filtros deshidratadores comúnmente usados, de centro sólido y sílica.

Cambie el deshidratador por uno igual al que actualmente usa. La etiqueta del deshidratador mostrara el tipo de refrigerantes que pueden ser utilizados. Revise con su distribuidor de refrigerantes DuPont cual es el correcto deshidratador que se debe usar en el sistema.

7. Evacue el sistema y revise las fugas.

Para remover el aire y otros no condensables en el sistema, evacue el sistema con un vacio completo [29.9 inHg (500 micrones) o menos de 10 kPa].

8. Cargue el refrigerante Suva[®]. Remover el refrigerante en fase liquida del cilindro.

La posición correcta del cilindro para remover en forma liquida esta indicada con flechas tanto en el cilindro como en la caja del mismo. Una vez que el líquido ha sido removido del cilindro, el refrigerante puede ser cargado al sistema como líquido o vapor, según se desee. Use los manómetros del manifold o una válvula reguladora para atomizar el líquido a vapor si se requiere.

En general, los sistemas de refrigeración requieren una cantidad menor de refrigerante Suva que de R-22. La carga óptima puede variar dependiendo del diseño y las condiciones de operación del sistema, pero para la mayoría de los sistemas el tamaño de la carga puede ser del 75-90% que la carga original.

Para mejores resultados:

- Se recomienda cargar un 75% de carga del refrigerante al inicio del proceso.
- La carga inicial del refrigerante Suva[®] sea añadida en lado de alta presión del sistema (el compresor no debe estar funcionando) hasta que la presión del cilindro y el sistema se igualen. Entonces conecte al lado de baja presión del sistema, arranque el compresor y cargue lentamente el resto del refrigerante por el lado de la succión del sistema. Usted debe remover la carga del cilindro en fase liquida, por lo tanto debe cargar lentamente el refrigerante vaporizado antes de incorporar la succión del compresor, para evitar un daño del compresor

9. Encienda el sistema, ajuste la cantidad de la carga. Etiquete el sistema con el tipo de refrigerante y aceite utilizado.

Encienda el sistema y deje que las condiciones se establezcan. Si el sistema tiene la carga incompleta, adicione Suva[®] Hp62 o Suva 507 en pequeñas cantidades (siga removiendo la carga del cilindro en fase líquida) hasta que las condiciones alcancen el nivel deseado. Vea las cartas de Presión/Temperatura en este boletín para comparar la presión y temperatura del refrigerante Suva[®] que está usando.

Los refrigerantes Suva[®] son más sensibles a los cambios de la cantidad de carga que el R-22. El funcionamiento del sistema cambiara rápidamente si está sobrecargado o la carga es menor a la requerida. La mirilla en la línea de líquido puede ser usada en muchos casos como guía, pero también la carga del sistema puede ser determinada midiendo las condiciones de funcionamiento del sistema (presión de descarga y succión, temperatura en la línea de succión, amperaje del motor del compresor, sobrecalentamiento, etc.). **Intentar cargar refrigerante hasta que la mirilla sea clara, puede dar lugar a una sobrecarga de refrigerante.** Por favor lea antes "Como Determinar la Presión de Succión, Sobrecalentamiento y Subenfriamiento".

"Sugerencias Útiles" para reacondicionamiento de R-22 a Suva[®] HP62 (R-404A) o 507.

El Suva[®] HP 62 y el 507 tienen un pequeño "deslizamiento de temperatura" y puede ser utilizado en sistemas con evaporadores y condensadores inundados así como los que tienen evaporadores de expansión directa.

Como el Hp62 y el 507 tiene una capacidad de enfriamiento más alta que el R-22, con temperaturas más bajas en el

evaporador, el dispositivo de expansión podría necesitar un ajuste o ser sustituido para mantener un flujo apropiado de refrigerante y su apropiado sobrecalentamiento. Comparación estimada de la capacidad.

Temperatura del Evaporador.	Capacidad.
-1 a 10°C (30 a 50°F)	Igual
-18°C (0°F)	+6%
-40°C (-40°F)	+30%

Verifique que las medidas de la tubería de succión y descarga del compresor sean las adecuadas, para mantener una apropiada velocidad y caída de presión del refrigerante.

La temperatura de descarga del compresor será menor que la de R-22.

La presión de descarga del compresor será más alta con HP62 y 507. Varios interruptores de presión pueden necesitar ser ajustados para mantener condiciones de funcionamiento apropiadas; por ejemplo:

- Reguladores de presión del evaporador.
- Interruptor de alta y baja presión.
- Interruptor del ventilador del condensador.
- Control por alta presión en el compresor.
- Control de presión diferencial de aceite.
- Otros.

Hoja de Datos del Sistema

Tipo de Sistema/Localización: _____

Fabricante del Equipo: _____ Fabricante del Compresor: _____

No. Modelo: _____ No. Modelo: _____

No. Serie: _____ No. Serie: _____

Cantidad de Carga R-22: _____ Lubricante Original:
 Tipo/Fabricante: _____
 Tamaño de la Carga: _____

Nuevo Lubricante:
 Tipo/Fabricante: _____
 Tamaño 1ª Carga: _____
 Tamaño 2ª Carga: _____
 Tamaño Carga Adicional: _____

Fabricante del Filtro deshidratante: _____ Tipo de Desecante: _____

No. Modelo: _____ Centro Sólido: _____

Medio de Enfriamiento del Condensador (agua/aire): _____

Dispositivo de Expansión: Tubo Capilar: _____
 Válvula de Expansión: _____

En caso de Válvula de Expansión:
 Fabricante: _____
 No. Modelo: _____
 Control/Punto de ajuste: _____
 Localización del sensor: _____

Otros sistemas de Control (ej. Control de presión en la cabeza),
 Describa: _____

Fecha/Hora				
Refrigerante				
Tamaño Carga (Kg. gr.)				
Temperatura Ambiente (°F, °C)				
Humedad Relativa				
Compresor:				
Temperatura de Succión (°F, °C)				
Presión de Succión (psig, psia/kPa, bar)				
Temperatura de descarga (°F, °C)				
Presión de descarga (psig, psia/kPa, bar)				
Temperatura de la caja (°F, °C)				
Evaporador:				
Temperatura Interna del Refrigerante (°F, °C)				
Temperatura Externa del Refrigerante (°F, °C)				
Temperatura de entrada del Agua/Aire al serpentín (°F, °C)				
Temperatura de salida del Agua/Aire al serpentín (°F, °C)				
Temperatura del refrigerante en el punto de control de sobrecalentamiento (°F/°C)				
Condensador:				
Temperatura Interna del Refrigerante (°F, °C)				
Temperatura Externa del Refngente (°F, °C)				
Temperatura de entrada del Agua/Aire al serpentín (°F, °C)				
Temperatura de salida del Agua/Aire al serpentín (°F, °C)				
Amperaje del motor				



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

GUÍA DE RECONVERSIÓN

**EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA**



Suva[®] refrigerantes

Información Técnica

Guía de reconversión para el Suva[®] 407C

ART-34

Introducción

Durante las pasadas cinco décadas, el HCFC-22 (R-22) ha sido utilizado como refrigerante en diversos sistemas, enfriamiento industrial, aire acondicionado y aplicaciones de calefacción. El bajo potencial de agotamiento de ozono del R-22 comparado con el CFC-11 y el CFC-12, sin mencionar sus excelentes propiedades refrigerantes ha facilitado la transición de los CFC's. Sin embargo, los HCFC's, incluyendo el R-22, están programados para una eventual eliminación bajo los estatutos del Protocolo del Montreal. DuPont apoya el programa de eliminación para los HCFC's y se compromete a ayudar a preparar a la industria para una eventual eliminación del R-22.

DuPont ha desarrollado el Suva[®] 407C como el reemplazo equivalente en presión para el R-22 en equipos de desplazamiento positivo con dispositivo de expansión directo como aire acondicionado o bombas de calor. El Suva[®] 407C es la marca registrada para la mezcla azeotrópica del HFC-32 / HFC-125 / HFC-134a con una composición del 23 / 25 / 52 %peso respectivamente. El Suva[®] 407C se encuentra disponible comercialmente

Para reconvertir equipo existente como una opción de largo plazo del R-22.

Utilizando estas guías de reconversión, muchos sistemas de R22 pueden ser reconvertidos para utilizar Suva[®] 407C para permitir que el equipo existente continúe su operación durante el resto de su vida útil de manera segura y eficiente, aún cuando el R-22 no este disponible.

Tabla 1
Propiedades Físicas Suva[®] 407C

Propiedad	Suva [®] 407C	R-22
Punto de Ebullición @ 1atm. °C(°F)	-43.56(-46.40)	-40.80(-41.40)
Densidad de Líq. @25°C(77°F) Kg/m ³ (lb/ft ³)	1134(70.8)	1195(74.5)
Presión de Vapor, Sat. Líq. @ 25°C(77°F) Kpa(psia)	1174(170.29)	1043(151.4)
Densidad, Vapor Sat. @ 25°C(77°F) Kg/m ³ (lb/ft ³)	41.98(2.62)	44.21(2.76)
Potencial de Agotamiento de Ozono (R-11=1)	0	0.05
Potencial de Sobrecalentamiento Global CO ₂ =1.0	1600	1700
Capacidad comparada al R-22	1.00	1.00
Eficiencia de Energía (COP)	6.27	6.43

Propiedades y Seguridad.

El Suva® 407C ofrece propiedades ambientalmente aceptables mayores que el R-22, con un potencial de sobrealentamiento global similar y un potencial de agotamiento de ozono de cero. Consulte el boletín técnico de DuPont H-56606 para información más detallada sobre las propiedades y el desempeño de este refrigerante o bien la hoja de seguridad del producto (MSDS).

Lubricantes

La selección de un lubricante se basa en diversos factores, que puede incluir al retorno de refrigerante al compresor y compatibilidad con materiales. Los lubricantes de base poliolester se recomiendan para su uso en la mayoría de los sistemas con HFC. Existen muchos fabricantes de lubricante poliolester; para determinar cual es el lubricante recomendado para su sistema de refrigeración, contacte al fabricante del compresor, fabricante del equipo original o a su distribuidor autorizado DuPont.

Se deben de tener ciertos cuidados especiales cuando se maneje lubricantes de base poliolester debido a su tendencia de absorber agua. El contacto con el aire debe de ser mínimo, y el lubricante se debe almacenar en contenedores metálicos.

Cuando se realice la reconversión de un sistema con R-22/aceite mineral a Suva® 407C/aceite poliolester para obtener una miscibilidad equivalente, el aceite mineral residual debe estar alrededor de un 5% en peso o menos del total del lubricante utilizado en el sistema. La cantidad permisible de aceite mineral depende principalmente en la

Configuración del sistema y de las condiciones de operación. Si el sistema muestra señales de una baja transferencia de calor en el evaporador o un retorno de aceite pobre al compresor, puede ser necesario reducir la cantidad de aceite mineral residual. Una serie de cambios sucesivos de lubricante poliolester puede reducir normalmente la concentración de aceite mineral a niveles bajos. Los fabricantes de lubricantes se encuentran desarrollando métodos para determinar el porcentaje en peso del aceite mineral el poliolester.

Tabla 2
Desempeño del Suva® 407C en relación al R-22 en A/A y bombas de calor.

Suva® 407C	
Rango de Desempeño:	
Modo de enfriamiento	
Capacidad Relativa%	98 a 96
Rango relativo de eficiencia de energía %	93 a 97
Cambio en la temperatura de descarga °C(°F)	-8.3 a -4.4 (-15 a -8)
Cambio en la presión de descarga KPa(psia)	103 a 276 (15 a 40)
Rango de Desempeño:	
Modo de calentamiento	
Capacidad Relativa%	93 a 106
Rango relativo de eficiencia de energía %	94 a 97
Cambio en la temperatura de descarga °C(°F)	-10 a 0 (-18 a 0)
Cambio en la presión de descarga KPa(psia)	62 a 234 (9 a 34)

Características de Desempeño en diseños existentes de R-22

El Suva® 407C provee de una eficiencia de energía y capacidad similar al R-22 con una temperatura de descarga menor a presiones de descarga ligeramente

mayores. Como resultado, se anticipan mínimas modificaciones al sistema cuando se reconviertan equipos de R-22 a Suva® 407C. Los fabricantes de equipo original se deben de contactar para determinar si los controles de la presión de descarga necesitarán ser ajustados para compensar las presiones mas altas de descarga. La tabla 2 resume el desempeño actual del Suva® 407C vs R-22 para modalidades de enfriamiento y calentamiento en diferentes unidades diseñadas para utilizar R-22. Estas unidades no fueron modificadas u optimizadas en su desempeño para utilizar Suva® 407C.

El Suva® 407C no fue diseñado para su uso conjunto con otro refrigerante. El añadir Suva® 407C a cualquier otro refrigerante puede formar mezclas que pueden causar problemas de desempeño en el sistema.

La compatibilidad química con plásticos y elastómeros deben de ser considerados antes de reconvertir a Suva® 407C y poliéster. Las pruebas demuestran que no existen una sola familia de plásticos o elastómeros que trabajen con todos los refrigerantes alternativos. Se recomienda que los sellos, juntas y O-rings sean revisados con el fabricante de equipo original antes de la reconversión. También puede referirse al boletín P-9000 para información de elastómeros.

Influencia de las Fugas y Recargas en el Desempeño.

El Suva® 407C tiene un comportamiento refrigerante excelente, aún en el caso de fugas de vapor de la región de dos fases de un sistema de refrigeración y sus subsecuentes recargas.

Si existiera una fuga de Suva® 407C de una unidad en operación en una región de dos fases donde hay una mezcla (intercambiadores de calor o dispositivos de expansión), tanto el vapor como el líquido se fugarán de la unidad. La composición del refrigerante remanente en el sistema permanecerá esencialmente sin cambios de la composición original. Después de volver a la carga original de Suva® 407C al sistema el desempeño de la unidad será el mismo que en un principio.

Sin embargo, si la unidad no esta operando y hay una fuga de vapor de una región de dos fases, la composición del refrigerante remanente en el sistema si cambiará. El refrigerante remanente estará mas concentrado en el componente que tiene mayor punto de ebullición (HFC-134a) y menos concentrado en los componentes de menor punto de ebullición (HFC-32 y HFC-125). El efecto de este cambio de composición en el desempeño del Suva® 407C se resume en la Tabla 3. Estos datos reflejan el desempeño teórico del Suva® 407C para recargas múltiples de un sistema después de que el 50% en peso del refrigerante se pierde por una fuga de vapor en una región de dos fases.

Hay tres observaciones importantes de los datos generados en el estudio fuga/recarga:

- Durante la fuga de vapor, el HFC-32 (el componente flamable) disminuye en concentración en la mezcla remanente de refrigerante, por lo que esta no es flamable.
- La eficiencia de energía se mantiene y tanto la temperatura como la presión de descarga disminuyen durante las fugas y recargas.
- La pérdida de capacidad se limita a un 9% después de cuatro fugas de

Tabla 3
Desempeño Teórico de una unidad después de fugas de vapor de 50% en peso y recargas con Suva® 407C

No. Recarga	COP, Rel. %	Cap, Rel. %	Descarga del Compresor	
			Temperatura °C(°F)	Presión KPa(psig)
0	100	100	81.1 (178)	1903 (261)
1	101	95	80.6 (177)	1800 (246)
2	101	93	80.6 (177)	1751 (239)
3	101	92	80.6 (177)	1731 (236)
4	101	91	80.6 (177)	1724 (235)
5	101	91	80.6 (177)	1724 (235)

COP (Coefficient Of Performance) = Coeficiente de desempeño

50% en peso de refrigerante seguidas de recargas.

Nota:

A pesar de que el estudio refleja el peor escenario posible. En la práctica, se experimentan una cantidad menor de cambios, como se demuestra en los resultados obtenidos de una bomba de calor con fugas y recargas la cual mantuvo solo una pérdida de capacidad total del 4%.

Cargar la Unidad con Suva® 407C.

Como cualquier otra mezcla de refrigerantes, cuando se cargue al equipo se debe de hacer removiendo líquido del cilindro. Los cilindros del Suva® 407C están equipados con válvulas de líquido y de vapor. La válvula de líquido se encuentra unida a un tubo buzo que se extiende hasta el fondo del cilindro de tal forma que el líquido puede ser extraído sin necesidad de voltearlo.

Proceso de Reconversión

Reconvertir sistemas existentes que trabajen con R-22 a Suva® 407C se puede lograr utilizando simples practicas de servicio y equipo utilizadas por mecánicos o contratistas en el campo.

Los puntos clave involucrados en la reconversión son.

- Base de datos del sistema con R-22
- Remover el aceite mineral o el alquilbenceno del compresor, y reemplazarlo con poliolester. Correr el sistema de 48 a 72 hrs. Con R-22 y determinar el contenido residual de aceite. Lleve a cabo cambios adicionales de poliolester si es necesario.
- Remover la carga de R-22 del sistema.
- Reemplazar el filtro secador con uno nuevo que sea compatible con el Suva® 407C.
- Cargue el sistema con Suva® 407C.
- Encienda el sistema y ajuste la carga y/o controle para obtener las condiciones deseadas.

Para la mayoría de los sistemas, el cambio de lubricante del compresor, el filtro deshidratante y un posible ajuste a las condiciones iniciales de sobrecalentamiento (en sistemas con válvulas de expansión) serán las únicas modificaciones al sistema requeridas en la reconversión a Suva[®] 407C. Para los sistemas que todavía tienen garantía, recomendamos contactar al fabricante del compresor o del equipo antes de llevar a cabo una reconversión. Algunas garantías del compresor o equipo se pueden ver impactadas por el cambio de refrigerante o de lubricante original especificado para el sistema o el compresor.

Equipo y Material Necesario para la Reconversión.

- Equipo de Seguridad (guantes y lentes).
- Válvulas Manifold.
- Bomba de vacío.
- Equipo detector de fugas.
- Unidad de recuperación.
- Cilindro de recuperación.
- Contenedor para aceite recuperado.
- Lubricante de reemplazo.
- Refrigerante de reemplazo.
- Filtro deshidratante de reemplazo.
- Etiquetas para identificar el sistema.

Procedimiento de Reconversión.

A continuación se encuentra un resumen con la discusión detallada del procedimiento para la reconversión de un sistema con R-22 a Suva[®] 407C.

- 1. Base de datos con R-22.** Para los contratistas de servicios que realicen sus primeras

reconversiones con Suva[®] 407C, se recomienda que la base de datos se recolecte mientras este el R-22 en el sistema. Revisar la carga correcta de refrigerante y condiciones de operación.

- 2. Carga/Drene del Lubricante del sistema.** En donde el aceite mineral o el alkilbenceno era el lubricante existente en el sistema, etc tendrá que ser drenado. Esto puede requerir remover el compresor del sistema, particularmente en compresores pequeños herméticos que no tengan purga. En este caso, el lubricante puede ser drenado por la línea de succión del compresor. En la mayoría de los sistemas pequeños, el 90-95% del lubricante puede ser removido del compresor de esta manera. Los sistemas mas grandes pueden requerir un drenaje de diversos puntos del sistema, particularmente puntos bajos alrededor del evaporador, para remover la mayoría del lubricante. En estos sistemas con separador de aceite, cualquier lubricante presente en el separador también deber de ser drenado.

En todos los casos, se debe medir la cantidad de lubricante removido del sistema. Compare esta cantidad con las especificaciones del compresor/sistema para estar seguros que la mayor cantidad de lubricante ha sido removido. El lubricante poliolester es recomendado para utilizar el Suva[®] 407C. Para poder obtener una miscibilidad equivalente a el R-22/aceite, la cantidad de aceite residual debe ser 5% o menor del total del lubricante utilizado en el sistema. En sistemas mas grandes, la cantidad de aceite mineral

residual se puede obtener por medio de cambios sucesivos de aceite.

Este método involucra:

- Drenar el lubricante existente del sistema como se describe.
- Seleccionar el aceite poliolester con viscosidad similar al del lubricante existente.
- Cargar una cantidad de poliolester similar a la del lubricante removido.
- Correr el sistema con R-22 para lograr una mezcla de poliolester y el antiguo lubricante (se pueden requerir de 48 a 72 hrs. de operación).

Repita estos pasos dos veces más. En el último reemplace el refrigerante R-22 por Suva® 407C.

3. **Remueva la carga R-22.** El R-22 se debe remover del sistema y recolectar en un cilindro de recuperación utilizando un dispositivo capaz de obtener 10 - 20 in. Hg de vacío (36 - 47 Kpa, 0.34 - 0.67 bar). Si la carga adecuada del sistema no es conocida, pesa la cantidad de refrigerante inicial se determinará en base a esta cantidad.
4. **Reinstale el compresor.** (Si es que fue removido en el paso dos). Use practicas normales de instalación.
5. **Reemplace el filtro deshidratante.** Es una práctica rutinaria reemplazar el filtro después de un mantenimiento del sistema. Existen dos tipos de filtros deshidratantes comúnmente utilizados en equipos con R-22:
 - a) Loose fill driers. que contienen solo las zeolitas sintéticas.

- b) Filtros de centro sólido, en donde las zeolitas sintéticas están dispersas en un material sólido.

6. **Evacue el sistema.** Utilice prácticas normales de servicio. Para remover aire u otro gas no condensable del sistema.

Sistema de Detección de Fugas.

Utilice prácticas normales de servicio. Si se utiliza un sistema de detección de fugas, consulte al fabricante del equipo para determinar la sensibilidad del equipo al Suva® 407C.

7. **Cargue el sistema con el Suva® 407C.** El Suva® 407C deber ser removido en fase líquida del cilindro. Los cilindros retornables del Suva® 407C están equipados con tubo buzo lo que permite remover líquido de los cilindros cuando estos se encuentran en la posición adecuada.

Una vez que el Suva® 407C ha sido removido del cilindro, se puede convertir a fase vapor si esa es la forma deseada de cargarlo. Utilice una válvula de expansión y una mirilla para asegurarnos que no entre líquido al compresor. **El Suva® 407 debe ser removido en fase líquida del sistema.**

El sistema requerirá típicamente una menor cantidad de refrigerante Suva® 407C que de R-2. La cantidad optima de carga variara dependiendo de las condiciones de operación, tamaño del evaporador y condensador y del tamaño de las líneas del sistema. Para la mayoría de los sistemas, la carga será de 90 -

95% en peso de la carga especificada por el fabricante del equipo original.

Se recomienda que el sistema sea inicialmente cargado con el 80% en peso de la cantidad correcta de R-22. Añada la carga inicial por el lado de alta presión del sistema (con el compresor sin funcionar). Cuando la presión del sistema y del cilindro se equilibren, cargue el resto del refrigerante por el lado de succión del sistema (con el compresor corriendo). El refrigerante líquido nunca debe de entrar por el lado de succión del compresor.

8. **Encienda el Sistema y Ajuste la Carga.** Encienda el sistema y deje que las condiciones se estabilicen, si el sistema no esta bien cargado, añada Suva[®] 407C en pequeñas cantidades hasta que las condiciones alcancen los niveles deseados. Tome como base la tabla de presión vs temperatura del Suva[®] que se encuentra en la Tabla 4 para comparar la presión de succión del sistema y la temperatura del evaporador con los mismos parámetros pero del R-22.

El Suva[®] 407C tiene mayor presión de descarga y menor temperatura de descarga cuando se compará con la operación del R-22. Un típico incremento en la presión sería de 15 -40 psi (103 - 276 Kpa); un típico decremento en la temperatura de descarga sería de 0 - 10°C(0- 18°F).

Nota:

Etiquetas de identificación del sistema. Después de reconvertir un sistema con Suva[®] 407C, etiquete los componentes del sistema para identificar

El tipo de refrigerante y de aceite lubricante, de tal forma que siempre se tenga la información de que productos se tienen que utilizar durante un mantenimiento. Estas etiquetas se encuentran disponibles con su distribuidor autorizado DuPont en toda la república.

Resumen

Con la eliminación de los CFC's y HCFC's, el equipo existente de refrigeración tiene que ser reemplazado por equipo nuevo o el ya existente reconvertido con refrigerantes alternativos. Utilizando los lineamientos mencionados con anterioridad, los equipos que trabajan con R-22 pueden ser reconvertidos a Suva[®] 407C, permitiendo que sigan trabajando por el resto de su vida útil.

Presión Psig	Temp Liq Sat	(°F) Vap Sat	Presión psig	Temp Liq Sat	(°F) Vap Sat	Presión Kpa	Temp Liq Sat	(°C) Vap Sat	Presión Kpa	Temp Liq Sat	(°C) Vap Sat
(20.0)	-84	-71	120	62	72	10	-83	-75	800	11	17
(15.0)	-71	-58	125	64	75	20	-73	-65	825	12	18
(10.0)	-61	-48	130	66	77	30	-66	-59	850	14	19
(5.0)	-53	-40	135	69	79	40	-61	-54	900	15	21
0	-46	-34	140	71	81	50	-57	-50	950	17	23
2	-42	-29	145	73	83	60	-54	-47	1000	19	25
4	-37	-24	150	75	85	70	-51	-44	1050	21	27
6	-33	-20	155	77	87	80	-48	-41	1100	23	28
8	-29	-17	160	79	89	90	-46	-39	1150	24	30
10	-26	-13	165	81	90	100	-43	-37	1200	26	31
12	-22	-10	170	82	92	110	-42	-35	1250	27	33
14	-19	-7	175	84	94	120	-40	-33	1300	29	34
16	-16	-4	180	86	96	130	-38	-31	1350	30	36
18	-13	-1	185	88	97	140	-37	-30	1400	32	37
20	-11	1	190	90	99	150	-35	-28	1450	33	38
22	-8	4	195	91	101	160	-33	-27	1500	34	40
24	-6	6	200	93	102	170	-32	-25	1550	36	41
26	-3	9	205	95	104	180	-31	-24	1600	37	42
28	-1	11	210	96	105	190	-29	-23	1650	38	43
30	1	13	215	98	107	200	-28	-21	1700	39	44
32	3	15	220	99	108	210	-27	-20	1750	41	46
34	5	17	225	101	110	230	-25	-18	1800	42	47
36	7	19	230	102	111	240	-24	-17	1850	43	48
38	9	21	235	104	113	250	-23	-16	1900	44	49
40	11	23	240	105	114	260	-22	-15	1950	45	50
42	13	25	245	107	116	270	-21	-14	2000	46	51
44	15	26	250	108	117	280	-20	-13	2050	47	52
46	16	28	255	110	118	290	-19	-12	2100	48	53
48	18	30	260	111	120	300	-18	-11	2150	49	54
50	20	31	265	112	121	310	-17	-10	2200	50	55
52	21	33	270	114	122	320	-16	-9	2250	51	56
54	23	35	275	115	123	330	-15	-9	2300	52	57
56	24	36	280	116	125	340	-15	-8	2350	53	57
58	26	37	285	118	126	350	-14	-7	2400	54	58
60	27	39	290	119	127	375	-12	-5	2450	55	59
62	29	40	295	120	128	400	-10	-3	2500	56	60
64	30	42	300	121	129	425	-8	-2	2600	58	62
66	32	43	310	124	132	450	-7	0	2700	59	63
68	33	44	320	126	134	475	-5	1	2800	61	65
70	34	46	330	129	136	500	-3	3	2900	63	67
75	38	49	340	131	138	525	-2	4	3000	64	68
80	41	52	350	133	141	550	-1	6	3100	66	69
85	44	55	360	135	143	575	1	7	3200	68	71
90	46	57	370	138	145	600	2	8	3300	69	72
95	49	60	380	140	147	625	3	10	3400	71	74
100	52	63	390	142	149	650	5	11	3500	72	75
105	55	65	400	144	151	675	6	12	3600	73	76
110	57	68	425	149	155	700	7	13	3700	75	77
115	59	70	450	154	160	725	8	14	3800	76	79
						750	9	15	3900	78	80
						775	10	16	4000	79	81

Hoja de Datos del Sistema

Tipo de Sistema/Localización: _____

Fabricante del Equipo: _____ Fabricante del Compresor: _____

No. Modelo: _____ No. Modelo: _____

No. Serie: _____ No. Serie: _____

Cantidad de Carga R-22: _____ Lubricante Original: _____

Tipo/Fabricante: _____

Tamaño de la Carga: _____

Nuevo Lubricante: _____

Tipo/Fabricante: _____

Tamaño 1ª Carga: _____

Tamaño 2ª Carga: _____

Tamaño Carga Adicional: _____

Fabricante del Filtro deshidratante: _____ Tipo de Desecante: _____

No. Modelo: _____ Centro Sólido: _____

Medio de Enfriamiento del Condensador (agua/aire): _____

Dispositivo de Expansión: _____

Tubo Capilar: _____

Válvula de Expansión: _____

En caso de Válvula de Expansión:

Fabricante: _____

No. Modelo: _____

Control/Punto de ajuste: _____

Localización del sensor: _____

Otros sistemas de Control (ej. Control de presión en la cabeza).

Describe: _____

Fecha/Hora				
Refrigerante				
Tamaño Carga (Kg. gr.)				
Temperatura Ambiente (°F, °C)				
Humedad Relativa				
Compresor:				
Temperatura de Succión (°F, °C)				
Presión de Succión (psig, psia/kPa, bar)				
Temperatura de descarga (°F, °C)				
Presión de descarga (psig, psia/kPa, bar)				
Temperatura de la caja (°F, °C)				
Evaporador:				
Temperatura Interna del Refrigerante (°F, °C)				
Temperatura Externa del Refrigerante (°F, °C)				
Temperatura de entrada del Agua/Aire al serpentín (°F, °C)				
Temperatura de salida del Agua/Aire al serpentín (°F, °C)				
Temperatura del refrigerante en el punto de control de sobrecalentamiento (°F/°C)				
Condensador:				
Temperatura Interna del Refrigerante (°F, °C)				
Temperatura Externa del Refrigerante (°F, °C)				
Temperatura de entrada del Agua/Aire al serpentín (°F, °C)				
Temperatura de salida del Agua/Aire al serpentín (°F, °C)				
Amperaje del motor				



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

TEMA

LÍNEA AUTOMOTRIZ

**EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA**

Suva[®] DuPont[®] Suva[®] refrigerantes

noticias

PUBLICACIÓN TRIMESTRAL DEL NEGOCIO DE DUPONT FLUOROPRODUCTOS • MÉXICO, JULIO DE 2005, NÚM. 23

Línea Automotriz de DuPont

Siempre preocupado por brindarle el mejor producto y el mejor servicio, DuPont ha lanzado al mercado su nueva línea de refrigeración para el sector automotriz, poniendo a su alcance cuatro nuevos productos que facilitarán su trabajo en todo momento.

Empezaremos por mencionarle en primer lugar nuestro refrigerante DuPont[®] Suva[®] 134a UV, excelente para la detección de fugas del sistema porque es premezclado con tinte ultravioleta, lo que incrementa la confianza y la seguridad en la reparación de toda clase de fugas, por más pequeñas que éstas sean. Aplique el refrigerante y el tinte en un solo paso, optimizando el almacenamiento y, sobre todo, ¡ahorrando tiempo!

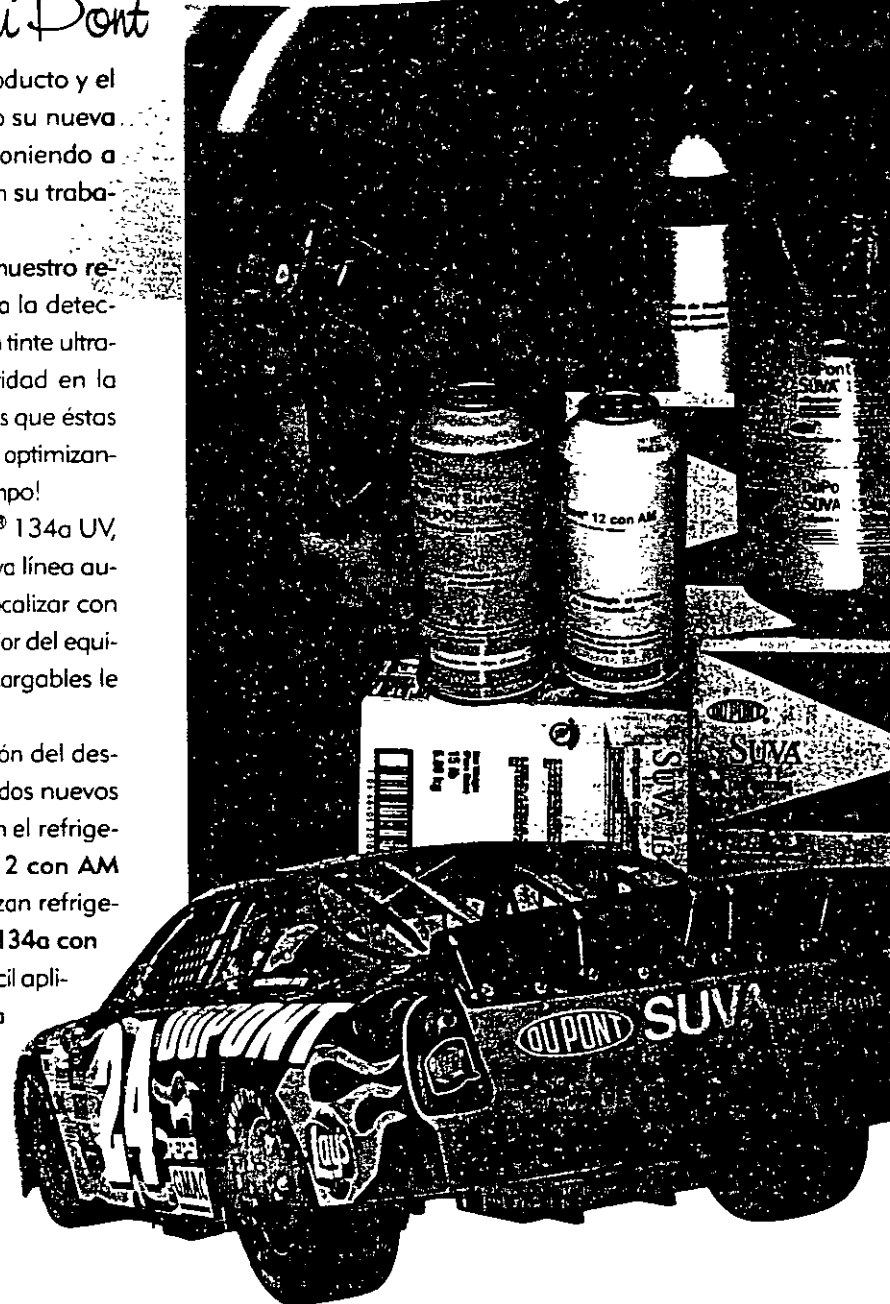
Como complemento ideal para el DuPont[®] Suva[®] 134a UV, le presentamos el segundo producto de nuestra nueva línea automotriz: la lámpara de luz azul, que le permitirá localizar con gran rapidez y exactitud cualquier filtración en el exterior del equipo, al mismo tiempo que sus baterías integradas recargables le brindan gran libertad de movimiento durante su uso.

Además, pensando en la prevención y disminución del desgaste de conexiones y accesorios, DuPont le ofrece dos nuevos lubricantes. Para sistemas que todavía trabajan con el refrigerante R-12, la línea incluye el lubricante Freon[®] 12 con AM (aceite mineral), mientras que aquellos que ya utilizan refrigerante R-134a podrán disponer del DuPont[®] Suva[®] 134a con POE (aceite polioléster). Ambos lubricantes son de fácil aplicación y tienen las características adecuadas para mezclarse con la carga original del sistema.

Y por último, para lograr la limpieza del sistema que realmente se requiere, contamos con el agente HCFC-141b de DuPont, que arrastra las partículas de carbón y aceite además de penetrar en grietas y levantar costras de carbón causadas por la quemadura del compresor.

Le invitamos a conocer esta novedosa línea, con la cual obtendrá los beneficios que estaba esperando.

DESCUBRALA...



DUPONT

Los milagros de la ciencia[®]

Mensaje del editor

Amigos lectores,

En esta edición queremos darles a conocer una nueva línea de productos que facilitará y apoyará su trabajo diario. Nos referimos específicamente a la nueva línea de refrigeración automotriz de DuPont, integrada por cuatro productos desarrollados para brindar a sus clientes un servicio de excelencia.

En las páginas centrales les presentamos la primera parte de un artículo que amablemente nos ha enviado Acemire de México S.A. de C.V., dedicado al cuidado del lubricante en los sistemas de refri-

geración y aire acondicionado. Para conocer un poco más de este interesante tema, nuestros colaboradores nos explican el proceso para la obtención de los lubricantes a partir del petróleo y las diferencias entre los aceites minerales y sintéticos.

En este número encontrarán también la continuación de la serie dedicada al "Análisis del compresor". Así mismo, les recomendamos leer los tips de seguridad que les ofrece Suva, no olviden que prevenir siempre es y será su mejor opción.

Finalmente, les damos las gracias por todos los comentarios acerca de este boletín, y les invitamos a conocer la nueva imagen de nuestra página en internet. Visitenos en www.suva.com.mx donde encontrarán la información más actualizada de la industria de los refrigerantes en México y en el mundo.

Cordialmente.

Marco A. Calderón,
Editor.



Tome sus precauciones al salir de la ciudad. Le presentamos varias sugerencias que pueden prevenir un accidente o evitar un contratiempo cuando conduzca en carreteras.

Para un buen recorrido...

- Descanse cada 400 Km. recorridos o cada cuatro horas.
- Revise las condiciones del vehículo en cada descanso.
- Respete siempre los señalamientos viales.
- Por cada 22 horas de viaje, deje reposar el vehículo por lo menos durante ocho horas.
- Tenga cuidado con la calefacción del automóvil, pues provoca somnolencia. Si fuera indispensable encenderla, mantenga alguna fuente de ventilación.

Con lluvia...

- Encienda las luces principales o intermitentes y evite rebasar.
- En caso de que la carretera se cierre por un accidente, no se baje del automóvil.
- Si sufre algún desperfecto, oríllese, coloque las señalizaciones necesarias y salvaguarde su integridad.

No olvide...

- Atender a los elementos policíacos y los señalamientos viales.
- No porte armas de ningún tipo ni consuma bebidas alcohólicas antes de viajar o mientras conduce.

Si requiere bajarse del automóvil, manténgase en contacto con sus acompañantes en todo momento. Cuide especialmente a los menores de edad; no los suelte de la mano.

Cargue con la herramienta necesaria, un par de guantes, un juego de reflectores y el candado para los rines, por si tuviera necesidad de cambiar una llanta.

Tips de Seguridad



¿Por qué debemos cuidar lubricación

Una de las principales razones por las cuales los sistemas de refrigeración trabajan de forma adecuada y dentro de los parámetros correspondientes, se debe en gran medida al buen cuidado y al mantenimiento constante que les proporcionamos

¿Qué es lo que realmente revisamos cuando realizamos estos mantenimientos? En concreto, dos cosas: la primera es confirmar que ninguna de las piezas internas del compresor tenga alguna avería, maltrato, ralladura, suciedad o cualquier otro factor ajeno a éstas; la segunda, extraer el lubricante y observar que se encuentre en óptimas condiciones, es decir, que siga conservando el mismo color, viscosidad y demás características que tenía cuando era un aceite nuevo.

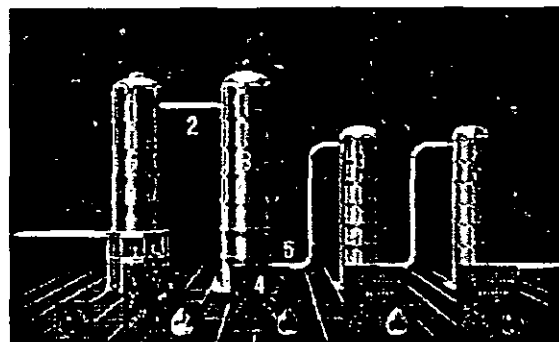
Son varias las razones por las cuales algunas partes del compresor pueden manifestar problemas, requiriendo el cambio de piezas mecánicas. Sin embargo, ese tema sigue siendo muy extenso y precisa de es-

pecialistas en el ramo. Trataremos de explicar en cambio lo que puede ocurrir con el aceite, analizando algunos puntos que pueden evitarse para mantenerlo en óptimas condiciones y de esta forma prevenir el desgaste de las piezas mecánicas del compresor.

Para averiguar lo que ocurre con el aceite mientras el compresor está trabajando o cuando hay variaciones en la temperatura, conviene saber de dónde proviene el lubricante, para conocer sus propiedades y evitar que se degraden. Además, conociendo esas características es posible deducir qué ajustes pueden hacerse en el sistema de refrigeración (presión, temperatura, revoluciones por minuto, capacidades, etc.) de modo que éste tenga un mejor rendimiento.

1. ACEITES MINERALES

Los lubricantes pueden ser generados por diversas operaciones. La más sencilla es la obtención de un aceite mineral derivado del petróleo, como puede verse en los siguientes esquemas.



ESQUEMA DE UN PROCESO GENERAL DE OBTENCIÓN DE ACEITE.

Al someter el petróleo crudo a una serie de procedimientos, como los incrementos de temperatura (2), la disminución de presión (5), las destilaciones atmosféricas (1) y al vacío (6), se obtienen los llamados "aceites ligeros" (4), a los cuales deben retirárseles en el mismo proceso los compuestos aromáticos (7) que son dañinos para el ser humano. Una vez eliminados esos subproductos, se retiran también las ceras o parafinas perjudiciales para los sistemas de refrigeración, pues ocasionan la congelación del aceite y posteriormente dan origen a los tapones de cera en válvulas y tuberías. El producto final de ese proceso es lo que conocemos como aceites minerales (también llamados "aceites naffénicos"), en cada una de sus viscosidades: 150, 200, 300, 500 y especialidades.

acemire[®]
de México, S.A. de C.V.

Análisis del compresor

(CONTINUACIÓN)

En la edición anterior analizamos los primeros cinco puntos de inspección de un compresor parado o inoperante, para retomar en este ejemplar los cinco restantes.

6. Bajo voltaje. Si, a diferencia del punto anterior, existiera un bajo voltaje en la línea, la consecuencia será que el compresor no alcanzará a desarrollar la velocidad de diseño. El voltaje correcto debe ser de $\pm 10\%$ del indicado en la placa del motor, es decir, que no debe exceder ni ser inferior en un 10% al señalado en dicha placa.

7. Sobrecarga del motor. Los dispositivos de seguridad del motor detienen el compresor cuando el amperaje y la temperatura del motor son excesivos. Esta situación también puede ser supuesta cuando al hacer la prueba de continuidad de los dispositivos para la sobrecarga del motor, se obtenga como resultado un circuito abierto.

8. Relay de arranque. Este punto de inspección requiere que el técnico compruebe la existencia de contactos quemados, ya que el relay de arranque puede quemarse como resultado de varias causas:

- a. Alto o bajo voltaje.
- b. Capacitor de operación inapropiado.
- c. Operación excesiva del compresor.

Una vez que el técnico ha cubierto todos los puntos de inspección señalados hasta ahora, y en el supuesto caso de que todos ellos se encuentren correctos, las únicas dos posibles causas de falla en la operación del compresor serían las indicadas por los puntos de inspección 9 y/o 10.

9. Tamaño inadecuado del compresor.

10. Quemadura del motor.

Con el objeto de seguir el análisis sistemático, ninguna de estas dos suposiciones debe hacerse sin antes haber cubierto todos los puntos de inspección ya mencionados.

PREGUNTAS

27d. En caso de bajo voltaje, el compresor operará a una velocidad: Mayor Menor que la de diseño.

28d. El voltaje puede ser mayor o menor que el indicado en la placa del motor hasta un: 3% 10% 15%.

29d. Si la prueba de continuidad en los dispositivos de sobrecarga del motor indica un circuito abierto, debe suponerse que el amperaje del motor ha sido:

Alto Bajo.

Y la temperatura del motor ha sido:

Alta Baja.

30d. Señale las causas por las que puede quemarse un relay de arranque.

1.
2.
3.
4.

31d. Los puntos de inspección números 9 y 10 para un compresor parado son:

1.
2.

32d. Los puntos de inspección 9 y 10 deben comprobarse cuando se han cubierto los siguientes puntos de inspección:

- Todos los demás.
- 5.
- Algunos.
- La mayoría.

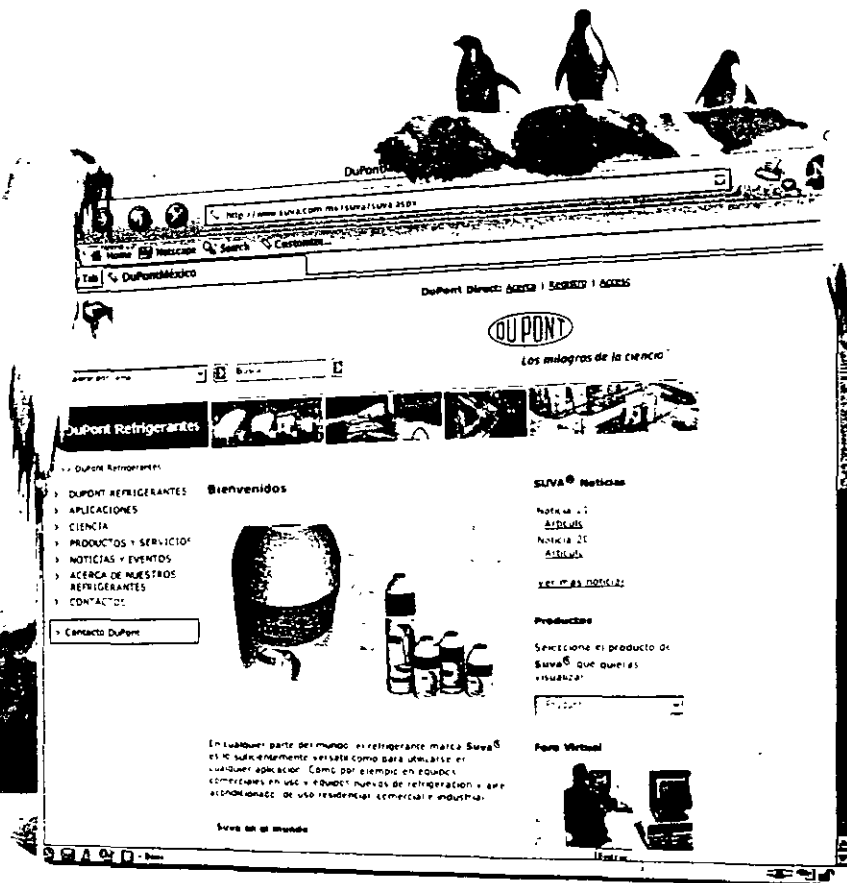
¿Alguna duda y/o sugerencia?

Consulte a su distribuidor autorizado o llame al Centro Electrónico de Atención a Clientes (CEAC) de DuPont:

D.F. 57.22.11.50 Fax 57.22.11.49 Del interior de la República 01.800.849.75.14

www.suva.com.mx

**¡Conozca
nuestra
nueva
imagen
en internet!**



¡Visítenos!

<http://www.suva.com.mx>

Lo invitamos a navegar por la línea de productos DuPont® Suva® para descubrir lo fácil que es encontrar la información más actualizada de la industria de los refrigerantes en México y en el mundo.



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



...: Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-381 REFRIGERACIÓN

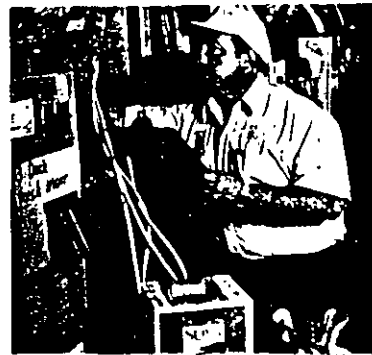
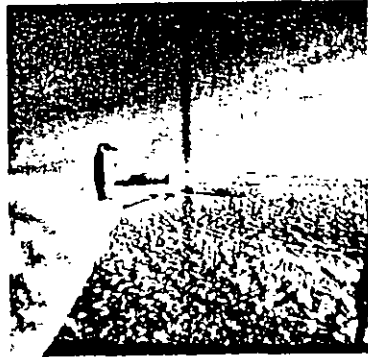
TEMA

SUVA REFRIGERANTES

EXPOSITOR: ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ SAINZ
DEL 8 DE OCT. AL 05 DE NOV. DE 2005
PALACIO DE MINERÍA

DU PONT®

Suva®
refrigerantes



Los Refrigerantes ambientalmente seguros son esenciales.

Los clorofluorocarbonos (CFC's) están desapareciendo progresivamente para proteger el ozono. Los Estados Unidos se han comprometido a una reducción total de la producción de los CFC's para fines de 1995 como una parte del Acta de Aire Limpio de los Estados Unidos. El protocolo de Montreal estableció el primero de enero de 1996, como la fecha de la reducción total de CFC's. (tabla 1).

Este plan de reducción total requerirá que casi todas las industrias recuperen, reclamen, o reciclen los CFC's, y que utilicen productos alternativos los cuales son ambientalmente aceptables. La planeación de una transición a productos ambientalmente superiores es esencial para lograr la reducción total por la fecha de límite. Para satisfacer la necesidad de alternativos de CFC's, DuPont ha desarrollado y comercializado refrigerantes SUVA® los cuales son ambientalmente aceptables. (Tabla 2)

Refrigerantes SUVA® de DuPont

Los refrigerantes alternativos SUVA® de DuPont están compuestos de hidroc fluorocarbonos (HCFC) y compuestos de hidrofluorocarbonos (HFC). Al contrario de los CFC's, los HFC's no contienen cloro y así tienen cero potencial de agotamiento del ozono. Los HCFC, que si contienen cloro, tienen un potencial de agotamiento del ozono del 97% menos que los CFC's. Esto se debe a que con la adición de uno o dos átomos de hidrógeno permite que se separen más rápido en la atmósfera baja, así que menos moléculas dañinas de cloro llegan al ozono.

Tabla 1

La reducción de la producción de clorofluorocarbonos (Los números representan una fracción de la producción de 1986)

Año	Producción (Millones de libras)	Acta de Aire Limpio de los Estados Unidos (LVA)	Estimación de las regulaciones de la agencia de protección ambiental (EPA)
1992	100	100	
1993	100	100	
1994	100	75	
1995	100	50	
1996	0	0	
1997	0	0	
1998	0	0	
1999	0	0	
Equivalente en años	200	200	

Tabla 2

Refrigerantes SUVA® de DuPont

Refrigerante	Composición	Peso Molecular	Peso Atómico del Cloro	Potencial de Agotamiento del Ozono
SUVA Central	HFC-125	120	0	0
SUVA 12	HFC-125	120	0	0
SUVA 12-5	HFC-125	120	0	0
SUVA Trans 40	HCFC-40	100	35.5	0.03
SUVA Cor-MP	HFC-134a	102	0	0
SUVA MP Mezcla	Mezcla			
• MP39		100	0	0
• MP68		100	0	0
• MP5		100	0	0
SUVA HC Mezcla	Mezcla			
• HP80		100	0	0
• HP81		100	0	0
• HP67		100	0	0

Estos productos tienen una característica de desempeño similar a los CFC's, pero con un impacto ambiental altamente reducido. Los refrigerantes SUVA® no son inflamables, y ofrecen una estabilidad en uso, con un potencial reducido de agotamiento de ozono y de calentamiento global. Y aunque no son reemplazos definitivos, los refrigerantes basados en HCFC y HFC requieren cambios mínimos en el equipo cuando se comparan contra productos alternativos.

SUVA® Centri-LP (SUVA® 123)

Como reemplazo del R-11, SUVA® Centri-LP (HCFC-123) se puede utilizar en las aplicaciones del "Chiller" industrial y comercial. Tiene una potencia de agotamiento del ozono del 98% menos que R-11, ofrece un desempeño similar en equipo nuevo y reacondicionado y es compatible con los lubricantes tradicionales.

SUVA® 124

HFC-124 reemplaza al R-114 en las aplicaciones de aire acondicionado y refrigeración, chillers marinos y fluidos de transferencia de calor.

SUVA® 125

HFC-125 es un sustituto, que no agota el ozono, para el R-502 en aplicaciones de temperaturas bajas con condensadores enfriados por agua tales como almacenes comerciales de comida y transportación.

SUVA® Trans A/C (SUVA® 134a)

SUVA® Trans A/C (HFC 134a) reemplaza al R-12 en los sistemas de aire acondicionado de los nuevos automóviles. Ofrece un potencial de agotar el ozono de cero y proporciona un desempeño similar al CFC-12.

SUVA® Cold-MP (SUVA® 134a)

Esta alternativa, la cual no agota el ozono, se implementa en "chillers" nuevos y reacondicionados de centrífugos y reciprocantes, nuevos electrodomésticos, y otras aplicaciones de refrigeración de temperatura media. SUVA® Cold-MP (HFC-134a) ofrece seguridad y un desempeño similar al R-12. Es compatible y miscible con lubricantes de ester (poli ester) y polialquilen glicol PAG.

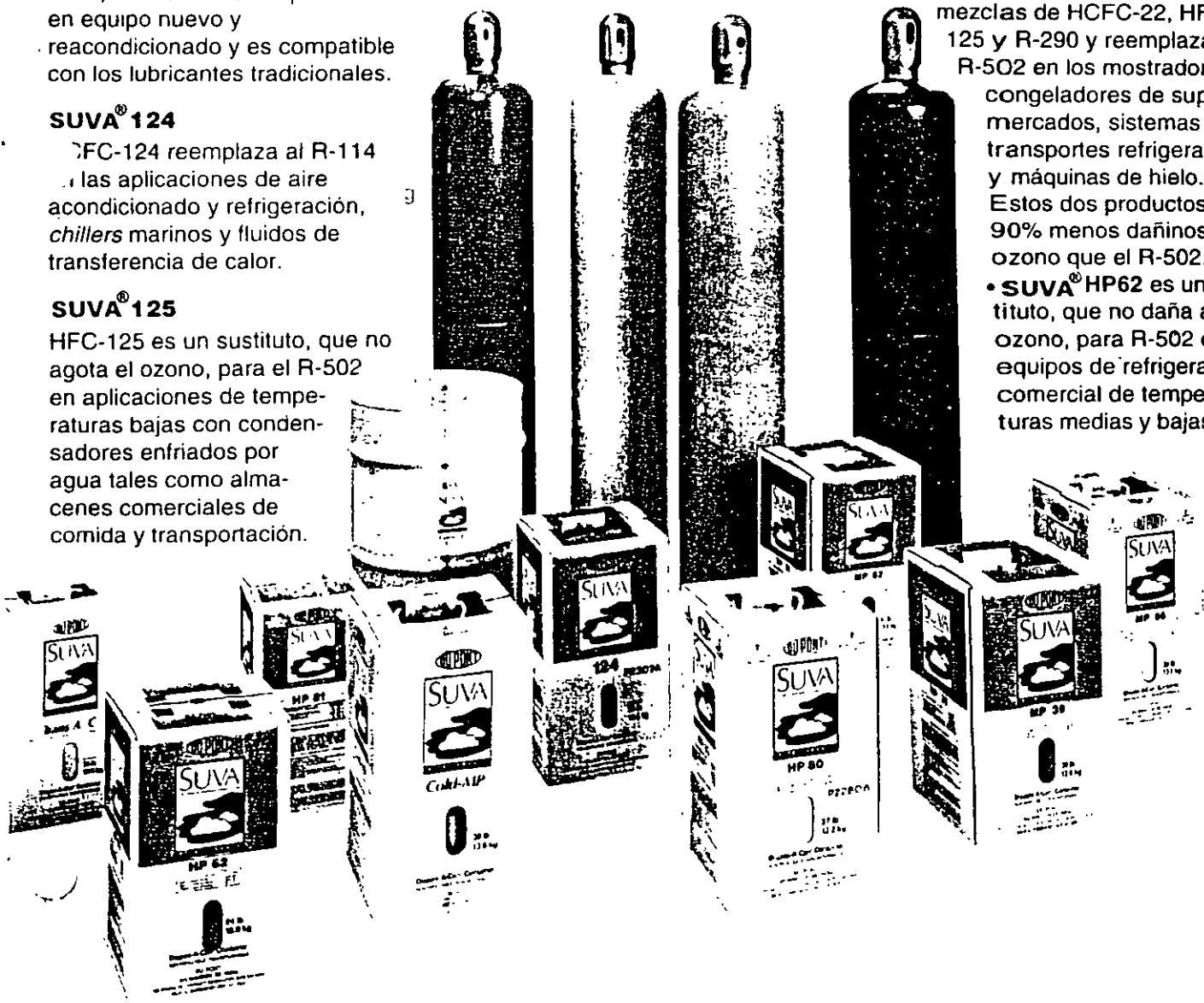
SUVA® MP Mezclas

Refrigerantes SUVA® MP son mezclas ternarias de HCFC-22, HFC-152a y HCFC-124 que reemplazan al R-12 y R-500 en una variedad de aplicaciones:

- **SUVA® MP39** -Reemplaza al R-12 en los sistemas de refrigeración de temperaturas medias estacionales y electrodomésticos.
 - **SUVA® MP66** -Reemplaza al R-12 o R-500 en sistemas de refrigeración de transporte y equipo de temperatura baja.
 - **SUVA® MP52** -Reemplaza al R-12 en sistemas móviles de aire acondicionado ya existentes.
- Estas mezclas patentadas funcionan con aceites existentes y tienen un potencial de agotamiento del ozono de 97% menos que los CFC's.

SUVA® HP Mezclas

- **SUVA® HP80 y SUVA® HP81** son mezclas de HCFC-22, HFC-125 y R-290 y reemplazan al R-502 en los mostradores y congeladores de supermercados, sistemas de transportes refrigerados, y máquinas de hielo. Estos dos productos son 90% menos dañinos al ozono que el R-502.
- **SUVA® HP62** es un sustituto, que no daña al ozono, para R-502 en los equipos de refrigeración comercial de temperaturas medias y bajas.



Disponibilidad y distribución del producto

Los refrigerantes alternativos SUVA[®] están disponibles solamente por medio de DuPont, distribuidores autorizados o fabricantes de equipo original (OEM's) trabajando con DuPont. SUVA[®] Trans A/C está disponible por medio de los OEM's automotrices por medio de DuPont y para el mercado de reposición automotriz en los Estados Unidos por medio de Valvoline y su marca Pyroil.

Muchos fabricantes automotrices están haciendo la conversión de R-12 a los productos alternativos. Fabricantes de refrigeración estacionario, electrodomésticos y de aire acondicionados están comercializando nuevos productos implementando productos alternativos. Refrigeradores nuevos y existentes pueden utilizar los refrigerantes SUVA[®] de DuPont hoy en día.

Reconversión con alternativos

La reconversión es esencial para cumplir con la fecha límite de la reducción total de los CFC's y la operación exitosa del equipo ya existente que se implementará más allá de las fechas de reducción total. Una reconversión exitosa dependerá de una consulta con los OEM's para determinar el tipo de reconversión necesaria.

Hoy SUVA[®] Cold MP y SUVA[®] Centri-LP se implementan con éxito en los "chillers" manufacturados y reconvertidos por Carrier, Snyder General, Trane, Mycom y York. Mezclas de SUVA[®] HP requieren de cambios limitados, haciendo la conversión del equipo y la reducción total de los CFC's más fácil en la industria de comestibles. Mezclas de SUVA[®] MP están reemplazando al R-12 en

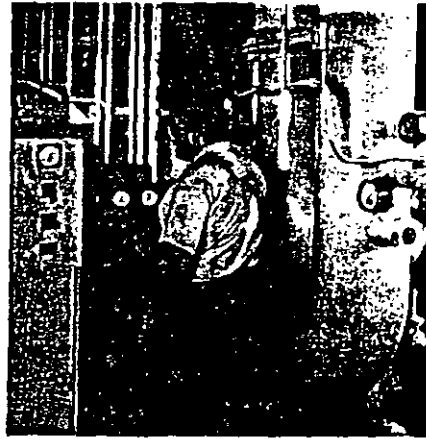


Comparaciones de los productos SUVA[®] a los CFC's

	SUVA [®] COMESTIBLE (HCFC-123)	SUVA [®] COLD MP (HCFC-134A)	SUVA [®] CENTRI-LP (HCFC-22)	SUVA [®] HP (HCFC-12)
Punto de Ebullición	24 (74.9)	27.9 (82.0)	-30 (-21.6)	-26.1 (-14.9)
Límite de exposición de inhalación	1000 (TLV)*	10 (AEL)**	1000 (AEL)	1000 (AEL)
Potencial de agotamiento del Ozono	1.0	0.02	1.0	0.0
Potencial de sobrecalentamiento de la Tierra	1.0	0.02	2.8	0.28

*TLV= El valor de límite, establecido para químicos industriales por la conferencia norteamericana de higiene industrial del gobierno, es el promedio tiempo-peso de un químico en el aire a lo cual casi todos los trabajadores estarán expuestos durante un día de 8 horas, 40 horas a la semana sin efectos adversos.

los equipos de refrigeración estacionario y de transporte y permiten reconversiones de bajo costo y eficiencia de energía comparado al HCF-134a. Además, mezclas de SUVA[®]MP se pueden usar con la mayoría de los sistemas de refrigeración de R-12 sin una sustitución importante de los componentes o sin tener que limpiar el equipo existente.



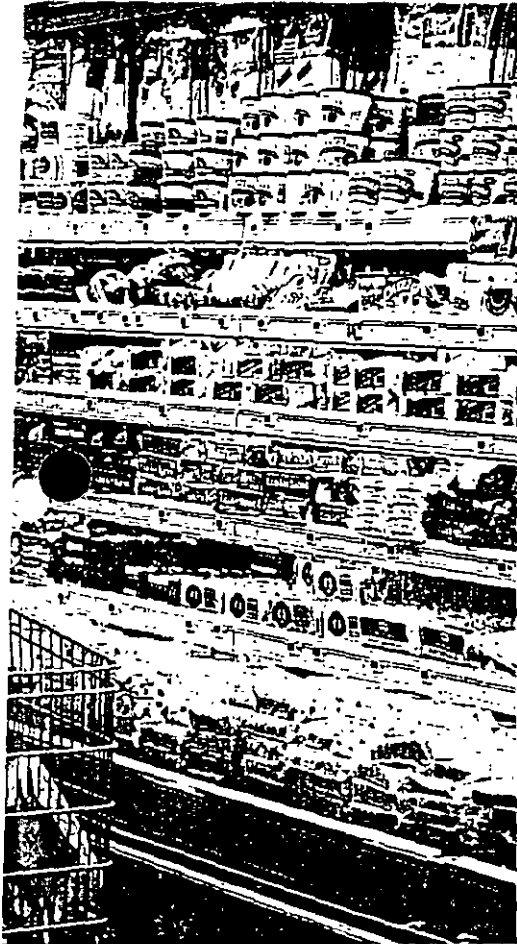
DuPont estimula a los dueños de equipo para iniciar la modificación de sus sistemas para usar los alternativos disponibles lo más pronto posible. La reconversión ahora evitará demoras al acercarse a la fecha límite para la reducción total. De hecho, reconvirtiendo mientras se dá mantenimiento al equipo puede ser viable para reconvertir el equipo a un costo reducido.

Manejo seguro de los refrigerantes SUVA[®]

La mayoría de los refrigerantes SUVA[®] de DuPont tienen características de seguridad similar a los CFC's que reemplazan. Sin embargo, como estos alternativos no son iguales a los CFC's que sustituyen, los usuarios deben repasar procedimientos de seguridad antes de manejar estos productos. Contacta a DuPont para los detalles completos del manejo seguro antes de manejar y utilizar cualquier producto SUVA[®] de DuPont para asegurar que se toman todas las medidas de seguridad necesarias.

Conservación y reclamación de refrigerantes existentes

En los Estados Unidos, más de 135 billones de dólares de equipo, implementados en aproximadamente 3,500 diferentes aplicaciones, dependen de los CFC's. Para evitar un desbalance en la oferta/demanda de CFC's durante la reducción total, los dueños de equipo deben de conservar y reclamar los CFC's existentes. Actualmente DuPont ofrece el programa de capacitación de refrigerantes industriales, un programa de video interactivo para equipo de refrigeración industrial. El programa enseña a los operadores como mantener y operar el equipo para que funcione más eficientemente y en forma que las emisiones de refrigerantes estén minimizadas. El programa también ayuda a eliminar paros y reparaciones costosas de equipos.



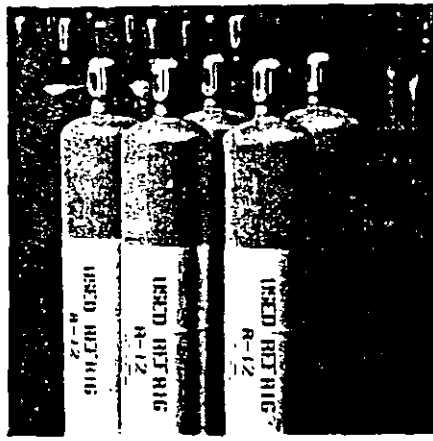
SUVA MP5 (HCFC-22, HFC-152a, HCFC-124)	SUVA HP80 (HCFC-22, HFC-125, R-290)	SUVA HP81 (HCFC-22, HFC-125, R-290)	SUVA 125 (HFC-125)	SUVA 124 (HCFC-124)
R-502	R-290	R-290	R-114	
SUVA HP62 (HFC-125)				

El programa de Reclamación de refrigerantes de DuPont contesta la pregunta de qué hacer con refrigerantes usados tomados de equipos estacionarios. DuPont ofrece un programa de reclamación de cantidades pequeñas (embarques menores de 100 libras), y un programa de grandes cantidades (embarques de 100 libras o más), los cuales aceptan refrigerantes usados:

- R-11, 12, 22, 113, 114, 500, 502
- R-13, 13B1, 14, 23, 116, 123, 124, 134a, 503, 125
- MP39, MP52, MP66, HP80, HP81, HP62

Cuando Ud. embarque más de 100 libras de refrigerantes, DuPont le proporciona con recipientes de recuperación, instrucciones de como cargar y embarcar refrigerantes y servicios analíticos.

El programa de capacitación de refrigerantes industriales, servicios de reclamación de refrigerantes y otras herramientas de información están ofrecidos por medio de la red de los distribuidores autorizados de refrigerantes alternativos SUVA® en los Estados Unidos.

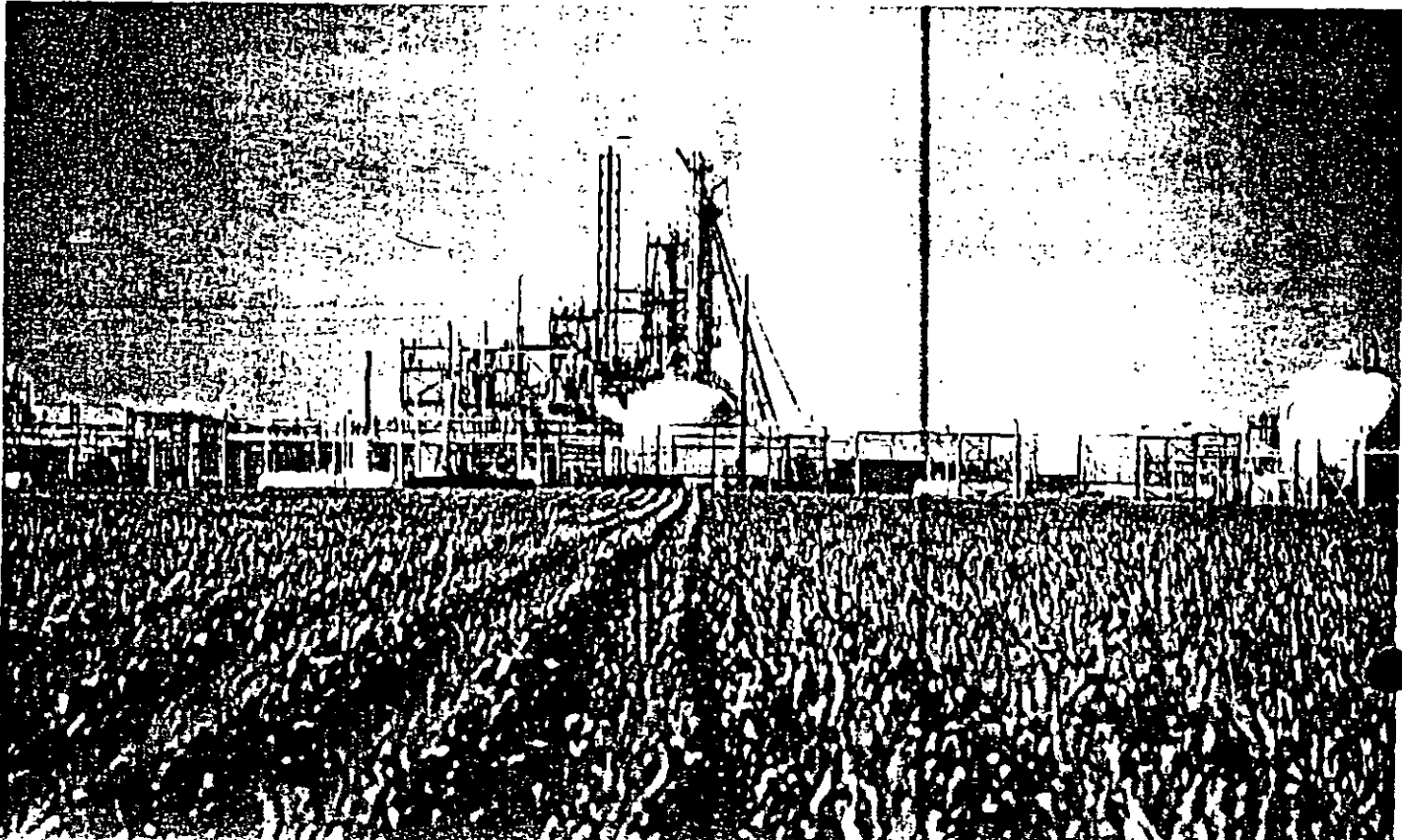
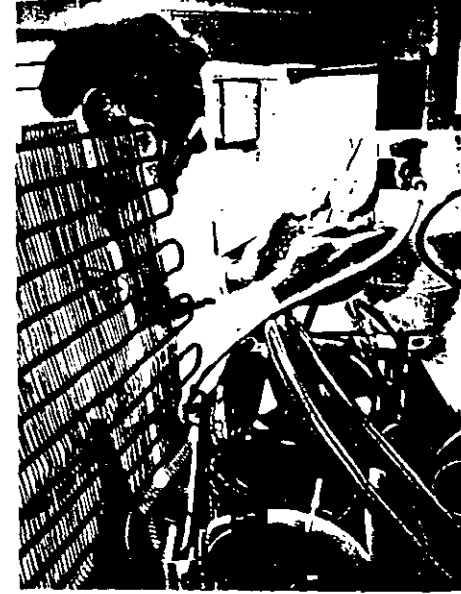


Nuestro compromiso al futuro de la refrigeración

DuPont está comprometido con la industria de refrigeración, nuestros clientes y el medio ambiente. Es nuestra meta continuar trabajando unidos a los fabricantes de equipo para asegurar una transición fácil y ordenada a los refrigerantes alternativos. Hemos invertido más de 400 millones de dólares a la fecha en el desarrollo y producción alternativo y ahora tenemos siete plantas comerciales en operación. Millones de libras de refrigerantes alternativos se producen anualmente en estas plantas: Corpus Christi, Texas; Maitland,

Ontario, Canadá; Deepwater, New Jersey; y Chiba, Japón.

DuPont es un socio del programa de pruebas de toxicidad de fluorocarbonos alternativos y el estudio de aceptabilidad ambiental de fluorocarbonos, desarrollados por las compañías que producen los CFC's para asegurar el desarrollo seguro y rápido de productos alternativos. DuPont también ha instituido programas para los clientes para reclamar



refrigerantes usados y para reducir las emisiones. Además, hemos intensificado los esfuerzos con los fabricantes de equipo original (OEM's) para desarrollar nuevos sistemas y reconvertir tecnología para usar productos alternativos. Estos esfuerzos incluyen pruebas completas con los refrigerantes SUVA® en flotas automotrices y en "chillers" y refrigeradores existentes y modificados en los locales de DuPont.

DuPont seguirá enfrentando los retos de nuestra industria mientras que empezamos una transición rápida y segura hacia una nueva era de refrigerantes. DuPont SUVA® - La familia de refrigerantes los cuales son ambientalmente seguros, prácticos y disponibles ahora mismo.





DUPONT S.A. DE C.V.
 Homero No. 206
 Col. Chapultepec Morales
 México DF 11570
 Tel. 5722 1090
 Fax. 5722 1182

¡Tu opinión siempre es importante!

Las pláticas tienen la finalidad de proporcionarles información de aspectos importantes de los refrigerantes DuPont® Suva®. Es por eso que pedimos su ayuda para llenar el siguiente cuestionario, tus respuestas son importantes para que nosotros sigamos mejorando

Fecha ___ / ___ / ___

Nombre: _____
 Empresa _____ Puesto _____
 Dirección _____ No _____ Col _____
 Municipio/Delegación _____ Ciudad _____ CP _____
 Teléfono _____ E-mail _____

¿Cómo se enteró de la plática?

¿A cuántas pláticas técnicas impartidas por DuPont ha asistido?

¿Ha asistido a otras pláticas? Sí () No ()

Si ha asistido a otras pláticas ¿De que empresas ha sido?

¿Cómo calificaría esta presentación?

Excelente () Muy Bien () Bien () Mal () Pésima ()

¿Qué le pareció lo más interesante de la presentación? y ¿Por qué?

¿Qué opina de los refrigerantes DuPont® Suva®?

¿En dónde y/o con quién compra el refrigerante DuPont® Suva®? (Tienda / Proveedor)

¿Cuántas marcas conoce de refrigerantes? Menciónelas

¿Cuál cree que es la mejor tienda/proveedor de refrigerante?

¿Qué opina de los refrigerantes de otras marcas?
