

UNIDAD 22

Condensadores

OBJETIVOS

Después de estudiar esta unidad, usted podrá:

- explicar qué función tiene el condensador en los sistemas de refrigeración.
- describir las diferencias entre las características de funcionamiento de los sistemas enfriados por aire y los sistemas enfriados por agua.
- explicar los conceptos básicos del intercambio de calor en un condensador.
- explicar en qué se diferencia un condensador de tipo serpentín de tubo concéntrico y un condensador concéntrico reparable.
- describir la diferencia entre un condensador de coraza y serpentín y un condensador de tubo y coraza.
- describir un sistema de agua desechable.
- describir un sistema de agua recirculada.
- describir una torre de enfriamiento.
- explicar la relación que existe entre el refrigerante que se condensa y el medio de enfriamiento para sistemas con torres de enfriamiento.
- comparar un condensador enfriado por aire de alta eficiencia con un condensador estándar.
- describir la operación de las válvulas de control de la presión de carga.

LISTA DE COMPROBACIÓN DE SEGURIDAD

- ✓ Utilice gafas protectoras y guantes cuando coloque o retire dispositivos manométricos para transferir refrigerante o verificar las presiones.
- ✓ Lleve ropa abrigadora cuando trabaje en un frigorífico o congelador que tenga acceso al interior. No se puede pensar con claridad en condiciones de frío muy elevadas.
- ✓ Mantenga las manos alejadas de los ventiladores en movimiento. Nunca intente detener los álabes de un ventilador antes de que se detenga por completo una vez desconectada la electricidad.
- ✓ No toque el conducto de gas caliente.

22.1 EL CONDENSADOR

El **condensador** es un dispositivo de intercambio de calor muy similar al evaporador que se encarga de expulsar del sistema el calor que ha sido absorbido por el refrigerante. Este calor se rechaza de un vapor caliente sobrecalentado en sus primeras pasadas por el condensador. La parte media del condensador rechaza calor latente del vapor saturado, el cual está en proceso de cambio de fase a un líquido saturado. Las últimas pasadas por el condensador rechazan calor del líquido subenfriado. Esto subenfriaría aún más el líquido hasta una temperatura menor que su temperatura de condensación. De hecho, las tres funciones de un condensador normal son *eliminar el sobrecalentamiento, condensar y subenfriar* el refrigerante. Cuando

el calor se absorbe en el sistema, se encuentra en el punto de cambio de estado (de líquido a vapor) del refrigerante donde se absorbe la mayor cantidad de calor. Lo mismo ocurre, pero a la inversa, en el condensador; es decir, es justamente en el punto de cambio de estado (de vapor a líquido) cuando se rechaza más cantidad de calor.

El condensador funciona a presiones y temperaturas más elevadas que el evaporador y suele estar situado en el exterior. Se aplican los mismos principios al intercambio de calor en el condensador que en el evaporador. Los materiales de los que está hecho el condensador y el medio que se utiliza para la transferencia de calor tienen un efecto en la eficiencia del intercambiador de calor.

22.2 CONDENSADORES ENFRIADOS POR AGUA

Los primeros condensadores de refrigeración comerciales se enfriaban con agua. Estos condensadores eran bastante rudimentarios comparados con los dispositivos enfriados con agua más modernos, **figura 22-1**. Los condensadores enfriados por agua son más eficientes comparados con los condensadores enfriados por aire y funcionan a temperaturas de condensación mucho más bajas. El equipo enfriado por agua puede ser de muchos estilos. Los condensadores de tubo concéntrico, los de coraza y serpentín y los de tubo y coraza son los más comunes.

22.3 CONDENSADORES DE TUBO CONCÉNTRICO

Hay dos tipos de condensadores de **tubo concéntrico**: el de serpentín y el de extremos embrizados, que se puede limpiar; **figura 22-2**.

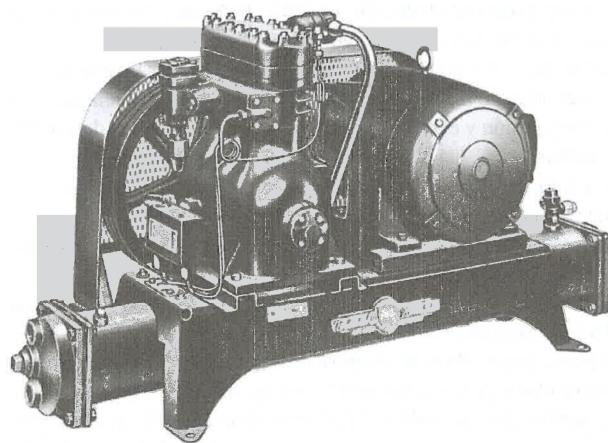
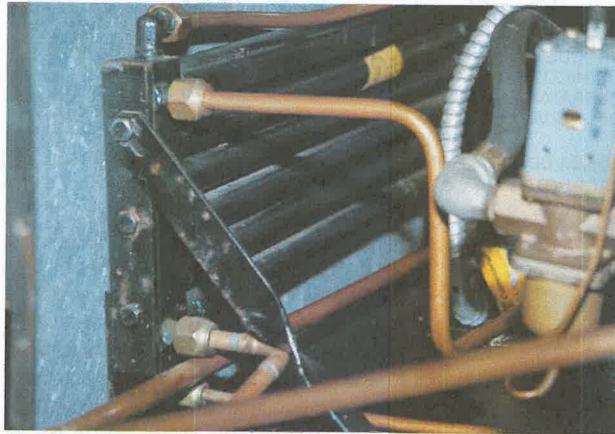
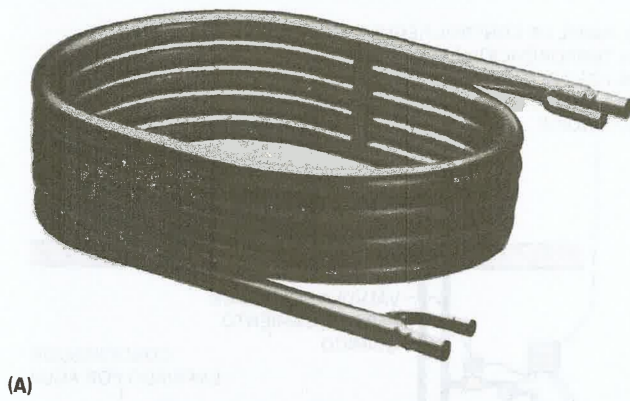


Figura 22-1 Una de las primeras unidades de condensación enfriada por agua. Cortesía de Tecumseh Products Company



(B)

Figura 22-2 Dos tipos de condensadores de tubo concéntrico. (A) De tubo concéntrico en forma de serpentín. (B) Condensador de tipo embridado. El condensador embridado se puede limpiar removiendo sus bridas. La remoción de las bridas sólo abre el circuito de agua, no el circuito de refrigerante. (A) Cortesía de Noranda Metal Industries, Inc. (B) Fotografía de Bill Johnson

Los condensadores de tubo concéntrico tipo serpentín se fabrican deslizando un tubo en el interior de otro y luego sellando sus extremos de tal manera que el tubo exterior se convierte en un recipiente y el tubo interior en otro, **figura 22-3**. Luego las dos piezas se conforman en un serpentín para ahorrar espacio. El intercambio de calor se tiene entre el fluido dentro del tubo exterior y el fluido dentro del tubo interior, **figura 22-4**. Dado que el agua fluye por el tubo interior y el refrigerante fluye por el tubo exterior, el refrigerante caliente también puede rechazar parte de su calor al aire circundante. Sin embargo, la mayor parte del calor que se rechaza es del refrigerante al agua debido a la densidad mayor, al gasto del flujo y al calor específico del agua.

22.4 DEPÓSITOS MINERALES

Como el agua fluye por uno de los tubos, y ésta contiene minerales, se formarán depósitos minerales y costras incluso con agua de buena calidad. El calor en la vecindad del gas de descarga tiene tendencia a ocasionar que los minerales en el agua se depositen

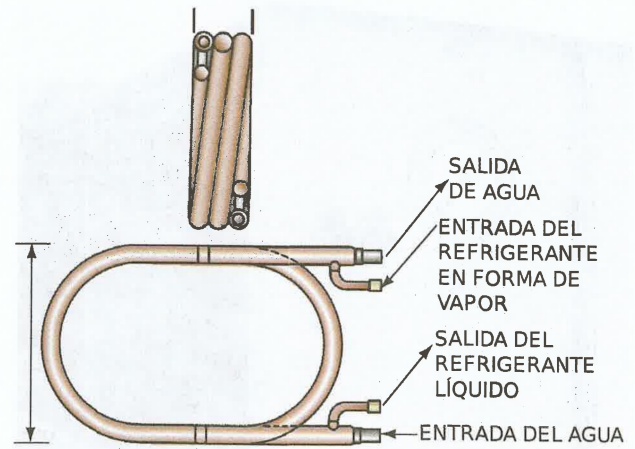


Figura 22-3 Un condensador de tubo concéntrico construido deslizando un tubo en otro. Los tubos se sellan de forma tal que el tubo interior queda separado del tubo exterior. Cortesía de Noranda Metal Industries, Inc.

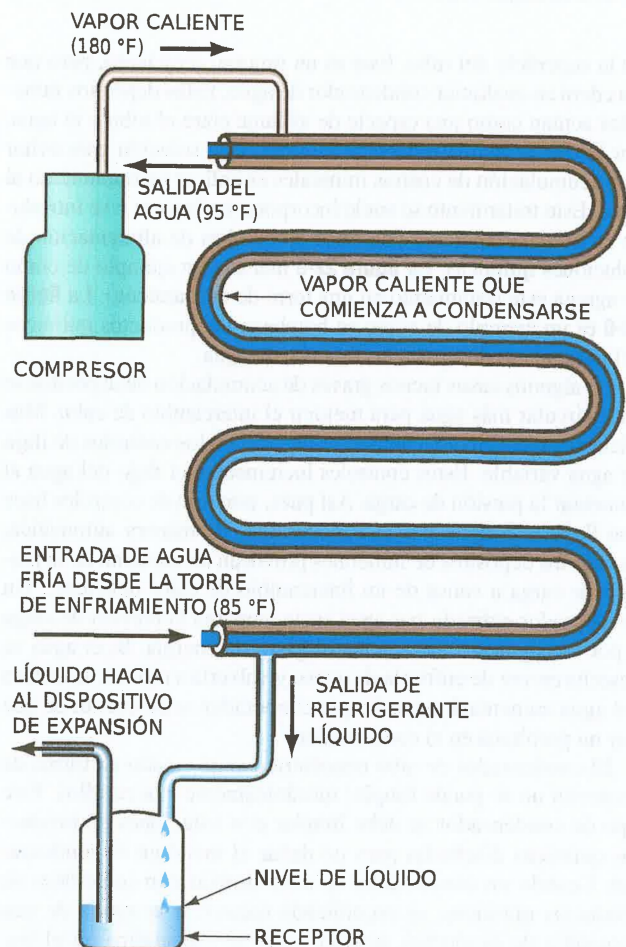


Figura 22-4 Flujo de un fluido en el condensador. El refrigerante fluye en una dirección y el agua en otra, que se llama a contracorriente.

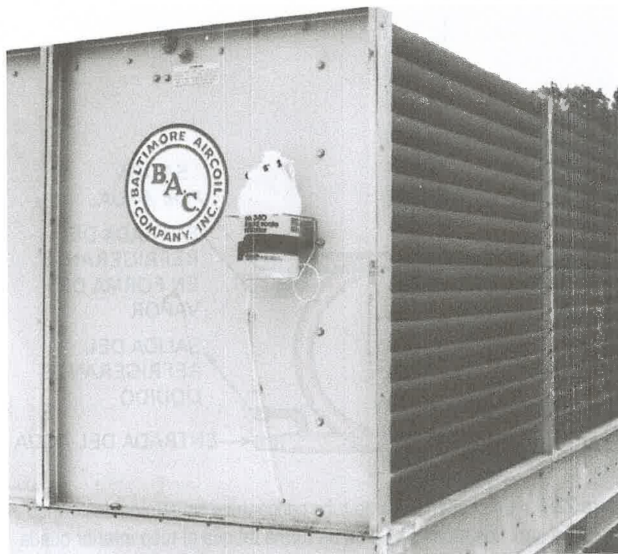


Figura 22-5 Método para incorporar un tratamiento de agua a la torre de enfriamiento. El tratamiento se dosifica a una tasa tal que durará aproximadamente un mes, de manera que el operador no tendrá que atender la torre en todo momento. El agua de la torre se purga de manera constante hacia el drenaje para evitar que los minerales se concentren demasiado en el agua. *Cortesía de Calgon Corporation*

en la superficie del tubo. Este es un proceso muy lento, pero que sucederá en cualquier condensador de agua. Estos depósitos minerales actúan como una especie de aislante entre el tubo y el agua, por lo que se deben reducir al mínimo. Una solución para evitar esta acumulación de costras minerales es aplicar un tratamiento al agua. Este tratamiento se suele incorporar en la torre o se introduce en el agua mediante una serie de bombas de alimentación de soluciones químicas. La **figura 22-5** muestra un ejemplo de cómo se agrega este tratamiento en una torre de enfriamiento. La **figura 22-6** es un ejemplo de cómo se bombean los productos químicos del tratamiento de agua a las tuberías de agua.

En algunos casos menos graves de acumulación de depósitos se hace circular más agua para mejorar el intercambio de calor. Más adelante en esta misma unidad se introducen los controles de flujo de agua variable. Estos controles incrementan el flujo del agua al aumentar la presión de carga. Así pues, este tipo de controles hace que fluya más agua por el condensador, de manera automática, cuando los depósitos de minerales provocan un aumento de la presión de carga a causa de un intercambio de calor deficiente. Un condensador enfriado por agua sucio aumenta la presión de carga y por consiguiente incrementa el gasto de energía. Si el agua se desecha en vez de enfriarla de nuevo y volverla a utilizar, la factura del agua aumentará antes de que el operador se dé cuenta de que hay un problema en el condensador.

El condensador de tubo concéntrico conformado en forma de serpentín no se puede limpiar mecánicamente con cepillos. Este tipo de condensador se debe limpiar con soluciones de productos químicos diseñadas para no dañar el metal en el condensador. Cuando un condensador se debe limpiar con soluciones de productos químicos, se recomienda recurrir a la ayuda de una compañía de productos químicos que se especialice en el tratamiento de agua. Es usual que los condensadores de este tipo estén hechos de cobre o acero; algunos condensadores especiales se fabrican de acero inoxidable o cobre y níquel.

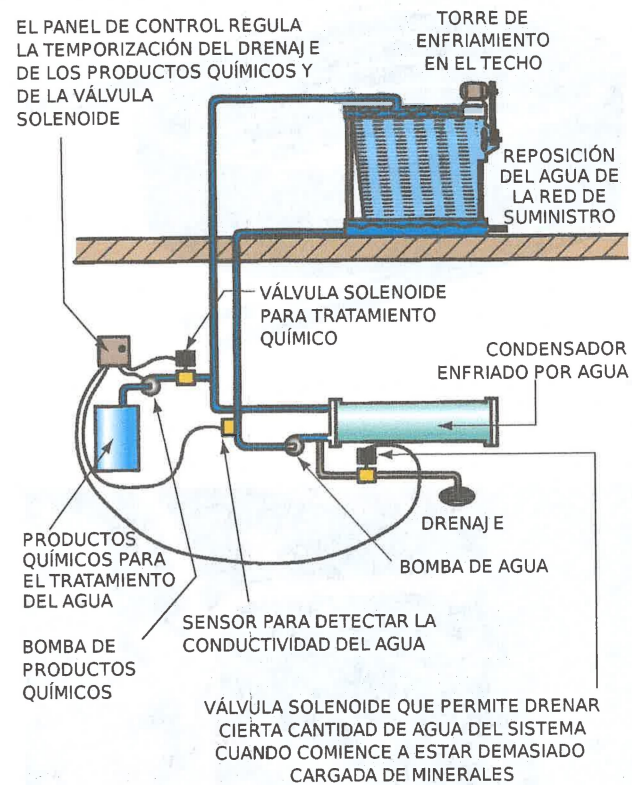


Figura 22-6 Sistema automático de suministro de los productos químicos para tratar el agua. Incluye un sistema de control automático que determina cuándo el sistema en realidad necesita que se agreguen los productos químicos. Este método se suele utilizar en sistemas de gran tamaño, porque su costo total resulta económico.

22.5 CONDENSADORES LIMPIABLES

Los condensadores de tubo concéntrico con bridas en los extremos sí se pueden limpiar mecánicamente. Es posible extraer las bridas y examinar y limpiar los tubos con cepillos adecuados, **figura 22-7**. Las bridas y los empaques en este tipo de condensadores se encuentran en el circuito de agua con el refrigerante fluyendo alrededor de los tubos. No se requiere abrir el circuito del refrigerante para limpiar los tubos. La **figura 22-8** muestra cómo se limpian dichos tubos. Consulte el fabricante para informarse de cuáles son los cepillos adecuados. Normalmente se prefieren cepillos de fibra. Este tipo de condensador es bastante más caro, pero se puede limpiar.

22.6 CONDENSADORES DE CORAZA Y SERPENTÍN

El condensador de coraza y serpentín es similar al serpentín concéntrico. Se trata de un serpentín de tubos empaquetados en una coraza que, posteriormente, se cierra y se suelda. Por lo común, el gas refrigerante se descarga en esta coraza y el agua circula por el tubo que hay en ella. La coraza del condensador sirve como tanque de almacenamiento que recibe el excedente de refrigerante del sistema. Este condensador no se puede limpiar por medios mecánicos porque el serpentín no es recto, **figura 22-9**, por lo que se debe limpiar con productos químicos.

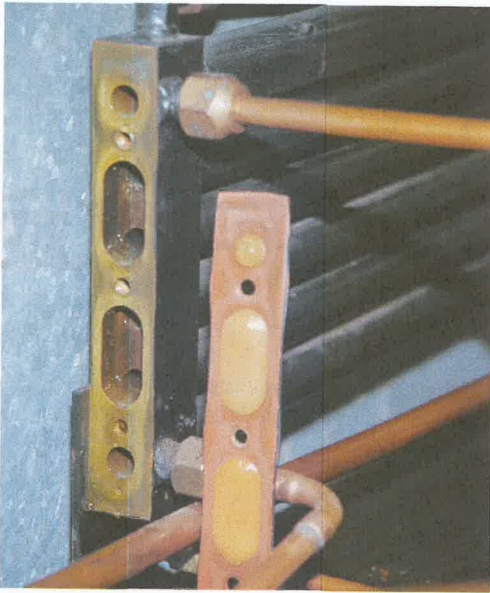
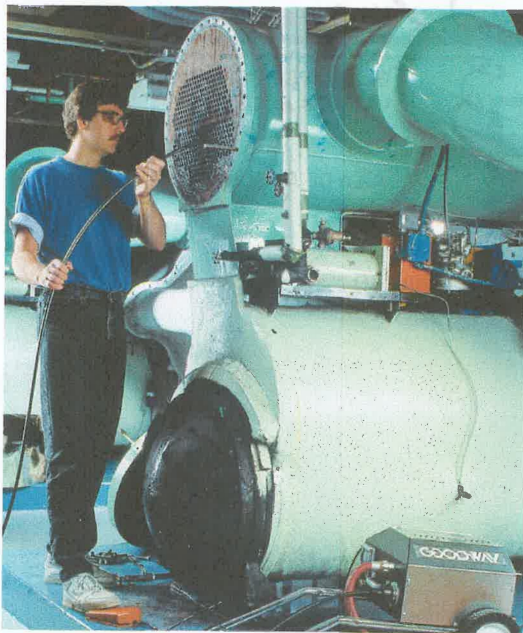
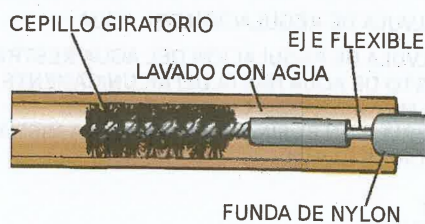


Figura 22-7 Este condensador dispone de bridas que permiten limpiarlo. Cuando estas bridas se remueven, el circuito del refrigerante no se afecta. Fotografía de Bill Johnson



(A)



(B)

Figura 22-8 (A) Introducción de un cepillo por el lado del agua del condensador. Sólo utilice cepillos aprobados. (B) Vista en corte de un cepillo dentro de un tubo. Cortesía de Tools Corporation

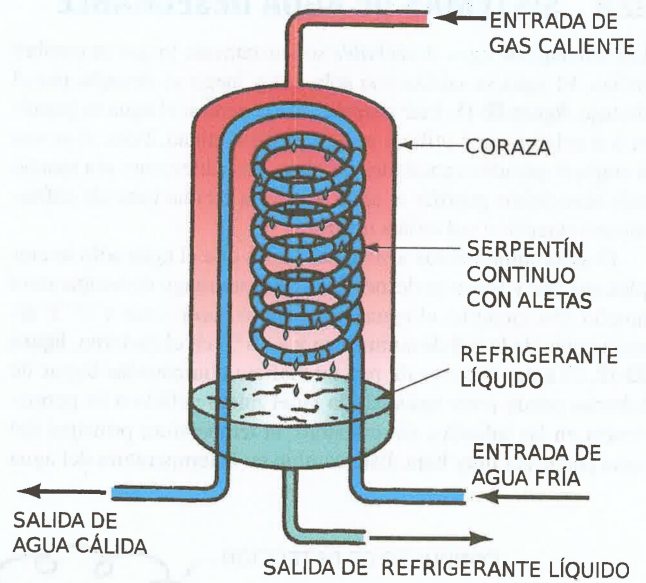


Figura 22-9 Condensador de coraza y serpentín. El gas refrigerante caliente se bombea a la coraza y el agua se encuentra en el interior de los tubos.

22.7 CONDENSADORES DE TUBO Y CORAZA

Los condensadores de tubo y coraza son mucho más costosos que los condensadores de coraza y serpentín, pero se pueden limpiar mecánicamente con cepillos. Se construyen asegurando los tubos a una lámina terminal de la coraza. El refrigerante se descarga a la coraza y el agua circula por los tubos. Los extremos de la coraza son como tapas terminales (denominadas *cajas para agua*) y el agua circula por ellos, **figura 22-10**. Estas tapas terminales se pueden desmontar, por lo que, si se requiere, es posible limpiar y examinar los tubos. La coraza actúa un como tanque de almacenamiento que recibe el refrigerante excedente. Este condensador es más caro, por lo que se suele utilizar generalmente en aplicaciones de gran tamaño.

El condensador enfriado por agua se utiliza para remover el calor del refrigerante. Una vez que se ha expulsado del refrigerante, ahora el calor estará en el agua, la cual se calentará. En este punto, se pueden hacer dos cosas: (1) desechar el agua o (2) bombear el agua a un lugar remoto, removerle el calor y volver a utilizarla.

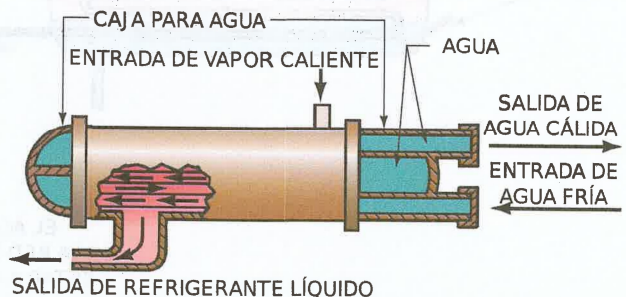


Figura 22-10 El agua se puede hacer circular hacia adelante y atrás por el condensador, empleando las tapas terminales para encauzar el agua en la dirección correcta.

22.8 SISTEMAS DE AGUA DESECHABLE

Los *sistemas de agua desechable* son justamente lo que su nombre indica. El agua se utiliza una sola vez y luego se desecha por el drenaje, **figura 22-11**. Este sistema vale la pena si el agua es gratuita o si sólo hay que utilizar una pequeña cantidad. Pero, si se van a emplear grandes cantidades de agua, probablemente sea mucho más económico guardar el agua, enfriarla en una torre de enfriamiento exterior y volverla a utilizar.

El agua suministrada a sistemas en los que el agua sólo se emplea una vez y luego se desperdicia, tiene un rango de temperatura amplio. Por ejemplo, el agua en el verano puede estar a 75 °F directamente de la red de suministro y a 40 °F en el invierno, **figura 22-12**. El agua que circula por un edificio con corridas largas de tuberías puede tener agua cálida en el inicio debido a su permanencia en las tuberías; sin embargo, la temperatura principal del agua puede ser muy baja. Este cambio en la temperatura del agua

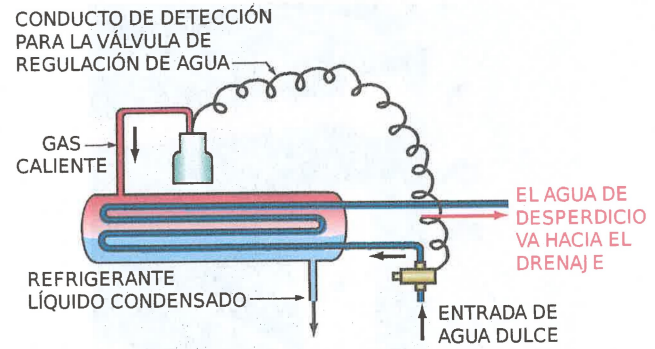


Figura 22-11 Sistema de agua desechable utilizado cuando hay agua en abundancia a un costo muy bajo, como la de un pozo o un lago.

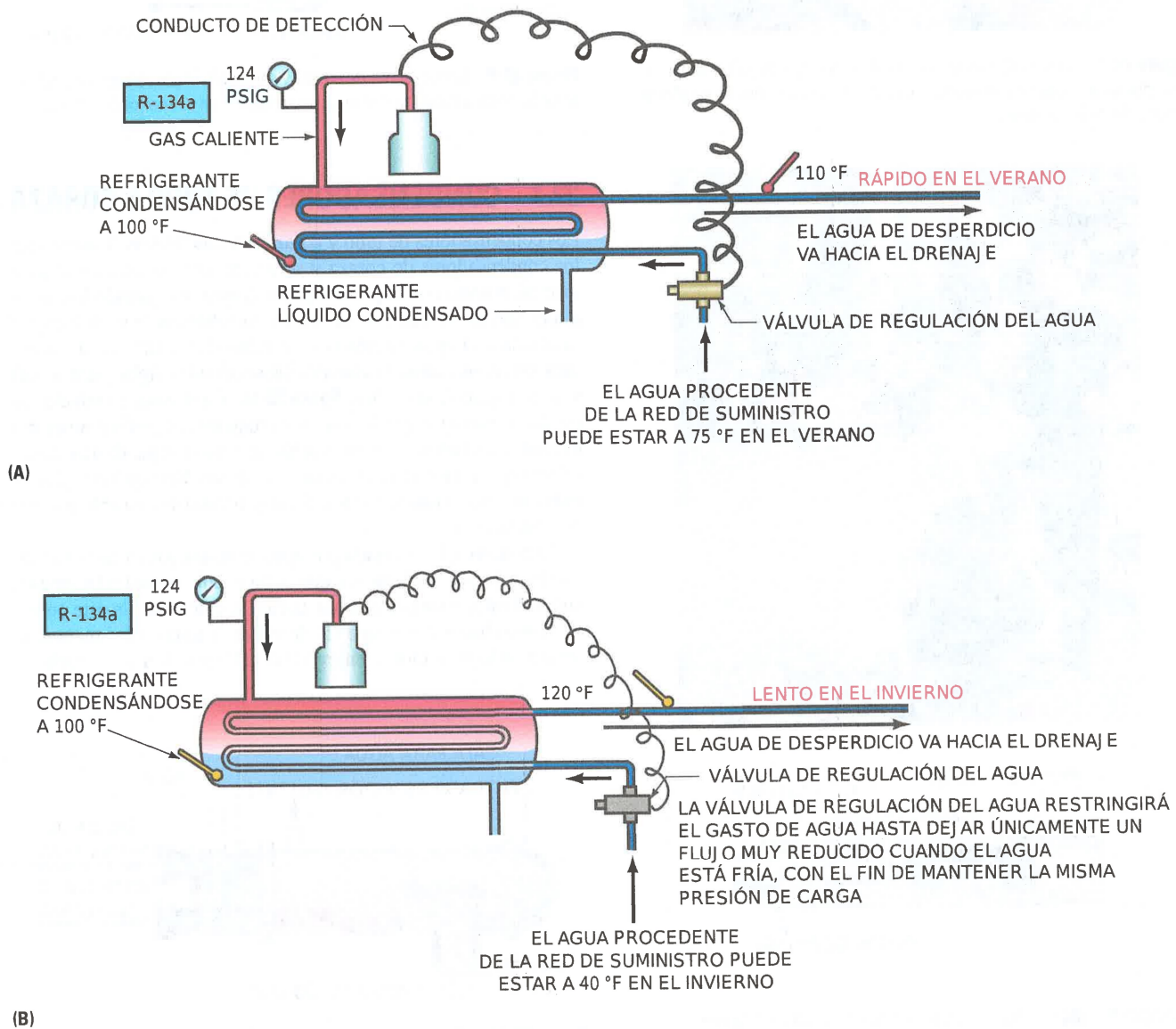


Figura 22-12 El sistema del condensador de agua desechable en dos condiciones diferentes. **(A)** En el verano cuando entra agua cálida en el sistema. **(B)** En el invierno cuando entra agua más fría en el sistema.

tiene un efecto en la presión de carga del refrigerante (temperatura de condensación). Un sistema común de agua desechable, con agua que entra a 75 °F utiliza 1.5 gal/min por tonelada de refrigeración. En el invierno, cuando la temperatura del agua es menor, el flujo de agua requerido será menor.

22.9 RELACIÓN DE TEMPERATURA ENTRE EL AGUA Y EL REFRIGERANTE PARA SISTEMAS DE AGUA DESECHABLE

En un sistema de agua desechable el flujo del agua se puede variar para adecuarlo según las necesidades por medio de una válvula de regulación. Esta válvula tiene una toma de presión que sujeta el fuelle en el control hacia el lado a alta presión del sistema. Cuando la presión de carga aumenta, la válvula se abre con lo que permite que fluya más agua por el condensador para mantener correcta la presión de carga, **figura 22-13(A)**.

Esta válvula mantendrá una presión de carga constante al permitir que pase más o menos agua hacia el condensador enfriado por agua conforme cambie la presión de carga. La **figura 22-13(A y B)** muestra una flecha de dirección estampada en el cuerpo de la válvula para hacerle saber al técnico de mantenimiento que la válvula se debe instalar de manera que el flujo de agua sea en la dirección indicada por la flecha. La **figura 22-13(B)** indica que un aumento de la presión de carga pondrá más presión sobre el fuelle flexible y empujará la barra móvil para abrir la válvula y así dejar pasar más agua por el condensador. Esto a su vez mantendrá constante la presión de carga en el punto de ajuste del resorte. La presión del resorte se puede ajustar girando el ajuste de la tensión del resorte que se ubica en la parte superior de la válvula. Se puede utilizar una llave de servicio de refrigeración, un destornillador de punta estándar o una llave ajustable para girar el ajuste de la tensión del resorte. Una placa de retención del resorte con roscas hembra sube y baja sobre un tornillo estacionario cuando se ajusta la tensión del resorte, **figura 22-13(C)**. Una flecha en la parte superior de la válvula indica que un giro en sentido contrario al de las manecillas del reloj aumentará el ajuste de la presión de carga al permitir la entrada de menos agua. Un manómetro de presión que está conectado en el lado alto del sistema de refrigeración mientras se cambia la tensión del resorte de la válvula reguladora de agua indicará la presión de carga casi de manera instantánea. La **figura 22-13(D)** muestra la placa de especificaciones de la válvula y los refrigerantes para los que está diseñada. Estas válvulas tienen un rango de presión máxima del agua y del refrigerante estampados en la placa de especificaciones por motivos de seguridad y de operación. Observe que esta válvula puede manejar una presión de agua de 150 psig máximo y que su rango de ajuste, o presión del refrigerante, es de 70 a 260 psig. La **figura 22-13(E)** muestra una válvula de regulación de agua funcionando con un condensador enfriado por agua de tubo concéntrico. La válvula de regulación de agua se puede limpiar levantando el resorte desde abajo con dos destornilladores de punta estándar. Esto expulsará los depósitos de costra sueltos, suciedad o arena del cuerpo de la válvula.

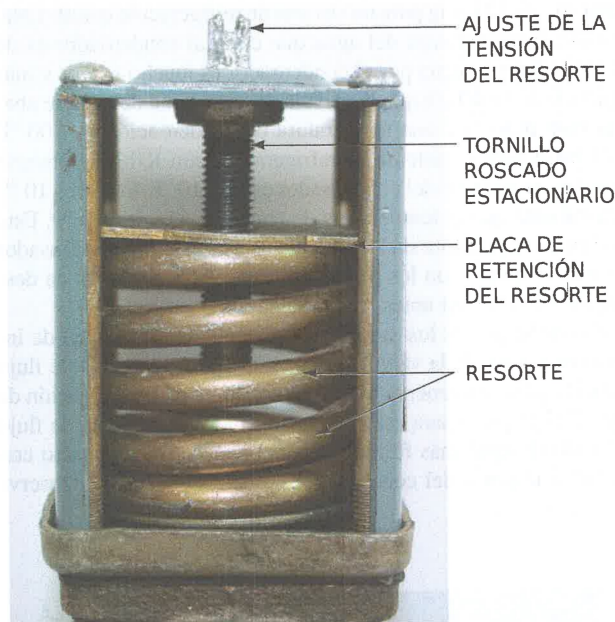
Los sistemas de agua desechable a menudo tienen una entrada de agua con temperaturas que varían con la temporada. Por ejemplo, en el verano, el agua de la red de suministro hacia el condensador enfriado por agua puede estar a una temperatura de 75 °F. Sin embargo, en los meses de invierno, el agua puede tener una temperatura tan baja como 40 °F. La **figura 22-12** ilustra una válvula de regulación de agua que mantiene una presión de carga

constante de 124 psig para un sistema de refrigeración con R-134a. Cuando la temperatura del agua que entra al condensador es de 75 °F, el flujo de agua por el condensador es mucho mayor y más rápido. Esto se debe a que la válvula de regulación de agua se abre más para mantener una temperatura de condensación de 100 °F (124 psig) para el sistema de refrigeración con R-134a. Observe que el agua que sale del condensador está a 110 °F, lo que es 10 °F más caliente que la temperatura de condensación de 100 °F. Este fenómeno se presenta dado que el agua que sale del condensador entra en contacto con los gases calientes sobrecalentados de descarga del compresor antes de que salga rumbo al drenaje.

Sin embargo, en los meses de invierno, cuando el agua de ingreso está a 40 °F, la válvula regulará el agua a un gasto de flujo reducido para mantener la misma temperatura de condensación de 100 °F (124 psig) para este sistema. Debido a este gasto de flujo reducido de agua más fría, el agua permanecerá en contacto con los tubos internos del condensador durante más tiempo. Observe



Figura 22-13 (A) Esta válvula de regulación del agua controla el flujo de agua durante periodos de demanda diferentes. (B) Componentes internos de una válvula de regulación de agua. (A) Fotografía de Bill Johnson. (B) Cortesía de la Ferris State University. Fotografía de John Tomczyk

AJUSTE DE LA
TENSION
DEL RESORTETORNILLO
ROSCADO
ESTACIONARIOPLACA DE
RETENCION
DEL RESORTE

RESORTE

(C)

REFRIGERANTES
CONSIDERADOS
EN EL DISEÑO
DE LA VÁLVULAPLACA DE
ESPECIFICACIONES

(D)



(E)

Figura 22-13 (continuación) (C) Parte superior de la válvula de regulación de agua que muestra el resorte de ajuste, el tornillo roscado y la placa de retención. (D) Placa de especificaciones para una válvula de regulación de agua. (E) Limpieza de una válvula de regulación. (C) Cortesía de la Ferris State University. Fotografía de John Tomczyk. (D) Cortesía de la Ferris State University. Fotografía de John Tomczyk. (E) Cortesía de la Ferris State University. Fotografía de John Tomczyk

que esto ha causado que la temperatura de salida del agua sea de 120 °F.

Debido al flujo variable y a la temperatura variable del agua que fluye por un sistema de agua desechable durante temporadas diferentes del año, no existe una relación entre la temperatura del refrigerante y la del agua o una regla básica que pueda seguir el técnico en estos sistemas. El técnico de mantenimiento simplemente debe confiar en la válvula de regulación de agua para dejar pasar más o menos agua a diferentes temperaturas a través del compresor para mantener una presión de carga constante de 124 psig.

22.10 SISTEMAS DE AGUA RECIRCULADA

Cuando el sistema es lo suficientemente grande como para que el agua sea una de las principales preocupaciones, entonces se considera utilizar un sistema que haga volver a circular el agua. Este sistema utiliza el condensador para rechazar el calor hacia el agua, igual que en un sistema de agua desechable. Luego el agua se bombea a un área alejada del condensador donde se le remueve el calor, **figura 22-14**. Existe una relación de temperatura conocida entre agua y el refrigerante. El refrigerante por lo común se con-

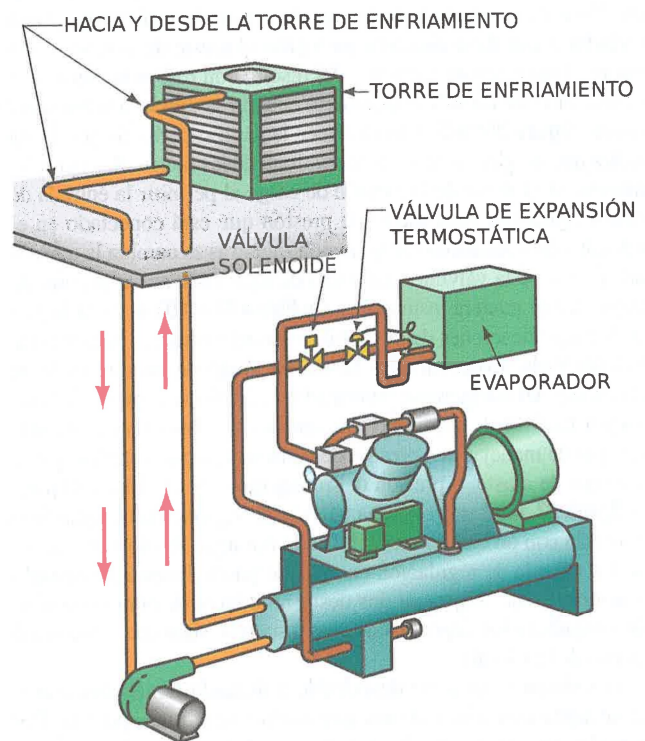


Figura 22-14 Este condensador enfriado por agua absorbe calor del refrigerante y bombea el agua a una torre de enfriamiento que se encuentra en un lugar remoto. El condensador está ubicado cerca del compresor y la torre está ubicada sobre el techo fuera de la estructura.

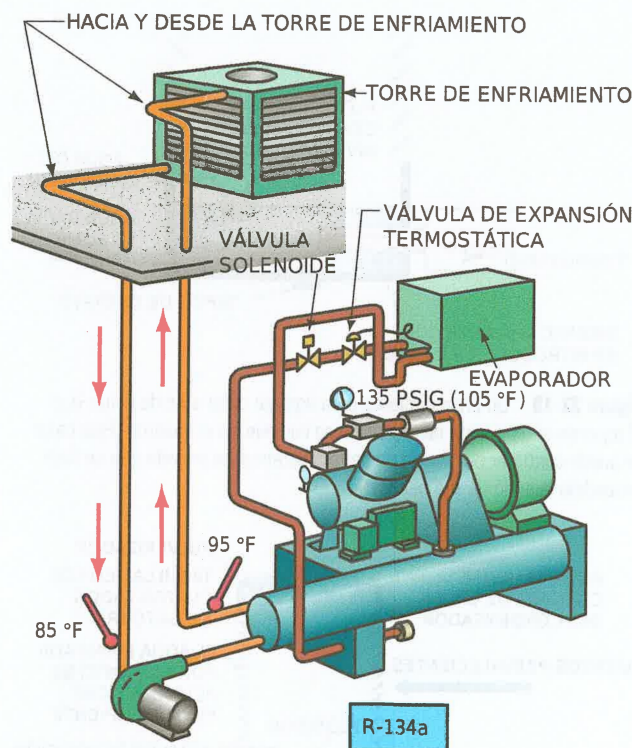


Figura 22-15 Relación del refrigerante de condensación con la temperatura del agua saliente.

densará a una temperatura de aproximadamente 10 °F mayor que la temperatura del agua saliente, **figura 22-15**. Un sistema de agua recirculada fluirá de manera aproximada a 3 gal de agua por minuto por tonelada de refrigeración. La temperatura común de diseño para el agua entrante es de 85 °F y la mayoría de los sistemas tienen un aumento de 10 °F a través del condensador. Por lo tanto, se podría buscar 85 °F en la entrada y 95 °F en la salida cuando el sistema se encuentra ante carga plena.

Como el refrigerante R-134a se condensará a una temperatura de aproximadamente 10 °F mayor que la temperatura del agua saliente, la temperatura de condensación aproximada sería de 105 °F (95 °F + 10 °F). La presión de carga para el R-134a que corresponde a esta temperatura de condensación de 105 °F es de 135 psig.

22.11 TORRES DE ENFRIAMIENTO

La **torre de enfriamiento** es un dispositivo que se encarga de pasar el aire exterior sobre el agua para remover de ella el calor del sistema. La capacidad de las torres de enfriamiento está limitada por la cantidad de evaporación que tiene lugar. La velocidad de la evaporación está relacionada con la temperatura de bulbo húmedo del aire exterior (humedad). En general, la torre de enfriamiento puede enfriar el agua que vuelve al condensador hasta dentro de 7 °F de la temperatura de bulbo húmedo del aire exterior, **figura 22-16**. Con aire a 78 °F de temperatura de bulbo húmedo entrando a la torre de refrigeración, el agua en la torre se puede enfriar a 85 °F. Esta configuración de la torre está disponible en tamaños de aproximadamente 2 ton de refrigeración y mayores. Las torres pueden ser de tres tipos: (1) de tiro natural, (2) de tiro forzado o (3) de evaporación.

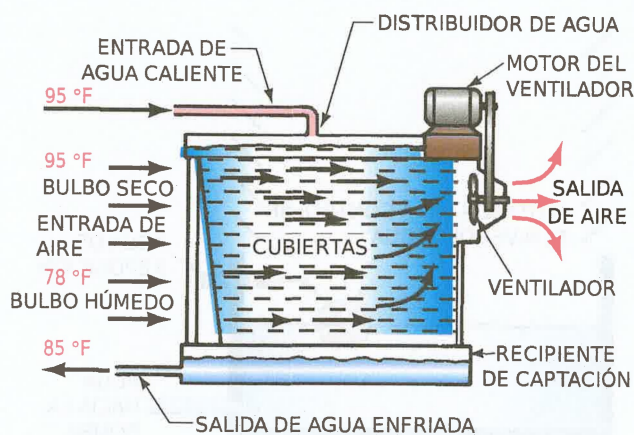


Figura 22-16 Relación de una torre de enfriamiento de tiro forzado con el aire ambiente. El rendimiento de la torre de refrigeración depende de la temperatura de bulbo húmedo del aire. Ésta está relacionada con la humedad y la capacidad del aire para absorber la humedad.

22.12 TORRES DE TIRO NATURAL

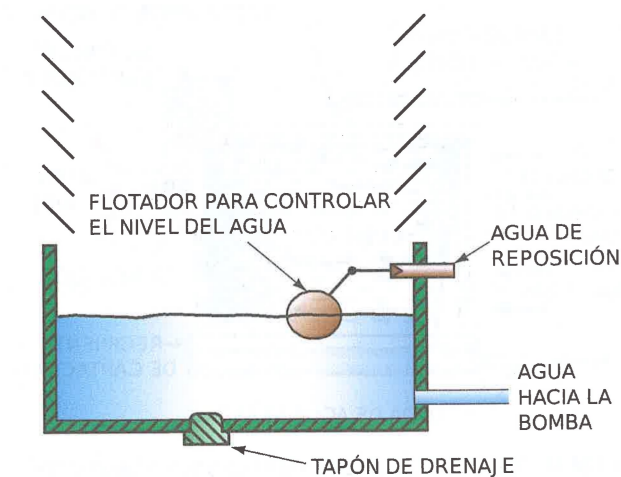
Las **torres de tiro natural** no disponen de un ventilador para mover el aire a través de la torre. Es común que se fabriquen con un material que no se deteriore con el clima, como la secoya, la fibra de vidrio o el metal de chapa galvanizada.

Dado que las torres de tiro natural se basan en las corrientes naturales prevalecientes que hacen pasar el aire a través de ellas, tienen que estar situadas en la ruta de los vientos prevalecientes. El agua se pulveriza en la parte superior de la torre mediante espreas y parte de esta agua se evapora conforme cae a la parte inferior de la torre, en donde se recolecta en un recipiente de captación. Esta evaporación extrae calor del agua restante que se agrega a la capacidad de la torre. El agua que se evapora se debe compensar, por lo que se utiliza un sistema de reposición con un flotador conectado al suministro de agua, que restituye el agua evaporada agregando automáticamente agua fresca, **figura 22-17(A y B)**.

La ubicación de las torres se debe elegir con mucho cuidado, ya que si se coloca en una esquina entre dos edificios en donde la brisa no pueda pasar, la temperatura del agua será más alta de lo normal, lo que se derivará en presiones de carga más altas de lo usual, **figura 22-18**.

En estas torres hay que considerar dos factores relacionados con el clima:

1. En los sistemas de refrigeración hay que hacer funcionar esta torre en invierno; si no se proporciona una protección adecuada contra el hielo, el agua se puede congelar en determinados climas. Una solución para esto es agregar calor al agua en el recipiente de captación de la torre o bien utilizar anticongelante, **figura 22-19**.
2. Es posible que el agua se enfríe lo suficiente como para provocar una caída de la presión de carga. A fin de evitar que esto ocurra se podría instalar una válvula de regulación de agua. Las torres de tiro natural se pueden ver en la parte superior de los edificios, como estructuras que se asemejan a tablillas. Estas tablillas evitan que el aire expulse el agua fuera de la torre, **figura 22-20**.



(A)



(B)

Figura 22-17 (A) Sistema de agua de reposición en una torre de enfriamiento. Como el desempeño de la torre de enfriamiento depende en parte de la evaporación del agua de la torre, se requiere de esta reposición. (B) Agua de reposición con el conjunto de flotador y válvula de agua. En el fondo se aprecia el material de relleno plástico en forma de panal. *Cortesía de la Ferris State University. Fotografía de John Tomczyk*

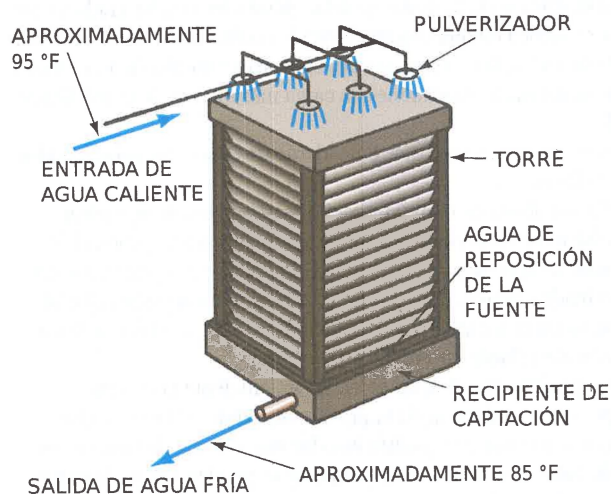


Figura 22-18 Torre de enfriamiento de tiro natural (se debe ubicar en el camino de los vientos prevaletentes).

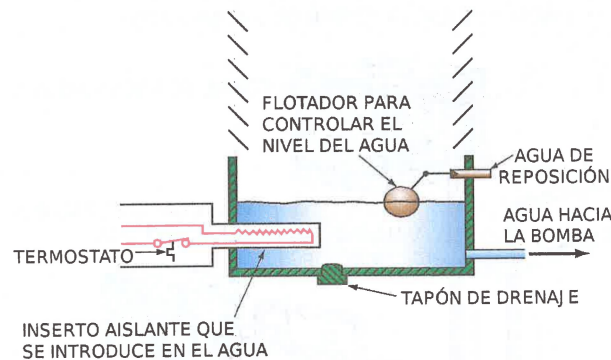


Figura 22-19 Un procedimiento para agregar calor a fin de evitar que el agua en el recipiente de captación se congele en el invierno. Este calor se puede controlar por medio de un termostato para impedir que se deje encendido cuando no sea necesario.

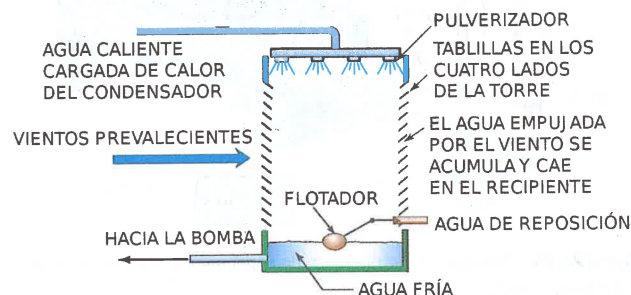


Figura 22-20 Las tabillas a los costados de la torre de enfriamiento de tiro natural mantienen el agua dentro de la torre cuando sopla el viento.

22.13 TORRES DE TIRO FORZADO O INDUCIDO

Las torres de enfriamiento *de tiro forzado o inducido* se diferencian de las torres de tiro natural en que disponen de un ventilador que mueve el aire sobre una superficie mojada, **figura 22-21**. Normalmente están diseñadas de forma que se bombea el agua caliente procedente del condensador hasta un recipiente plano que se encuentra en la parte superior de la torre. Este recipiente tiene una serie de orificios calibrados para dejar pasar una cantidad especificada de agua a través del material de relleno, **figura 22-22(A)**. Los agujeros calibrados en el recipiente en la parte superior de la torre de enfriamiento a menudo se tapan con costra que se forma por el contenido de minerales en el agua, **figura 22-22(B)**. Esto puede causar un flujo errático del agua a través del material de relleno en la torre de enfriamiento, por lo que la torre será menos eficiente. El material de relleno suele estar hecho de secoya o fibra artificial y es la superficie sobre la cual el ventilador mueve el aire para evaporar y enfriar el agua, **figura 22-23**. En la actualidad, los materiales de relleno modernos utilizados en las torres de enfriamiento usualmente se hacen de un material plástico moldeado en un patrón con forma de panal para tener mayores eficiencias y por facilidad de limpieza, **figura 22-17(B)**. Conforme se evapora el agua, va siendo reemplazada mediante un sistema de reposición de agua en el que se utiliza un flotador, de un modo muy parecido a las torres de tiro natural.

Las torres de tiro forzado o inducido se pueden colocar prácticamente en cualquier lugar, porque el ventilador es el que mueve el aire. Incluso se pueden ubicar en el interior de los edificios, en donde el aire entra y sale a través de conductos, **figura 22-24**. La

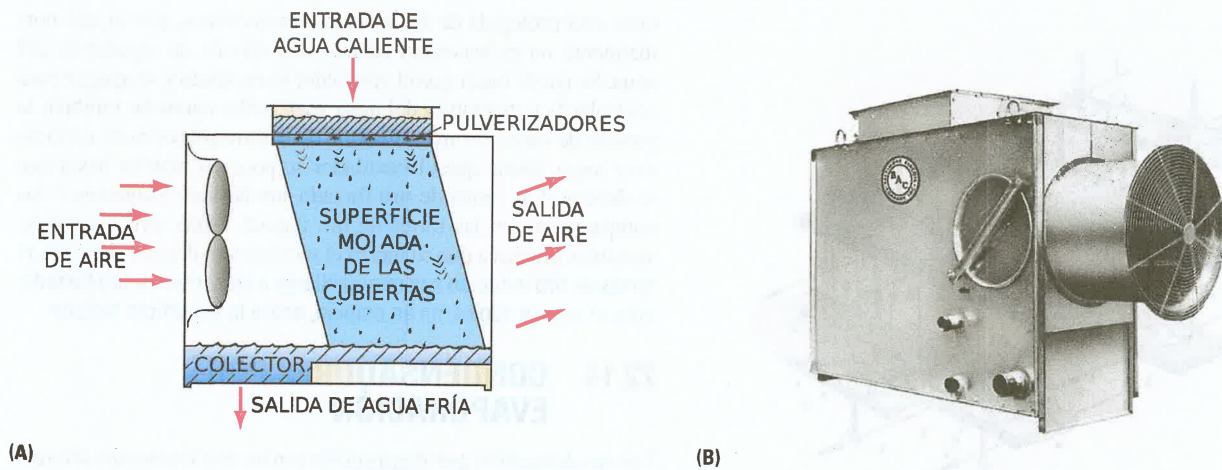
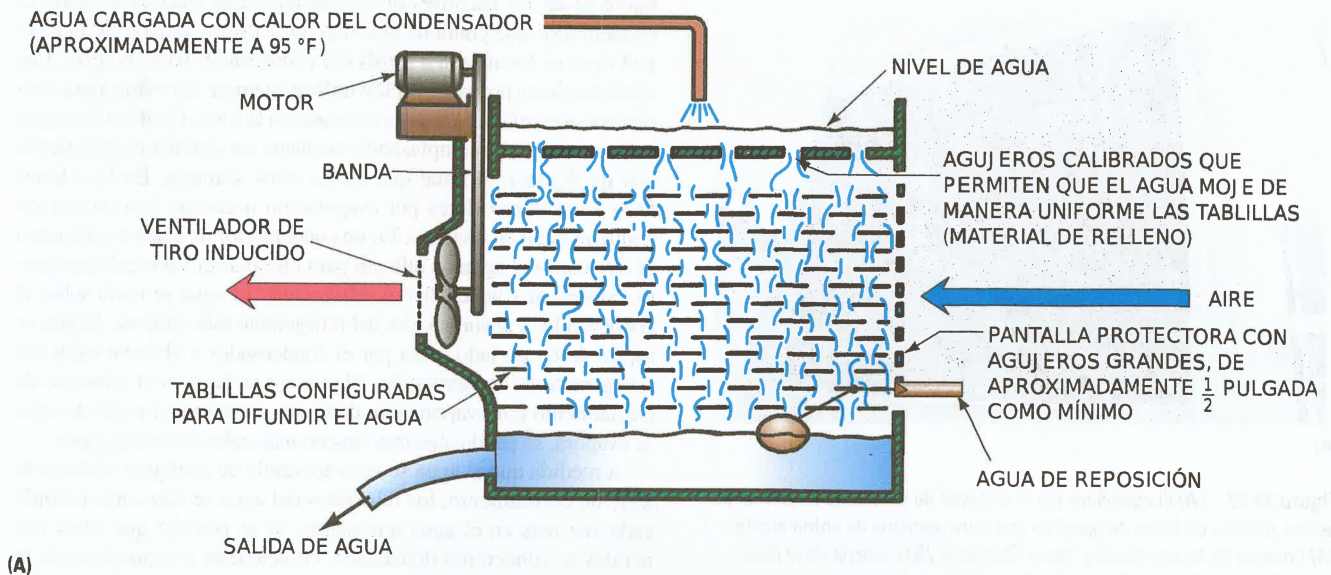


Figura 22-21 (A) Torre de tiro forzado. (B) Torre de tiro inducido. Cortesía de Baltimore Aircoil Company, Inc.

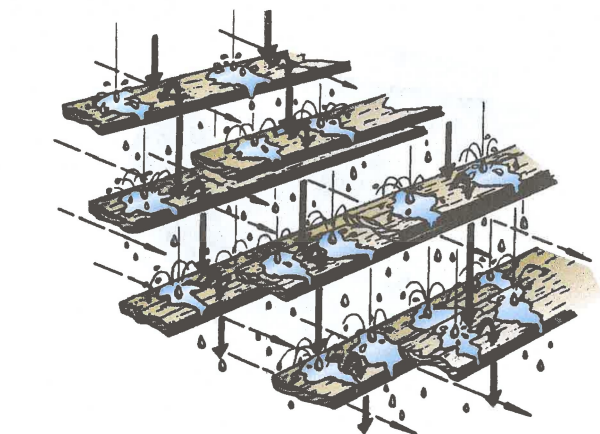


(A)



(B)

Figura 22-22 (A) Agujeros calibrados en la parte superior de una torre de tiro inducido. Los agujeros distribuyen el agua sobre el material de relleno que está más abajo que los agujeros. (B) Los agujeros calibrados en la parte superior de una torre de enfriamiento que presentan depósitos significativos de minerales que bloquean el flujo de agua hacia el material de relleno. Cortesía de la Ferris State University. Fotografía de John Tomczyk



(A)



(B)

Figura 22-23 (A) El agua fluye por el material de relleno. (B) Material de relleno plástico en forma de panel en una torre moderna de enfriamiento. (A) Cortesía de Marley Cooling Tower Company. (B) Cortesía de la Ferris State University. Fotografía de John Tomczyk

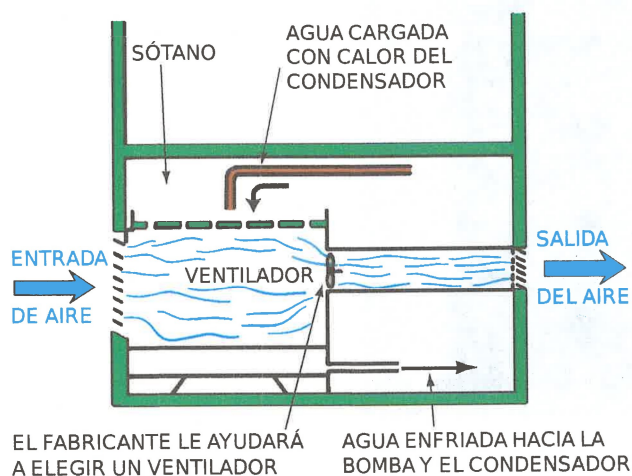


Figura 22-24 Torre de tiro inducido ubicada dentro de un edificio con un conducto que lleva el aire hacia el exterior.

torre está protegida de los vientos prevalecientes, por lo que normalmente no es necesario utilizar una válvula de regulación del agua. Se puede hacer que el ventilador se encienda y se apague para controlar la temperatura del agua y así poder controlar también la presión de carga. La masa de agua de la torre proporciona un ciclo muy largo, desde que el ventilador se pone en marcha hasta que se detiene. Las torres de tiro forzado son bastante pequeñas si las comparamos con las torres de tiro natural. Estas torres son muy versátiles gracias a que se fuerza el movimiento del aire. **NOTA: Las torres de tiro inducido son muy similares a las torres de tiro forzado, pero el aire se aspira, no se empuja, sobre la superficie mojada.**

22.14 CONDENSADORES POR EVAPORACIÓN

Los *condensadores por evaporación* son un tipo totalmente diferente de condensador, porque el condensador del refrigerante en realidad se encuentra en el interior de la torre. Este tipo de condensadores se suelen confundir a menudo con las torres de enfriamiento, **figura 22-25**. En las torres de enfriamiento que analizamos antes el condensador que contiene el refrigerante estaba alejado de la torre y el agua se bombeaba a través del condensador hasta la torre. Los condensadores por evaporación utilizan siempre la misma agua, empleando para ello una bomba colocada en la torre. Conforme el agua se evapora, se va reemplazando mediante un sistema de reposición con un flotador, al igual que en los otros sistemas. En los climas fríos los condensadores por evaporación necesitan una protección contra el hielo en invierno. En un condensador de evaporación tanto el aire como el agua se utilizan para eliminar el sobrecalentamiento, condensar y subenfriar el refrigerante. El agua se rocía sobre el condensador y absorbe calor del refrigerante más caliente. El aire se aspira desde un lado, pasa por el condensador y absorbe calor del refrigerante de condensación. El proceso se basa en el principio de enfriamiento por evaporación, dado que conforme el rocío de agua se evapora, se puede absorber mucho más calor del refrigerante.

A medida que el agua se va evaporando de cualquier sistema de torre de enfriamiento, los minerales del agua se van concentrando cada vez más en el agua que queda. Si se permite que estos minerales se concentren demasiado, comenzarán a depositarse en la superficie del condensador, creando problemas de presión de carga. Para evitar que esto ocurra, hay que permitir que el agua salga del sistema continuamente. Esta agua que sale se denomina agua de *purga*. En realidad se trata de agua que se permite que salga por el drenaje y se repone con agua fresca y el sistema de flotador. Es muy frecuente que la gente que desconoce el propósito de la purga cierre el conducto de drenaje para no dejar pasar lo que creen que es agua limpia que se está desechando, lo que puede ser fuente de problemas. Los técnicos deberían establecer un procedimiento regular para revisar el gasto de la purga. Las torres de enfriamiento y la purga se analizan en detalle en la unidad 49.

22.15 CONDENSADORES ENFRIADOS POR AIRE

Los condensadores *enfriados por aire* emplean aire como el medio hacia el que se rechaza el calor. Este sistema puede ser ventajoso en aquellos casos en los que sea muy difícil utilizar agua. Los primeros condensadores enfriados por aire estaban constituidos por una tubería simple, en los que el impulsor del compresor soplaba aire sobre el condensador. En ese tiempo los compresores eran de mandos abiertos. Con el fin de mejorar el rendimiento del condensador

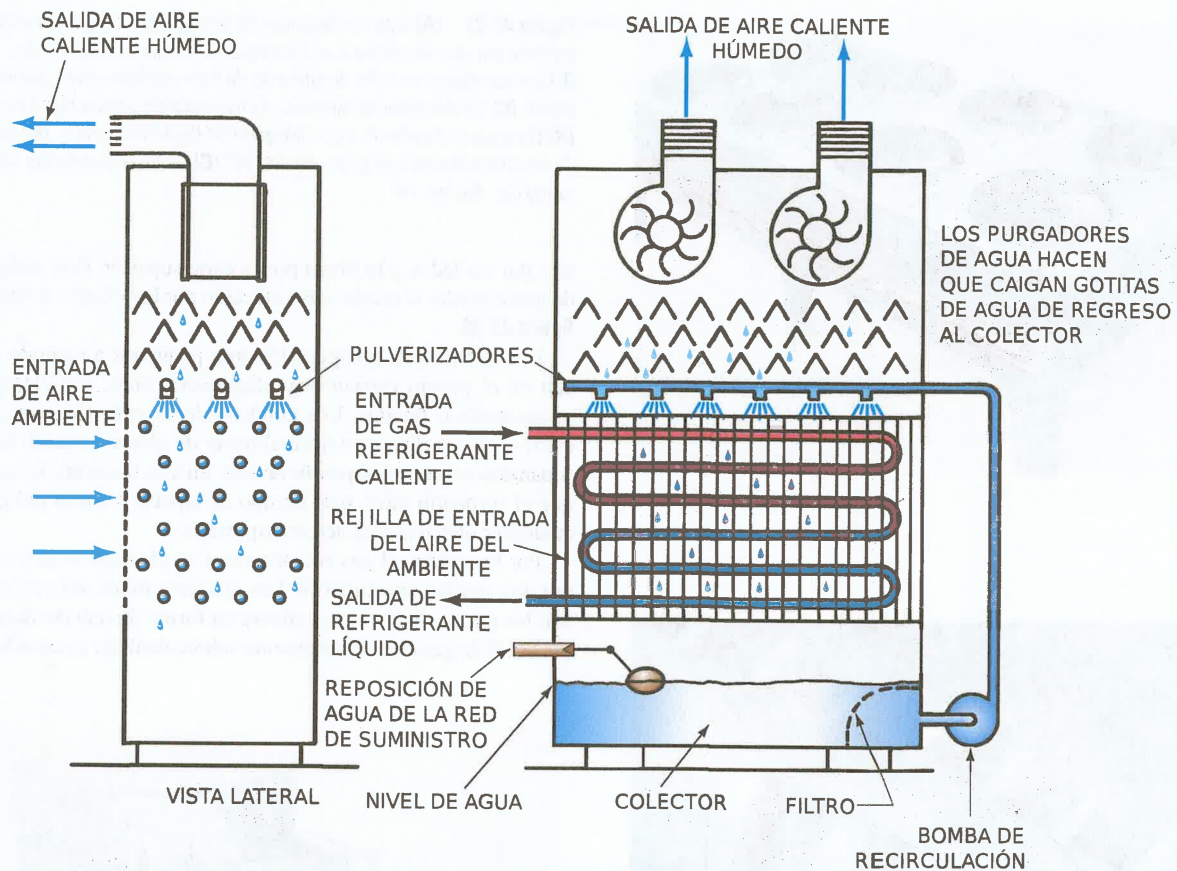


Figura 22-25 El agua se recircula en el condensador por evaporación. Los tubos del condensador se encuentran en la torre, en lugar de en la coraza del condensador en un edificio.

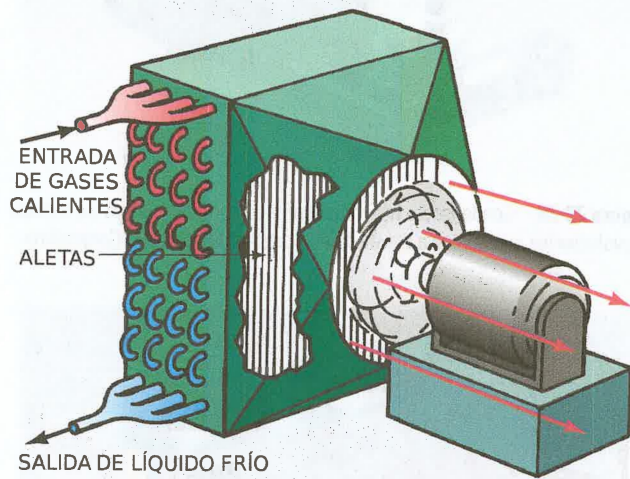


Figura 22-26 Aletas diseñadas para aumentar el área superficial del serpentín.

y hacerlo más pequeño, se amplió su área superficial con aletas. En aquella época los condensadores solían ser de acero y tenían aletas que también eran de acero, **figura 22-26**. Estos condensadores se asemejaban a radiadores y, con frecuencia se les llamaba así.

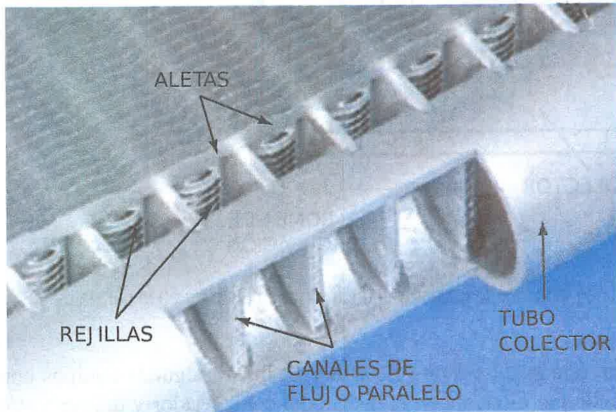
Los condensadores de acero enfriados por aire aún se utilizan en muchas unidades de refrigeración. La **figura 22-27(A)** es una fotografía de un condensador de un sistema de refrigeración de

gran tamaño. La **figura 22-27(B y C)** ilustra algunos equipos con tecnología moderna en el diseño del condensador y del serpentín que ha entrado en el mercado para mejorar la eficiencia de los sistemas. Uno de esos diseños de condensadores incorpora una configuración de aluminio, de flujo paralelo, de placa y aletas, que tiene canales pequeños dentro de la placa plana. Estas placas son tubos aplanados, hidrodinámicos, en donde cada uno está dividido en agujeros menores y paralelos. El refrigerante cambiará de fase o se condensará de vapor a líquido dentro de los canales en la placa, en tanto que las aletas configuradas de manera estratégica (superficies extendidas) mejorarán la transferencia de calor entre el serpentín del condensador y el aire. Las placas y las aletas están unidas o soldadas para aumentar la transferencia de calor y eliminar cualquier resistencia al contacto (espacios de aire) que reduciría la transferencia de calor. Los tubos colectores en la entrada y salida del intercambiador de calor también están unidos a las placas mediante soldadura. Consulte la **unidad 21**, "Evaporadores y el sistema de refrigeración", donde se da una explicación detallada acerca del uso de configuraciones de condensadores y evaporadores de flujo paralelo de placa plana y aletas, para mejorar la eficiencia de un sistema de refrigeración o de aire acondicionado.

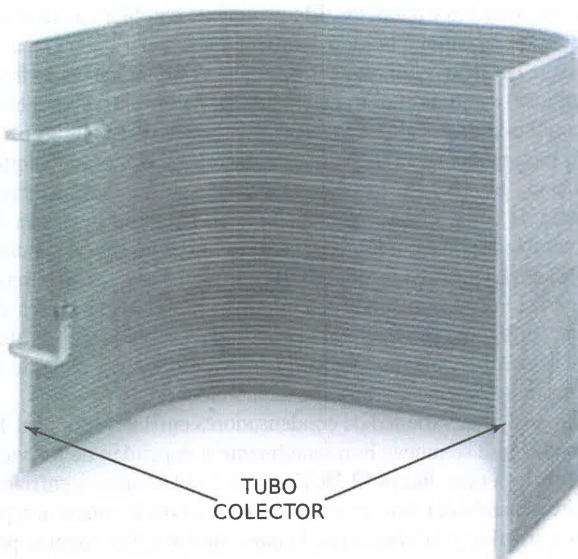
Hay una gran variedad de condensadores enfriados por aire. En algunos el aire se mueve horizontalmente y dependen de los vientos prevalecientes, **figura 22-28**. En otros condensadores enfriados por aire el patrón del flujo de aire es vertical; es decir, toman aire por la parte inferior y lo liberan por la parte superior. Los vientos prevalecientes no afectan de ninguna manera a estos condensadores, **figura 22-29**. Otro tipo de condensador enfriado por aire toma el



(A)



(B)



(C)

→ **Figura 22-27** (A) Este condensador de refrigeración de gran tamaño enfriado por aire se parece a un condensador de aire acondicionado. (B) Intercambiador de calor de aluminio, de flujo paralelo y placa plana con aletas. (C) Condensador de aluminio, de flujo paralelo y placa plana con aletas. (A) Cortesía de Heatcraft, Inc., Refrigeration Products Division. (B) Cortesía de Modine Manufacturing Co., Racine WI. (C) Cortesía de Modine Manufacturing Co., Racine, WI

aire por los lados y lo libera por la parte superior. Este último tipo de condensador sí puede verse afectado por los vientos dominantes, figura 22-30.

Los sistemas de refrigeración más pequeños a menudo se ubican en el propio espacio acondicionado como, por ejemplo, en restaurantes o tiendas. Los condensadores enfriados por aire de estos sistemas disponen normalmente de aletas de acero bastante separadas sobre un serpentín de este mismo material, lo que hace que el serpentín tarde más tiempo en taparse a causa del polvo o cualquier otro material aerotransportado.

Por lo común, el gas caliente entra en el condensador enfriado por aire por la parte superior. Los primeros tubos del condensador son los que reciben el gas caliente en forma directa desde el compresor. Este gas estará sumamente sobrecalentado (recuerde que el

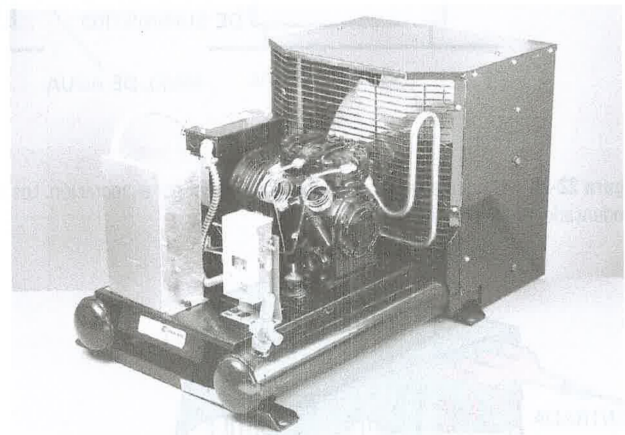


Figura 22-28 Condensador horizontal enfriado por aire sujeto a los vientos prevalecientes que soplan a través de él. Cortesía de Copeland Corporation



Figura 22-29 Condensador con patrón de flujo de aire vertical. El aire entra por la parte inferior y se sopla hacia la parte superior. Tiene la ventaja de que no se ve afectado por los vientos prevalecientes. Cortesía de Heatcraft, Inc., Refrigeration Products Division

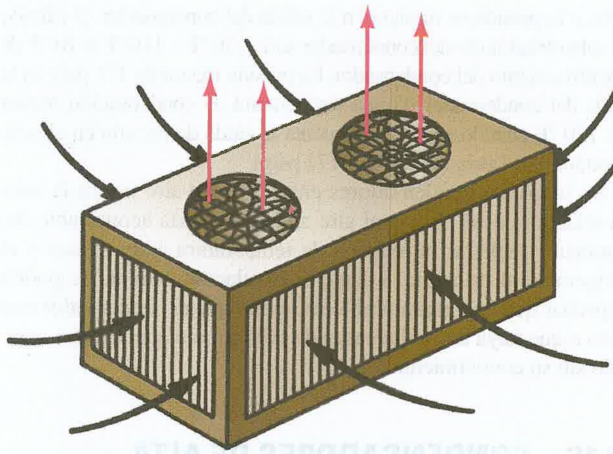


Figura 22-30 Este condensador aspira el aire por los lados y los descarga por la parte superior. Los vientos prevaletientes pueden afectarlo.

sobrecalentamiento es el calor que se agrega al refrigerante después de que ha tenido lugar el cambio de estado en el evaporador). Cuando el refrigerante sobrecalentado procedente del evaporador llega hasta el compresor y éste lo comprime, se agrega más calor al gas. Parte de la energía que se ha aplicado al compresor se transfiere al refrigerante en forma de energía térmica. Este calor adicional agregado al compresor hace que el refrigerante que sale del compresor esté sumamente cargado de calor. En un día caluroso (95 °F), el gas caliente que sale del compresor podría alcanzar fácilmente una temperatura de 250 °F. **PRECAUCIÓN DE SEGURIDAD: NUNCA TOQUE el conducto de descarga del gas caliente del compresor, ya que se quemaría los dedos.** El condensador deberá eliminar ese calor del refrigerante hasta alcanzar la temperatura de condensación, antes de que pueda tener lugar la condensación.

Los condensadores enfriados por aire tienen una relación con la temperatura del aire que pasa por encima de ellos (al igual que el evaporador, como vimos en la unidad anterior). Por ejemplo, el refrigerante en el interior del serpentín se condensará normalmente a una temperatura de 30 °F mayor que la del aire que pasa sobre él (también denominado aire ambiente). Este enunciado es cierto para la mayoría de los condensadores de eficiencia estándar que hayan estado en funcionamiento durante el tiempo suficiente como para tener un depósito de suciedad en las aletas y las tuberías. La relación se podría mejorar ampliando el área superficial del condensador. Con una temperatura exterior de 95 °F, la temperatura de condensación sería de aproximadamente 125 °C. Con el refrigerante R-134a que se condensa a 125 °F, en el manómetro de presión de carga o en el de alta presión se debería de leer 184 psig (consulte la gráfica de presión/temperatura del refrigerante R-134a). Este hecho es importante porque ayuda al técnico de mantenimiento para determinar cuál debería ser la presión de descarga.

Consulte la **figura 22-31** que ilustra la descripción de un condensador con R-134a enfriado por aire, situado en la parte interior de una tienda. Este condensador es el responsable de expulsar el calor absorbido en el interior de una cámara frigorífica de temperatura media que tiene las puertas de acceso habituales de los frigoríficos de las tiendas. En este compartimento las bebidas se encuentran en una serie de estantes que el personal de la tienda puede rellenar con productos desde la cámara con acceso a su interior que hay por detrás de estos estantes. El frigorífico se mantiene a 35 °F y la temperatura del aire exterior es de 95 °F, por lo que el sistema de refrigeración deberá absorber calor a 35 °F y expulsar ese mismo calor al exterior, donde el medio de condensación se encuentra a 95 °F.

1. El gas caliente entra en el condensador a 200 °F. La temperatura de condensación va a ser 30 °F mayor que la del aire exterior (ambiente).
2. La temperatura exterior es de 95 °F. La temperatura de condensación es de 95 °F + 30 °F = 125 °F. Hay que enfriar el

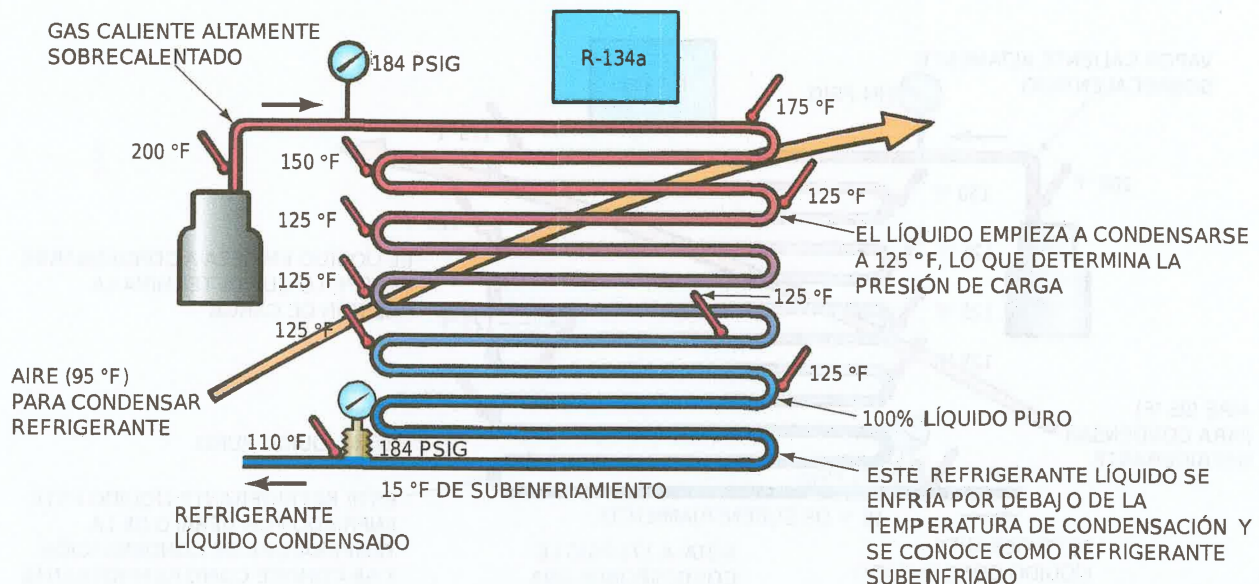


Figura 22-31 En la gráfica se ilustran los siguientes puntos: (1) El gas caliente que fluye hacia la primera parte del condensador está altamente sobrecalentado. La temperatura de condensación es de 125 °F y el gas de descarga se debe enfriar de 200 °F a 125 °F antes de que tenga lugar la condensación. (2) El mejor intercambio de calor es entre el líquido y el aire en el exterior del serpentín. Se remueve más calor durante el cambio de estado que cuando se elimina el sobrecalentamiento del vapor. (3) Cuando todo el líquido se ha condensado y en el serpentín sólo hay líquido puro, el líquido se puede subenfriar por debajo de la temperatura de condensación.

refrigerante a 125 °F antes de que tenga lugar cualquier condensación. Por tanto, el condensador tiene que reducir los 75 °F (200 °F – 125 °F) de temperatura del gas caliente en la primera parte del serpentín. A este proceso se le denomina *eliminación del sobrecalentamiento* y es la primera tarea del condensador.

3. A medio camino del serpentín el sobrecalentamiento se remueve hasta la temperatura de condensación real de 125 °F y se comienza a formar líquido en el serpentín. El líquido continuará formándose a la temperatura de condensación de 125 °F hasta que todo el vapor se haya convertido en 100% líquido. A este se le denomina *calor latente* de condensación.
4. Ahora este líquido puede rechazar calor sensible y *subenfriarse* por debajo de la temperatura de condensación de 125 °F. A cualquier líquido por debajo de la temperatura de condensación de 125 °F se le refiere como *líquido subenfriado*. Cuando el refrigerante líquido subenfriado llega al final del serpentín, los tubos del condensador estarán llenos de líquido, que luego se drenará en el receptor.
5. El líquido que hay en la parte inferior del condensador y que se está drenando en el receptor puede enfriarse hasta 110 °F. Esto le dará al líquido 15 °F (125 °F – 110 °F) de subenfriamiento.

En aplicaciones comerciales e industriales en las que los condensadores son grandes, se tendrá una caída de presión conforme el refrigerante fluya por el condensador. Esta caída de presión se debe a la fricción del refrigerante en los tubos. Al medir el subenfriamiento del condensador en estos casos, la presión del refrigerante se tiene que medir cerca de la salida del condensador, no en la válvula de servicio del compresor, **figura 22-32**. La presión de salida del condensador se puede leer en la *válvula maestra* del receptor o en la válvula de carga del receptor. De hecho, la presión del refrigerante se debe de tomar muy cerca del mismo lugar en que se tome la presión de salida del condensador o se tendrán cálculos imprecisos del subenfriamiento del condensador. Si el condensador que se muestra en la **figura 22-32** fuera de gran ta-

maño y la presión se midiera en la salida del condensador, el cálculo del subenfriamiento del condensador sería 120 °F – 110 °F = 10 °F de subenfriamiento del condensador. La presión menor de 171 psig en la salida del condensador da una temperatura de condensación menor que 120 °F cuando se toma en cuenta la caída de presión en el condensador de 13 psig (184 psig – 171 psig).

No todos los condensadores enfriados por aire tienen la misma relación de 30 °F con el aire ambiente. Sería aconsejable determinar y registrar la relación de temperatura entre el aire y el refrigerante al principio. Luego, si la relación cambia, se podría sospechar que hay algún problema, como que el condensador esté sucio o que haya una sobrecarga de refrigerante que se haya agregado sin su conocimiento.

22.16 CONDENSADORES DE ALTA EFICIENCIA

Para reducir las temperaturas de condensación se puede incrementar el área superficial del condensador. Entre mayor sea el área superficial del condensador, más próxima estará la temperatura de condensación a la temperatura ambiente. Un condensador perfecto condensaría el refrigerante a la misma temperatura que la ambiente, pero sería tan grande que no sería práctico. En los ejemplos anteriores hemos utilizado una diferencia de temperatura de 30 °F entre la temperatura ambiente y la de condensación. La **figura 22-32** muestra un ejemplo de un condensador que realiza la condensación a 110 °F; es decir, a 15 °F por arriba de la temperatura ambiente. La presión de carga del refrigerante R-134a que se condensa a 110 °F sería de 146.4 psig (para el R-404A sería de 271.4 psig). **La reducción de la presión de carga mantiene un sistema más eficiente: se consume menos energía para tener la misma cantidad de refrigeración útil.** En algunas instalaciones se utilizan temperaturas de condensación hasta dentro de 10 °F por encima de la temperatura ambiente, en particular en sistemas de temperaturas extremadamente bajas.

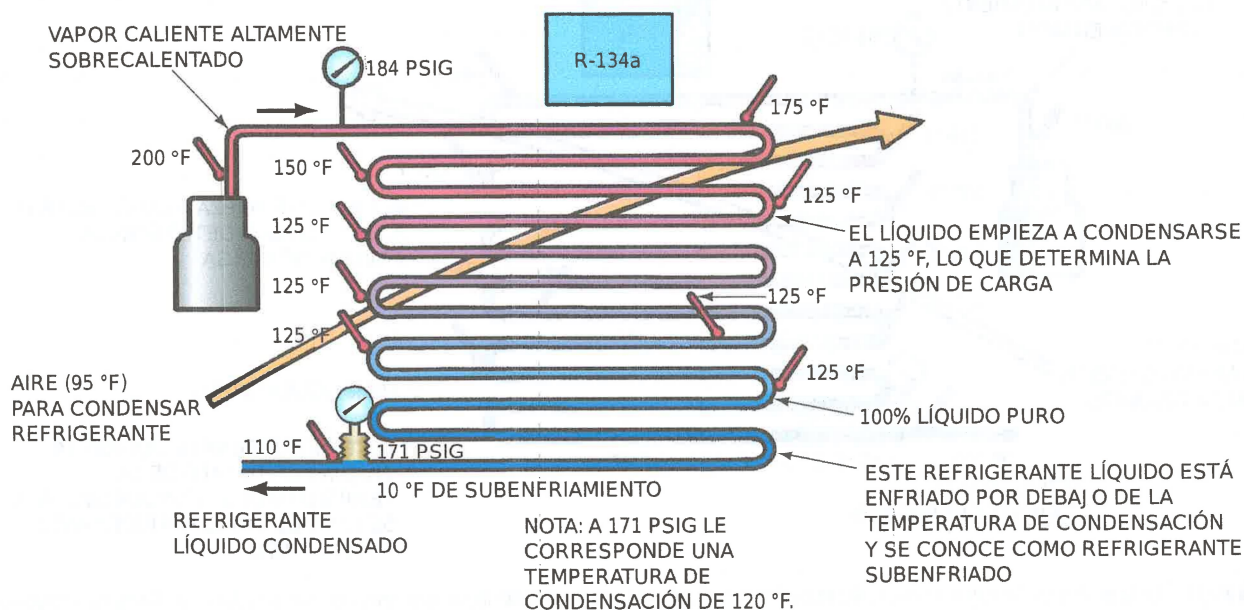


Figura 22-32 El condensador enfriado por aire tiene una caída de presión de 13 psig desde la entrada de gas caliente hasta donde sale el líquido subenfriado del condensador. Esto se debe a una pérdida por fricción en los tubos y es común en condensadores grandes. El subenfriamiento se debe medir cerca de la misma ubicación de presión, donde se midió la presión de temperatura.

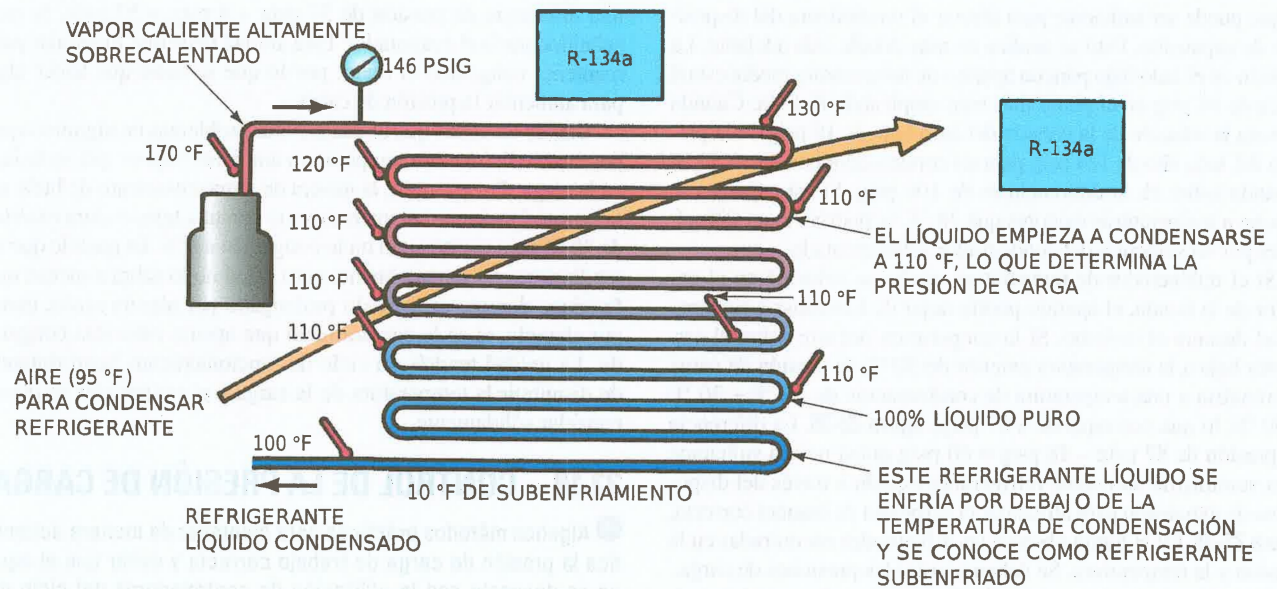


Figura 22-33 Condiciones de operación para un condensador de alta eficiencia.

La reducción de la presión de carga afecta a los compresores, y esto se analiza en la siguiente unidad.

22.17 EL CONDENSADOR EN CONDICIONES DE BAJA TEMPERATURA AMBIENTE

En el ejemplo anterior se describe cómo funciona un condensador enfriado por aire durante un día caluroso. Un ejemplo de un condensador que funciona ante condiciones diferentes puede encontrarse en un supermercado, que consiste de una vitrina pequeña ex-

positora ubicada en el interior de la tienda. Dado que se trata de una vitrina expositora, el condensador también se encuentra dentro de la tienda, **figura 22-34**. El aire de entrada para la vitrina se encuentra en la propia tienda y puede estar muy frío si el aire acondicionado de la tienda está funcionando. La temperatura de la tienda puede ser de 70 °F o incluso más fría en ciertas ocasiones. Esto reduce la presión de funcionamiento en el lado a alta presión del sistema. Cuando se aplica la regla de la relación de la temperatura del condensador tenemos que la nueva temperatura de condensación sería de $70\text{ °F} + 30\text{ °F} = 100\text{ °F}$. La presión de carga sería de 124 psig,

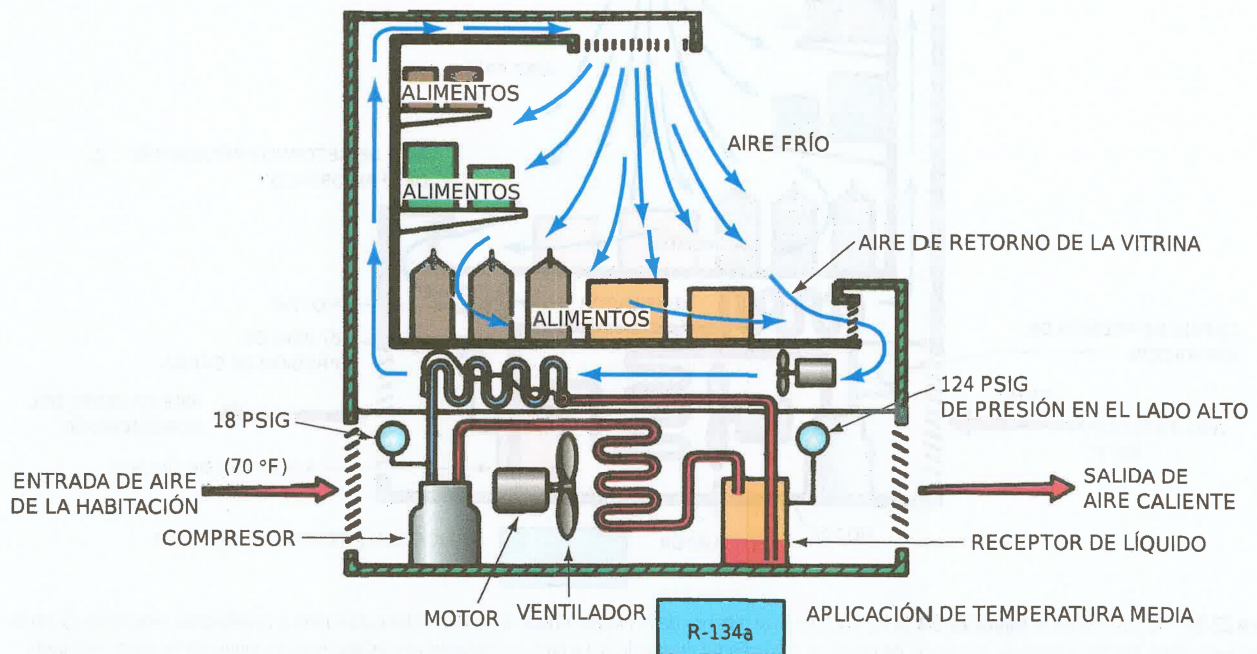


Figura 22-34 Vitrina expositora ubicada dentro de una tienda con el compresor y el condensador ubicados dentro de su gabinete. Este es un equipo autónomo que sólo tiene que enchufarse; no requiere tuberías.

lo que puede ser suficiente para afectar el rendimiento del dispositivo de expansión. Esto se analiza en más detalle más adelante. La presión en el lado bajo para un aparato de temperatura media estará cerca de 18 psig en el punto más bajo empleando R-134a. Cuando se resta la relación de la presión del lado bajo de 18 psig de la presión del lado alto de 124 psig para un condensador con aire a 70 °F pasando sobre él, la diferencia es de 106 psig. Si este aparato se expone a temperaturas menores que 70 °F, se podrían tener dificultades por un serpentín del condensador subalimentado.

Si el refrigerador de temperatura media se colocará en el exterior de la tienda, el aparato podría dejar de funcionar a su capacidad durante el invierno. Si la temperatura del aire sobre el serpentín baja a la temperatura exterior de 50 °F, la presión de carga disminuiría a una temperatura de condensación de 50 °F + 30 °F = 80 °F, lo que corresponde a 87 psig, **figura 22-35**. La diferencia de presión de 87 psig – 18 psig = 60 psig quizá no sea suficiente para suministrar suficiente refrigerante líquido a través del dispositivo de expansión para alimentar el serpentín de manera correcta, **figura 22-35**. En la figura observe las dificultades encontradas en la presión y la temperatura. Se deben regular las presiones de carga.

Otro ejemplo de un condensador funcionando fuera de los parámetros de diseño sería una nevera de hielo como las que hay en todas las estaciones de servicio y en tiendas de conveniencia. Estos aparatos almacenan hielo que se ha fabricado en otro lugar. Tienen que mantener el hielo duro en todos los tipos de clima y con frecuencia funcionan de aproximadamente 0 °F a 20 °F dentro de la nevera.

La temperatura fuera de la nevera puede ser de 30 °F donde el pequeño condensador enfriado por agua está rechazando el calor. El condensador estaría funcionando a aproximadamente 30 °F + 30 °F = 60 °F o a una presión de carga de 57 psig, **figura 22-36**. El evaporador debe de funcionar a aproximadamente –15 °F o a una presión de aspiración de 0 psig para mantener 0 °F. Esto da

una diferencia de presión de 57 psig – 0 psig = 57 psig, la cual subalimentaría el evaporador. Esta unidad tiene que funcionar para mantener congelado el hielo, por lo que se tiene que hacer algo para aumentar la presión de carga.

Una de las cosas que ayuda a evitar problemas en algunos equipos en condiciones de temperatura ambiente baja es que se reduzca la carga. Por ejemplo, la nevera de almacenamiento de hielo no tiene que funcionar tan intensamente con una temperatura exterior de 30 °F para mantener el hielo congelado a 0 °F. Es posible que su rendimiento no sea tan bueno, pero usted no lo sabrá a menos que funcione durante un periodo prolongado por alguna razón, como por ejemplo, si se le cargara hielo que apenas estuviera congelado. La unidad tendría un ciclo de funcionamiento largo tratando de disminuir la temperatura de la carga y el evaporador se puede congelar sólidamente.

22.18 CONTROL DE LA PRESIÓN DE CARGA

Algunos métodos prácticos para mantener de manera automática la presión de carga de trabajo correcta y evitar que el equipo se desgaste son la utilización de controladores del ciclo del ventilador, motores del ventilador de un condensador con propulsores de frecuencia variable (VFD), reguladores e inundación del condensador. Cada uno de estos métodos tiene características diferentes y cada compañía recomienda emplear distintos tipos de control de la presión de carga por sus propias razones.

Dispositivos de control del ciclo del ventilador

Es usual que el condensador enfriado por aire tenga un ventilador pequeño que pasa aire sobre el condensador. Cuando este venti-

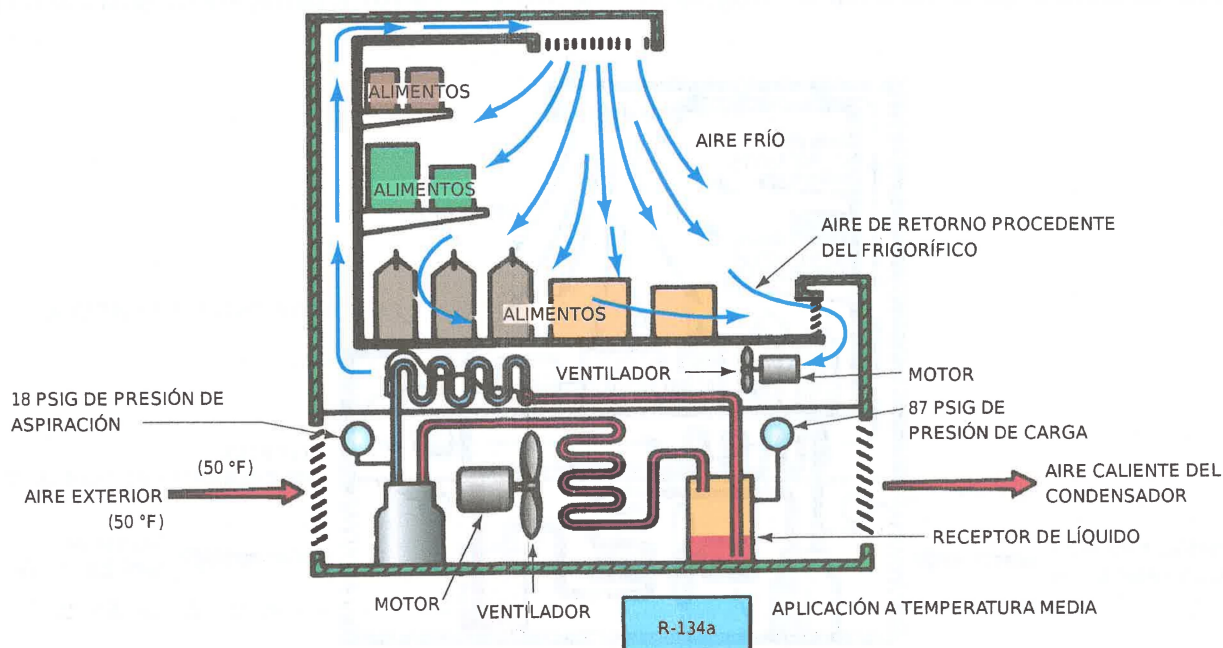


Figura 22-35 El aparato de la **figura 22-34** se ha trasladado al exterior de la tienda. Ahora el condensador está sujeto a condiciones invernales. Si no se proporciona algún tipo de control de la presión de carga, el rendimiento descenderá. La presión de carga es tan baja que no puede hacer pasar suficiente líquido refrigerante a través de la válvula de expansión, por lo que el evaporador está subalimentado. La capacidad de la unidad se ve reducida, lo cual se haría evidente si se colocaran en el frigorífico alimentos calientes, ya que quizá no consiga reducir su temperatura. El serpentín se congelaría, porque no habría ningún ciclo inactivo para el descongelamiento.

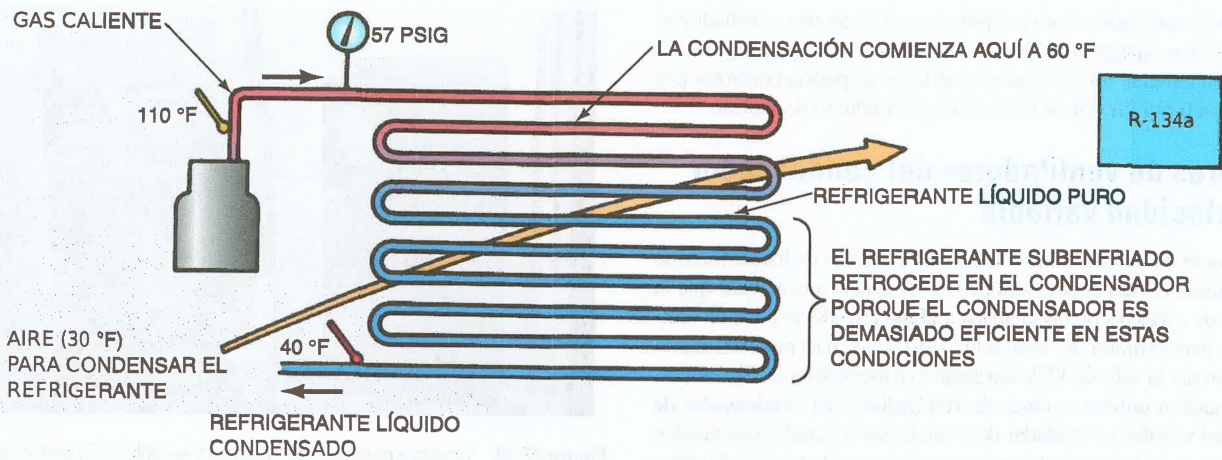


Figura 22-36 Representación de cómo actúa el condensador en condiciones de temperatura ambiente baja. Observe que este condensador tiene mucho más refrigerante líquido en su interior y que la presión de carga es muy baja. Es posible que esta presión sea tan baja que subalimente al dispositivo de expansión, ya que depende de esta presión para hacer que el refrigerante líquido pase por su dosificador.

lador se pone en el ciclo inactivo, la presión de carga subirá en cualquier tipo de clima, siempre que los vientos prevalecientes no hagan el trabajo del ventilador. Para poner el ventilador en un ciclo inactivo, se podría conectar un control de presión en el lado de alta presión del sistema, que sirviera para cerrar un conjunto de contactos eléctricos al producirse una subida predeterminada de la presión, **figura 22-37**. Los contactos eléctricos pararían y arrancarían el motor del ventilador de acuerdo con los cambios de la presión.

En una configuración común con refrigerante R-134a se podría solicitar que el ventilador se apagara cuando la presión de carga descendiera a 135 psig y que volviera a encenderse cuando la presión alcanzara 190 psig. Esta configuración no interferiría con la operación del sistema en el verano y se tendría un buen rendimiento en el invierno. Las calibraciones están lo suficientemente separadas como para no hacer que el ventilador entre en ciclos cortos de funcionamiento más que los necesarios. Cuando el termostato solicita que el compresor se active y la temperatura ambiente es fría, la presión de carga sería tan baja que el sistema nunca alcanzaría una buena capacidad de trabajo debido a que el ventilador del condensador estaría impulsando más aire frío sobre el condensador. El control del ciclo del ventilador mantendría apa-

gado el ventilador del condensador hasta que la presión de carga estuviera dentro del rango de funcionamiento correcto.

El control del ciclo del ventilador es un método para mantener una presión de carga de funcionamiento correcta. Se puede agregar al sistema sin incurrir en un gasto excesivo para el control, además de que normalmente no se tienen que alterar las tuberías. Sin embargo, un problema con este dispositivo es que tiene una tendencia a ocasionar que la presión de carga oscile hacia arriba y abajo cuando el ventilador se para y se pone en marcha. Esto también puede afectar la operación del dispositivo de expansión, ya que la presión puede ser de 190 psig para parte del ciclo y luego, cuando se activa el ventilador, cae rápidamente a 135 psig. Esta oscilación de la presión provoca que el dispositivo de expansión funcione de manera errática. Existen otros métodos para controlar la presión de carga en un estado constante en condensadores enfriados por aire.

Si un condensador dispone de más de un ventilador, uno de ellos se puede configurar para que sea el principal y los otros se pueden apagar por temperatura, **figura 22-38**. El ventilador principal se puede apagar mediante presión como cuando se tiene un solo ventilador. Esto puede ayudar a evitar que las oscilaciones de la presión estén tan próximas entre sí como en la aplicación



Figura 22-37 Dispositivo de control del ciclo del ventilador de un condensador. Este control realiza la misma acción (entra en funcionamiento debido a una subida de la presión) que el control de baja presión, excepto que funciona a un rango mucho más amplio. Fotografía de Bill Johnson



Figura 22-38 Condensador de múltiples ventiladores. Cortesía de Heatcraft, Inc., Refrigeration Products Division

de un solo ventilador. Por ejemplo, si se utilizan tres ventiladores, el primero se apagará a aproximadamente 70 °F y el segundo a aproximadamente 60 °F. El otro ventilador se podría controlar por la presión o por un sensor ubicado en el conducto de líquido.

Motores de ventiladores del condensador de velocidad variable

Como ya se mencionó, un problema con los ciclos de los motores de los ventiladores del condensador es su tendencia a ocasionar que la presión de carga oscile hacia arriba y abajo cuando se pone en marcha y se pare el motor del ventilador. Esto puede hacer que el funcionamiento de la válvula TXV sea errático e inconsistente. Sin embargo, se pueden utilizar motores de ventiladores del condensador de velocidad variable en unidades de condensación grandes que pueden variar su velocidad gradualmente de acuerdo con la presión de carga o con los cambios ambientes exteriores. Muchos de estos motores de ventiladores disponen de propulsores o mandos de frecuencia variable (VFD) y de inversores electrónicos para controlar los mandos. Los VFD funcionan con base en el principio de que cuando se cambia la frecuencia o los hertz (Hz) del voltaje de entrada hacia el motor del ventilador, la velocidad del motor del ventilador también cambia. Cuando la frecuencia del voltaje disminuye, la velocidad del motor también disminuye. La siguiente fórmula rige la velocidad (rpm) de un motor. Observe que el numerador corresponde a la frecuencia o hertz del voltaje de entrada en ciclos/s, multiplicada por un factor de conversión de minutos a segundos. El denominador, por otra parte, corresponde al número de pares de polos del motor.

$$\text{rpm} = \frac{(\text{Frecuencia})(60 \text{ min/h})}{(\text{Número de polos del motor} \div 2)}$$

Esto se simplifica a:

$$\text{rpm} = \frac{(\text{Frecuencia})(120)}{(\text{Número de polos del motor})}$$

Como no podemos cambiar el número de polos del motor mediante dispositivos electrónicos, la frecuencia es la variable más fácil de alterar para hacer un cambio en las rpm del motor.

Mediante un circuito electrónica especial denominado inversor, se puede modificar la frecuencia del voltaje de suministro de un motor del ventilador de un condensador sin cambiar la presión de carga. Esto se lleva a cabo mediante el transductor de presión en el lado alto del sistema de refrigeración que está conectado con el inversor. Otro esquema de control es por medio de la detección de las temperaturas ambientes utilizando un sensor de temperatura cerca del aire de entrada del compresor. Luego sus señales se pueden enlazar al inversor electrónico.

La **figura 22-39** muestra un VFD para cambiar la frecuencia de la señal de voltaje hacia un motor. Este cambio de la frecuencia se puede efectuar en incrementos pequeños para cambiar de esta manera la velocidad de los motores de los ventiladores de un condensador en incrementos pequeños. Este tipo de control mantendrá una presión de carga más consistente conforme cambie la temperatura ambiente. También evitará que la presión de carga oscile hacia arriba y abajo de manera errática, lo que ocurre cuando los motores de los ventiladores se apagan o se encienden. Los VFD se analizarán con más detalle en la unidad 17, "Tipos de motores eléctricos".

Obturadores o reguladores del aire

Los obturadores del aire pueden estar ubicados tanto en la entrada como en la salida del condensador. El obturador del aire dispone



Figura 22-39 Mando o propulsor de frecuencia variable (VFD) empleado para cambiar la frecuencia del voltaje para el motor, con lo que se cambia la velocidad del motor en incrementos muy pequeños. *Cortesía de la Ferris State University. Fotografía de John Tomczyk*

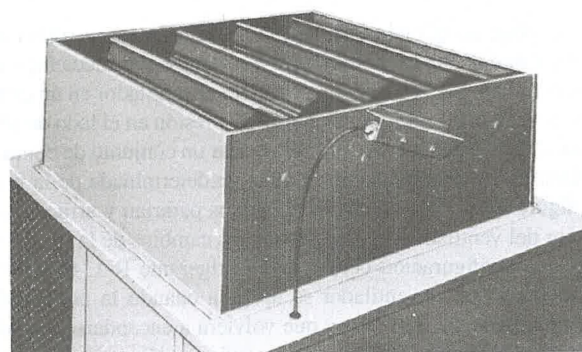


Figura 22-40 Condensador con obturador de aire. Si solamente hay un ventilador, éste será el único control. Si existen más ventiladores, el resto de los ventiladores se podrían apagar por temperatura y el obturador tendrá el control del ventilador final. *Cortesía de Trane Company*



Figura 22-41 Operador de obturación de tipo de pistón. Con este pistón el gas de descarga a alta presión se encuentra en un lado del fuelle y la atmósfera está en el otro. Cuando la presión de carga sube hasta un punto predeterminado, los obturadores empiezan a abrirse. En el verano los obturadores permanecerán bien abiertos durante el ciclo de funcionamiento. *Cortesía de Robertshaw Controls Company*

de un pistón accionado por aire que empuja en eje para abrir los obturadores cuando la presión de carga sube hasta un valor predeterminado, **figura 22-40**. Este pistón accionado por presión se extiende para abrir los obturadores cuando sube la presión, **figura 22-41**. Los obturadores se abren y se cierran lentamente, por lo que permiten controlar la presión de carga de manera uniforme.

Cuando solamente se utiliza un ventilador, el obturador se instala sobre la entrada o sobre la salida del ventilador. En cambio, cuando hay varios ventiladores, el que dispone de obturadores está siempre en funcionamiento y el resto de los ventiladores se puede apagar por presión o por temperatura. Con esta configuración se

puede conseguir un buen control de la presión de carga con temperaturas bajas.

Inundación del condensador

Si se inunda el condensador con refrigerante líquido, la presión de descarga subirá, del mismo modo que si el condensador estuviera cubierto por una manta de plástico. Para poder inundar el condensador con refrigerante líquido, tanto en los días templados como en los más fríos hay que tener suficiente refrigerante en el sistema. Esto requiere cargar el sistema con bastante refrigerante y disponer de un lugar para almacenarlo. Además de esta carga de refrigerante se deberán disponer las válvulas de tal forma que el refrigerante líquido pueda llenar el condensador tanto en los días templados como en los más fríos. El método de inundación del condensador está diseñado para mantener la presión de carga correcta en el clima más frío durante la fase de arranque y mientras está en funcionamiento.

Un problema importante que enfrentan los ingenieros cuando diseñan equipo de refrigeración y de aire acondicionado enfriado por aire es el ambiente variable por el cambio de temporada. Un condensador diseñado de manera adecuada funcionará de manera ineficiente en condiciones ambientales extremadamente altas. La falta de eficiencia se debe a presiones de carga mayores y por consiguiente a relaciones de compresión mayores asociadas con las condiciones ambientales altas. Sin embargo, las condiciones ambientales bajas son las que causan problemas más serios. Además, es un hecho que la mayoría de las unidades tendrán que funcionar a temperaturas por debajo de la temperatura de bulbo seco de diseño durante las estaciones de otoño, invierno y primavera. Debido a estas condiciones ambientales cambiantes es por lo que se diseñan las válvulas de control de la presión de carga. Sin ellas, las presiones de carga fluctuarían tanto como los ambientes durante las estaciones cambiantes. Si no se utilizaran controles de la presión de carga se tendrían problemas tanto en el ciclo de funcionamiento como en el inactivo.

Las presiones de carga bajas de ambientes bajos pueden causar gastos de refrigerante insuficientes a través de los dosificadores, lo que a su vez puede subalimentar a los evaporadores. Las presiones de carga bajas pueden dar como resultado presiones de aspiración bajas, serpentines congelados, ciclos cortos y enfriamiento ineficiente. Además, en cualquier sistema en que se utilice descongelación por gas caliente o por derivación de gas caliente para controlar la capacidad del compresor, debe tener una presión de carga mínima a fin de conseguir un control adecuado de la descongelación y de la capacidad. Con condensadores exteriores de tiro forzado las condiciones ambientales bajas también hacen que el refrigerante migre hacia el condensador, compresor y conducto de aspiración durante el ciclo inactivo.

En una condición ambiente baja también se puede tener un arranque difícil, lo que ocasionaría presiones de carga bajas. A menudo los sistemas de refrigeración no se pueden arrancar debido a que la mayor parte del refrigerante ha migrado hacia el condensador que está más frío. El evaporador tiene dificultades acumulando presión de vapor y quizá nunca alcance la presión de corte de inclusión de su control de presión baja. Incluso si el compresor finalmente arranca al alcanzar su presión de corte de inclusión, pronto puede entrar en ciclos cortos. Esto se debe a un bajo flujo de refrigerante a través del dosificador a la presión de carga menor en la condición de ambiente bajo.

La solución para el problema de presión de carga baja es instalar una válvula de “retención” accionada por presión en la salida del condensador, **figura 22-42(A y B)**. Esta válvula se cerrará cuan-

do la presión del condensador alcance un mínimo preestablecido para condiciones ambientales bajas. Esto hará que el refrigerante líquido en el condensador se retenga y que en realidad inunde partes del condensador. Esta inundación parcial hará que parte del condensador esté inactiva y por tanto que tenga un volumen interno menor. En este punto, en el condensador, que tiene un volumen menor, debe tener lugar la eliminación del sobrecalentamiento y la condensación. Las presiones de condensación aumentarán, por lo que se tendrán presiones suficientes en el conducto de líquido y diferencias de presiones entre la válvula de expansión termostática (TXV) para tener un funcionamiento normal del sistema en el ambiente más frío. A la válvula que se muestra en la **figura 22-42(A)** se le refiere como válvula ORI (de apertura por aumento de la presión de entrada). Se trata de una válvula de regulación de la presión de entrada y reacciona sólo a cambios en la presión de entrada (presión de condensación). Si la presión de condensación disminuye entonces actúa menos presión sobre el fondo del disco de asiento. Esta acción estrangula la válvula más en la posición cerrada y empieza a retener refrigerante líquido en el fondo del condensador. Pronto la presión de carga empezará a subir como resultado del volumen interno reducido del condensador. Cualquier aumento en la entrada (presión de condensación) arriba de la calibración de la válvula tenderá a abrir la válvula. A la presión de condensación se opone la fuerza de un resorte ajustable que se encuentra en la parte superior del disco de asiento. La calibración de la válvula se puede cambiar simplemente aumentando o disminuyendo la tensión del resorte con un destornillador o con una llave Allen. Al aumentar la presión del resorte, mediante el giro del accesorio en el sentido de las manecillas del reloj, aumentará la presión mínima de apertura de la válvula. Entonces la presión de salida de la válvula se cancela y no tiene nada que ver con el movimiento de la válvula. Esto se debe a que la presión de salida se ejerce sobre la parte superior del fuelle y arriba del disco de asiento de manera simultánea. Como el área efectiva del fuelle es igual al área de la parte superior del asiento del disco, las presiones se cancelan entre sí y no tienen efecto en el movimiento de la válvula, **figura 22-43**. Sólo los cambios en la presión de condensación pueden regular la válvula en la posición abierta o en la cerrada.

Es usual que una válvula ORI se utilice en conjunto con una válvula ORD (de apertura por un aumento de la presión diferencial), **figura 22-44 (A y B)**. La válvula ORD se ubica entre el conducto de descarga y la entrada del receptor, **figura 22-42(B)**, y reacciona a cambios en las diferencias de presiones a través de la válvula. Por tanto, el funcionamiento de la válvula ORD depende de la válvula ORI. La válvula ORD derivará gas de descarga caliente del compresor hacia la entrada del receptor cuando detecte una diferencia de presión preestablecida a través de la válvula. Cuando la válvula ORI detecta una caída en la presión del condensador y empieza a cerrarse, se crea una diferencia de presión a través de la válvula ORD. La diferencia de presión se debe al flujo reducido hacia el receptor debido a la acción de estrangulamiento de la válvula ORI. Una salida de la válvula ORD detecta la presión del receptor y el lado de entrada detecta la presión de descarga del compresor. Cuando la válvula ORI empieza a cerrarse, el receptor aún está suministrando refrigerante a la válvula TXV y la presión del receptor finalmente caerá. Si la presión del receptor disminuye demasiado, su habilidad para continuar alimentando el conducto de líquido y el líquido para la TXV disminuirá. Por tanto, algo tiene que mantener elevada la presión del receptor mientras la válvula ORI está obturando líquido del condensador. Aquí es donde entra en acción la función de la válvula ORD.

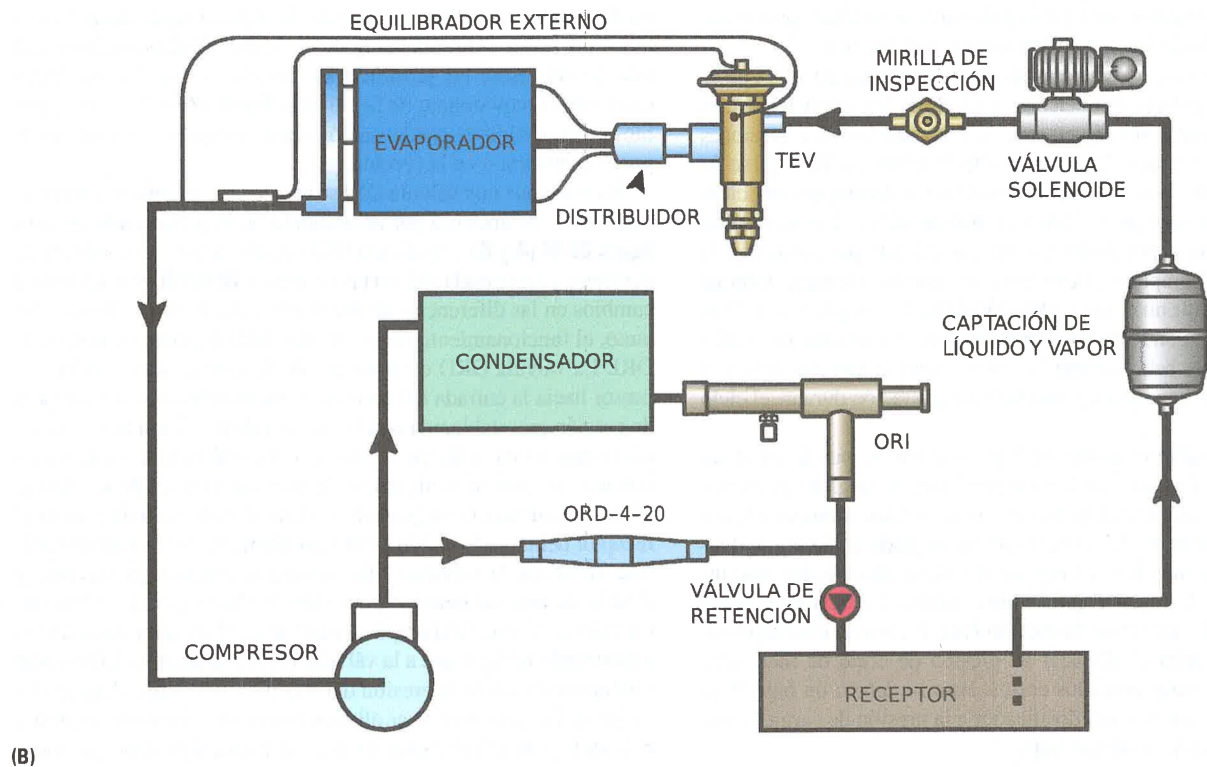
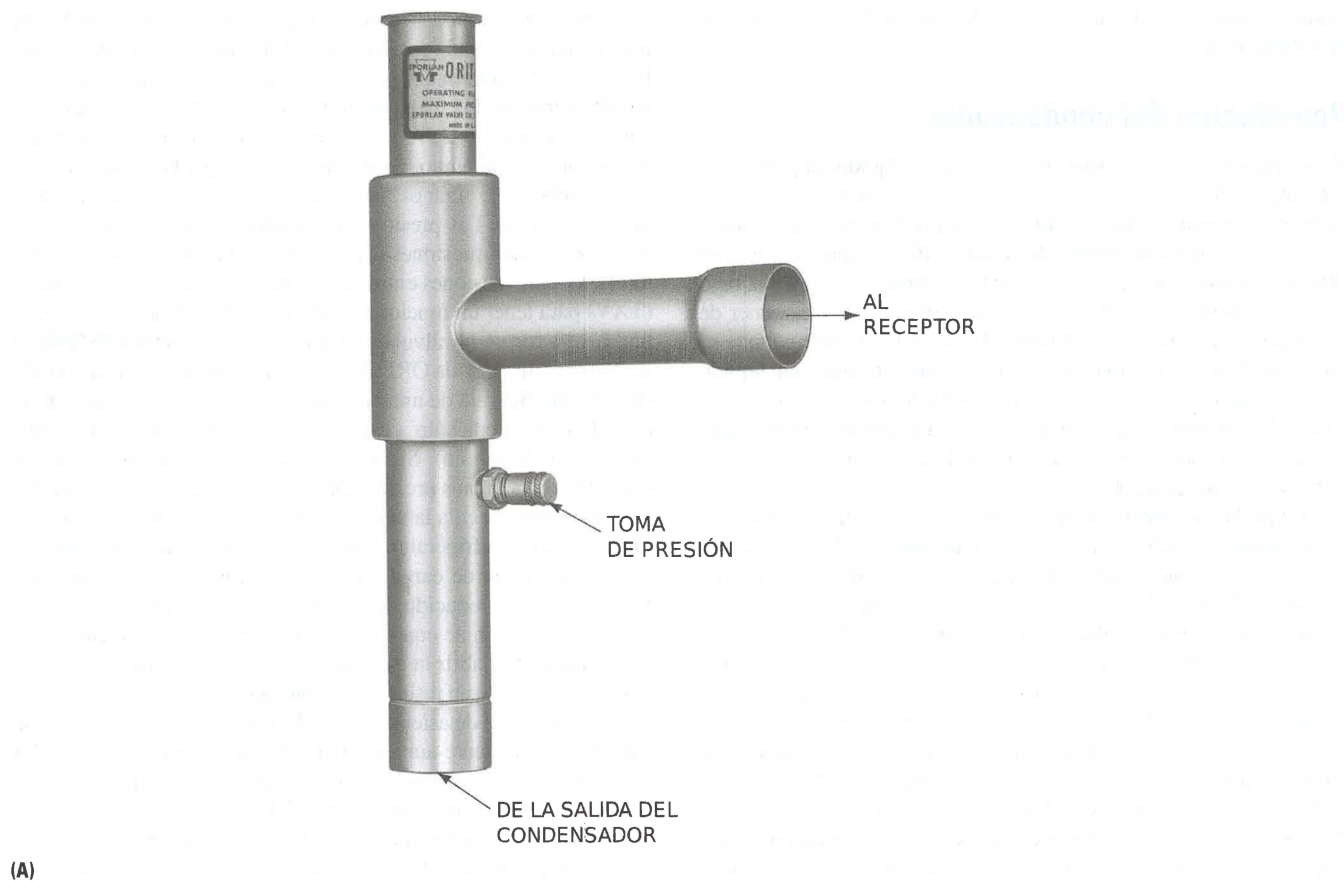


Figura 22-42 (A) Válvula de control de la presión de carga diseñada para condiciones ambientales bajas. (B) Válvula de control de la presión de carga de apertura por aumento de la presión de entrada (ORI) que se muestra en la salida del condensador. (A) y (B) Cortesía de Sporlan Division, Parker Hannifin Corp.

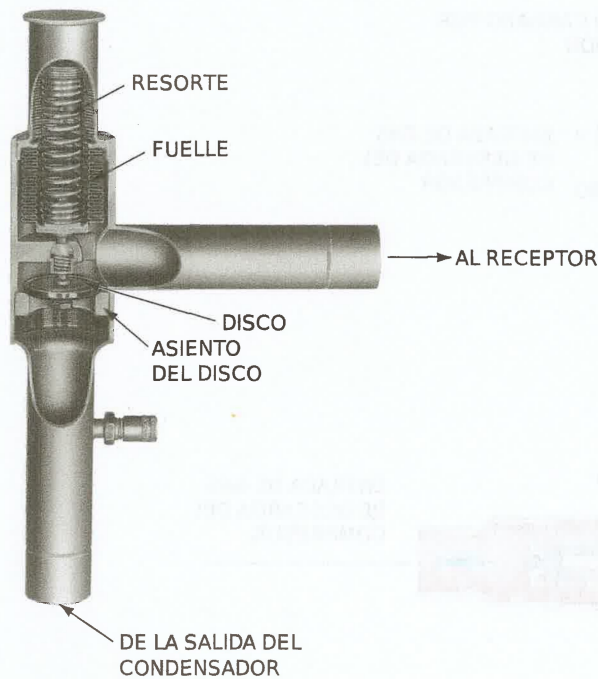


Figura 22-43 Vista en corte de una válvula de control (ORI) de la presión de carga. Cortesía de Sporlan Division, Parker Hannifin Corp.

Cuando la válvula ORD detecta una diferencia de presión preestablecida de fábrica de 20 psi entre el receptor y la descarga del compresor empezará a abrirse y a derivar gas caliente de descarga del compresor hacia la entrada del receptor. Si la diferencia de presión a través de la válvula ORD alguna vez alcanza 30 psi la válvula estará completamente abierta. El gas caliente del compresor, que fluye a través de la válvula ORD, sirve para calentar cualquier líquido refrigerante frío que se esté estrangulando a través de la válvula ORI en la entrada del receptor. Este gas caliente entrante al receptor también aumentará la presión del receptor y le permitirá suministrar líquido al conducto de líquido y a la válvula TXV cuando la válvula ORI se esté cerrando en la salida del condensador. Tanto la válvula ORI como la ORD trabajarán automáticamente en conjunto una con la otra para mantener una presión apropiada en el receptor, sin importar las condiciones ambientales exteriores. La válvula ORD también actúa como una válvula de retención para evitar el flujo inverso del receptor hacia el conducto de descarga del compresor durante el ciclo inactivo.

También se puede utilizar una configuración combinada de válvulas ORI/ORD no ajustable, que simplifica la configuración de las tuberías, **figura 22-45(A y B)**. Estas válvulas también limitan el flujo de refrigerante del condensador al receptor y al mismo tiempo regulan el flujo de gas caliente del compresor hacia el receptor. Esta válvula tiene un domo redondo en su parte superior que está presurizado. El domo presurizado se explica en los siguientes párrafos.

La **figura 22-46 (A y B)** es otro tipo de válvula de control de la presión de carga para condiciones ambientales bajas que tiene un domo redondo, presurizado en su parte superior, presurizado. Con frecuencia a esta válvula se le refiere como válvula de control de ambiente bajo (LAC). Esta carga del domo es independiente de la carga de refrigerante en el sistema de refrigeración real. La carga del domo



Figura 22-44 (A) Válvula de control de apertura por aumento de la presión de carga diferencial (ORD). (B) Vista en corte de una válvula de control ORD de la presión de carga. (A) y (B) Cortesía de Sporlan Division, Parker Hannifin Corp.

expandirá y contraerá su volumen y actuará sobre un diafragma interno cuando la temperatura ambiente exterior cambie. Esto sucede dado que en realidad toda la válvula está ubicada en la unidad de condensación que se encuentra a la temperatura ambiente exterior. Esta expansión y contracción de la carga de presión moverá el diafragma, que a su vez moverá un pistón en la válvula y modulará la válvula ya sea a una posición más abierta o más cerrada. Cuando la temperatura del condensador es mayor que 70 °F, el flujo de refrigerante del compresor se dirige por la válvula de mezclado a través del condensador y hacia el receptor. Si la temperatura ambiente exterior disminuye a un valor menor que 70 °F, la presión del condensador caerá y la presión del líquido proveniente del condensador también disminuirá hasta un punto por debajo de la presión del fuelle en el domo de la válvula. Esto causa que un pistón se mueva en la válvula para que restrinja de manera parcial el flujo de refrigerante que sale del condensador. Ahora el condensador estará parcialmente inundado con refrigerante para mantener una cierta presión de condensación. Al mismo tiempo, el gas de descarga evitará el condensador

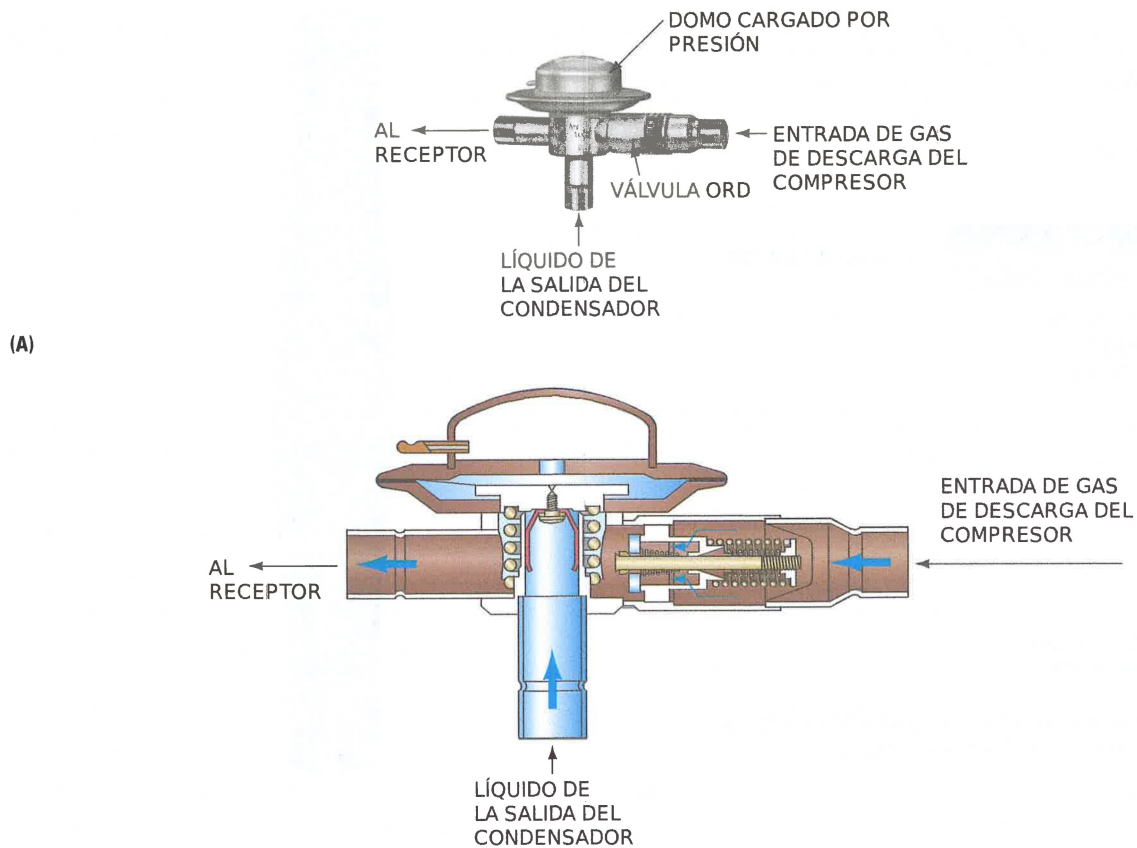


Figura 22-45 (A) Válvula combinada de control de la presión ORI/ORD. (B) Vista en corte de una válvula combinada de control de la presión de carga ORI/ORD. (A) y (B) Cortesía de Sporlan Division, Parker Hannifin Corp.

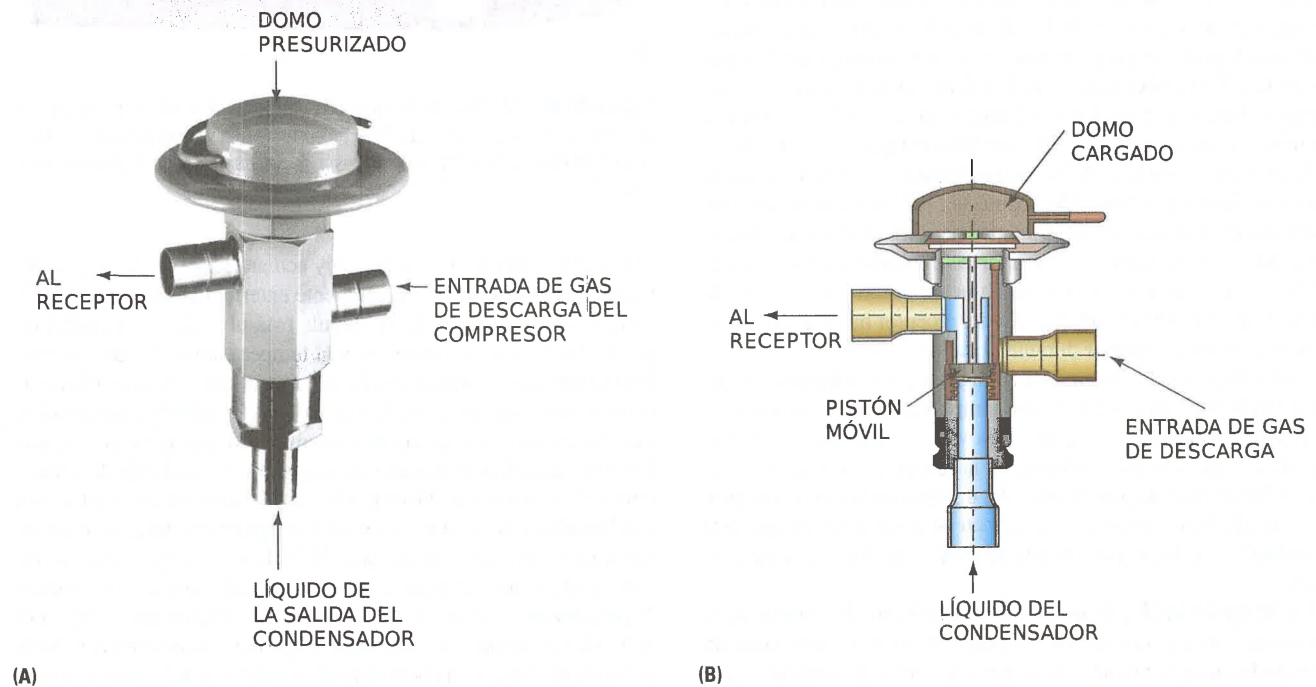


Figura 22-46 (A) Válvula de control de ambiente bajo (LAC) con un domo presurizado. (B) Vista en corte de una válvula de control de ambiente bajo (LAC). (A) y (B) Cortesía de Sporlan Division, Parker Hannifin Corp.

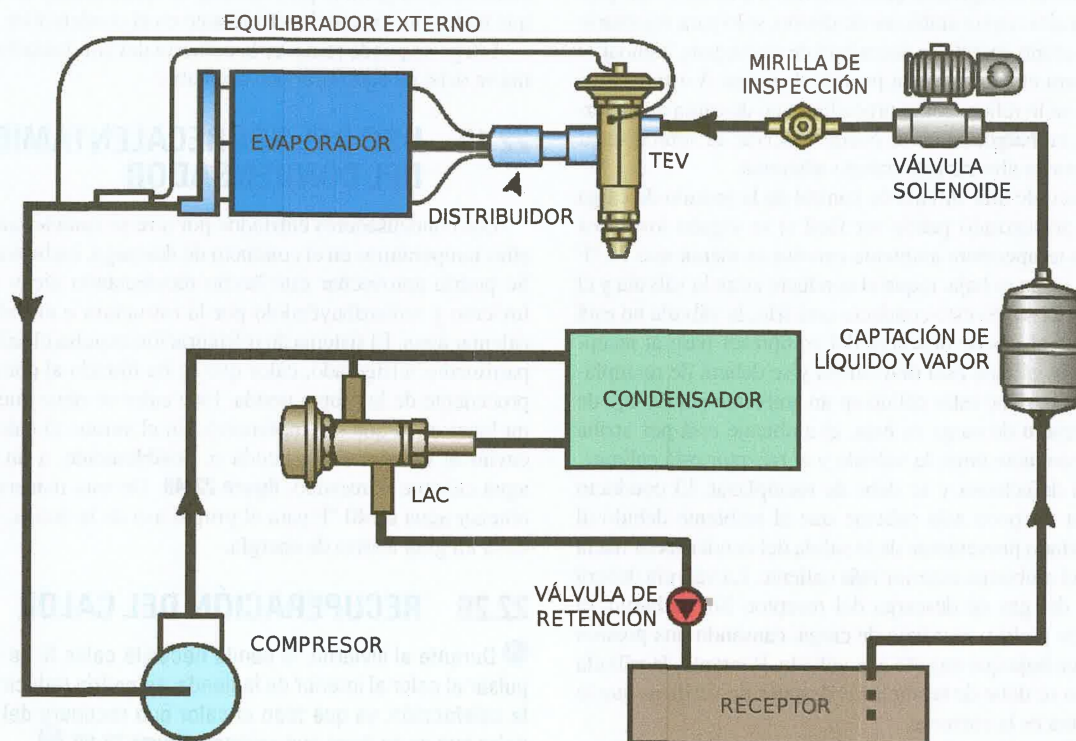


Figura 22-47 Diagrama del sistema que muestra la ubicación de la válvula de control de la presión de carga de control de ambiente bajo (LAC). *Cortesía de Sporlan Division, Parker Hannifin Corp.*

y fluirá directamente hacia el receptor, **figura 22-47**. Este gas caliente de descarga sobrecalentado que va hacia el receptor ahora se mezcla con el líquido refrigerante proveniente del condensador. Esto sostiene la presión del receptor arriba y ayuda a mantener alimentados a los dosificadores con refrigerante. En condiciones ambientales bajas, estas válvulas de mezclado permanecerán a una presión de carga de aproximadamente 190 psi para sistemas con R-502, una presión de carga de 240 psi o de 190 psi para sistemas con R-404A (dependiendo del modelo de la válvula) y una presión de carga de aproximadamente 180 psi para sistemas con R-22. Las cargas del domo también se pueden ordenar bajo pedido al fabricante para cumplir con los requisitos específicos del sistema. Esto a menudo permite que estas válvulas de control de las presiones de carga se utilicen en sistemas con *presiones de carga flotantes*. La presión de carga flotante se analiza en la sección 22.21 de esta unidad.

Los receptores en sistemas que tienen válvulas de control de la presión de carga se deben dimensionar lo suficientemente grandes para mantener la carga normal de funcionamiento más la carga adicional que se necesita para inundar por completo el condensador en operaciones en el invierno. De hecho, los receptores se deben dimensionar de manera que estén casi 80% llenos cuando contengan la carga de todo el sistema. En esto se considera un 20% de carga de vapor por seguridad cuando se evacua el sistema. Cualquier receptor del sistema de refrigeración debe de poder mantener toda la carga de refrigerante del sistema y aún disponer de una carga de 20% de vapor por seguridad. La **figura 22-48** muestra un sistema de refrigeración con una válvula de mezclado de control de la presión de carga utilizada con un receptor sobrediseñado. La mayoría de los fabricantes publican gráficas y tablas informativas de sus recomendaciones de la carga del sistema que le indican al técnico de mante-



Figura 22-48 Válvula de control de la presión de carga de control de ambiente bajo (LAC) que se muestra conectada a un condensador y receptor. *Cortesía de la Ferris State University. Fotografía de John Tomczyk*

nimiento cuánto refrigerante agregar a sistemas que dispongan de válvulas de control de la presión de carga diseñadas para inundar el condensador en clima frío. En la actualidad, esas tablas y gráficas las puede obtener en internet un técnico de mantenimiento con una computadora personal. Si los receptores de un sistema de refrigeración o de aire acondicionado no se sobrediseñaron para acomodar el refrigerante adicional necesario para inundar el condensador durante condiciones ambientales bajas, el técnico de mantenimiento

tendrá que remover refrigerante cada primavera a fin de evitar presiones de carga altas en un ambiente de diseño, sólo para regresarlo de nuevo en el otoño cuando se necesitará de nuevo para inundar el condensador para el control de la presión de carga. A esta técnica con frecuencia se le refiere como procedimiento de carga de invierno/verano. Sin embargo, como se puede observar, al sobrediseñar el receptor se puede ahorrar este trabajo adicional.

El diagnóstico de una válvula de control de la presión de carga con un domo presurizado puede ser fácil si se siguen los pasos correctos. Si la temperatura ambiente exterior es menor que 70 °F y la presión de carga es baja, toque el conducto entre la válvula y el receptor, **figura 22-47**. Si este conducto está frío, la válvula no está permitiendo que el gas de descarga del compresor pase al receptor, por lo que la válvula está defectuosa y se deberá de reemplazar. Este conducto debe estar cálido en un ambiente por debajo de 70 °F. Si la presión de carga es baja, el ambiente está por arriba de 70 °F y el conducto entre la válvula y el receptor está caliente, la válvula está defectuosa y se debe de reemplazar. El conducto deberá de estar un poco más caliente que el ambiente debido al líquido subenfriado proveniente de la salida del condensador hacia el receptor en el ambiente exterior más caliente. La válvula deberá cerrar el flujo del gas de descarga del receptor. Sin embargo, el sistema también podría estar bajo de carga, causando una presión de condensación baja que engañe a la válvula. Por tanto, la válvula defectuosa sólo se debe de reemplazar después de verificar que la carga del sistema es la correcta.

Para reemplazar una válvula de control de ambiente bajo con una carga del domo presurizado, siga estos pasos:

- Recupere el refrigerante.
- Corte el tubo del proceso en el domo cargado de la válvula para eliminar la carga de presión.
- Con un soplete caliente la válvula hasta que la soldadura se licue, luego remueva la válvula.
- Envuelva el cuerpo de la válvula con un disipador térmico para evitar dañarla y suelde con soldadura de plata la nueva válvula.
- Instale un filtro desecador nuevo.
- Verifique si el sistema tiene fugas y evacue hasta un vacío profundo (500 micras).
- Cargue el sistema y vuelva a verificar si tiene fugas.

Los sistemas en los que se utiliza la inundación del condensador para control de la presión de carga tienen cargas de refrigerante grandes, como se mencionó antes. La carga total para el sistema se puede agregar siguiendo los cálculos del fabricante. Cuando un técnico de mantenimiento trabaja en una unidad que tiene una carga parcial, es muy difícil cargar el sistema sin disponer de algunas directrices. Cuando el sistema es pequeño, por ejemplo, menor de 10 ton, al técnico se le recomienda que recupere la carga que se encuentra en el sistema y que mida la carga recomendada por el fabricante. Luego el sistema debe funcionar en todas las condiciones de temperatura.

Los sistemas grandes normalmente tienen dos mirillas de inspección en el receptor de líquido, una en el fondo y la otra al nivel de 80% lleno. El procedimiento apropiado para cargar uno de estos sistemas es apagar el sistema hasta que la carga se acumule y el compresor o compresores se puedan hacer funcionar a carga plena. Luego se bloquea el aire sobre el condensador hasta que la presión de carga sea la de un día a 95 °F. Esto asegurará que no haya exceso de refrigerante líquido en el condensador. Después cargue el sistema hasta que pueda ver en la mirilla de inspección el nivel de 80% de líquido en el receptor de líquido. Si el clima está caliente en el exterior, quizá tenga que destapar el condensador si la presión de carga comienza a subir demasiado alto. Ahora usted sabe que hay

suficiente refrigerante para inundar el condensador en clima frío y que no hay un exceso de refrigerante en el condensador.

Luego se puede remover la cubierta del condensador y el sistema se debe de equilibrar por sí mismo.

22.19 USO DEL SOBRECALENTAMIENTO DEL CONDENSADOR

Los condensadores enfriados por aire se caracterizan por tener altas temperaturas en el conducto de descarga, incluso en invierno. Se podría aprovechar este hecho recolectando dicho calor en el invierno y redistribuyéndolo por la estructura o utilizándolo para calentar agua. El sistema de refrigeración expulsa el calor del compartimento refrigerado, calor que se ha filtrado al compartimento procedente de la propia tienda. Este calor se tiene que expulsar a un lugar en el que sea inofensivo. En el verano el calor se podría enviar al exterior de la tienda o, posiblemente, a un sistema de agua caliente doméstico, **figura 22-49**. De esta manera, se podría obtener agua a 140 °F para el propio uso de la tienda, lo que conlleva un gran ahorro de energía.

22.20 RECUPERACIÓN DEL CALOR

Durante el invierno, la tienda necesita calor. Si se pudiera expulsar el calor al interior de la tienda, se podría reducir el costo de la calefacción, ya que todo el calor que recupere del sistema es calor que no se tiene que comprar, figura 22-50.

En los equipos enfriados por aire, la recuperación del calor es muy sencilla. Se podría pasar el gas de descarga a un condensador situado en el techo o a un serpentín instalado en el sistema de canalización que suministre calor a la tienda. La temperatura de condensación del equipo enfriado por aire es lo suficientemente elevada como para que se pueda utilizar como calefacción y la cantidad de calor es lo suficientemente grande como para que se tome en cuenta. Algunas tiendas, en climas más moderados, pueden extraer suficiente calor del sistema de refrigeración como para suministrar todo el calor que necesite la tienda. La recuperación de calor se analiza con detalle en la unidad 26, "Aplicaciones de los sistemas de refrigeración".

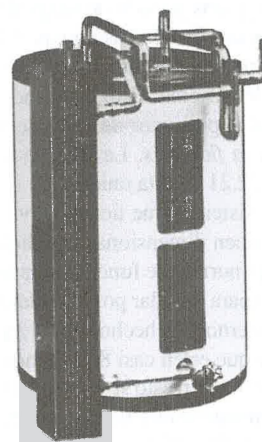


Figura 22-49 Intercambiador de calor para capturar el calor del conducto de descarga que está extremadamente sobrecalentado y utilizarlo para calentar agua para uso doméstico. Este conducto podría encontrarse fácilmente a 210 °F y puede suministrar agua a 140 °F con un suministro sólo limitado por el tamaño del sistema de refrigeración. Entre más grande sea el sistema, se tendrá más calor disponible. *Cortesía de Noranda Metal Industries, Inc.*

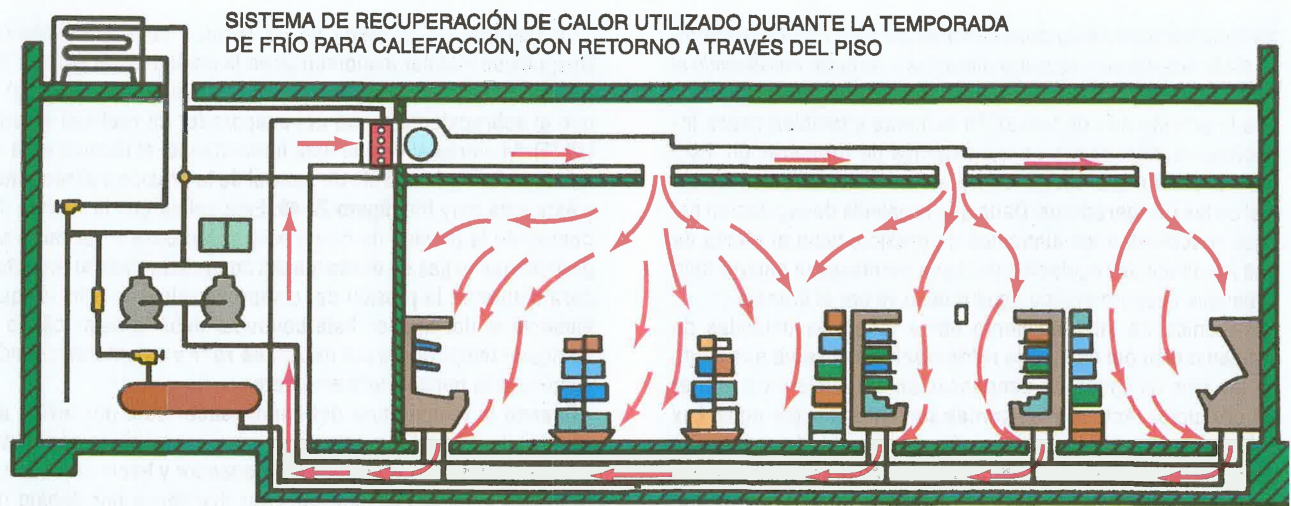


Figura 22-50 Sistema que suministra calor a la tienda.

22.21 PRESIONES DE CARGA FLOTANTE

Históricamente las presiones de condensación y temperaturas elevadas se mantenían de manera artificial con controles de la presión en un sistema de refrigeración, de manera que funcionara de manera adecuada a temperaturas ambientes bajas. Estas presiones elevadas se consideraban obligatorias a fin de que el dosificador alimentara de manera adecuada al evaporador. Sin embargo, cuando las presiones de condensación aumentan, el sistema de refrigeración consume más energía eléctrica y disminuye su eficiencia. A los costos actuales de la energía, estas ineficiencias se están haciendo cada vez menos aceptables.

En el pasado los diseñadores de sistemas de aire acondicionado y refrigeración elegían una condición de diseño de exterior para el sistema. Esta condición exterior de diseño comúnmente consistía de una temperatura que no se alcanzaría más de 2% del tiempo durante la duración del equipo. Entonces la selección del condensador se hacía con base en esta condición que rara vez se tenía. En la actualidad los diseñadores de sistemas de refrigeración y aire acondicionado a menudo tratan de lograr las presiones de condensación y temperaturas menores posibles y diseñan los condensadores de acuerdo con estas presiones y temperaturas. Un término de la industria utilizado para lograr la temperatura de condensación menor posible se denomina *presión de carga flotante*. Los sistemas con presión de carga flotante simplemente dejan que las presiones de condensación sigan la temperatura ambiente cuando las estaciones cambian de verano a invierno y de nuevo de regreso. Esto significa que en el otoño, invierno y primavera las presiones de condensación estarán en su valor menor. No es poco común que las temperaturas de condensación sean de 30 °F a 40 °F en los meses de invierno.

Trabajando en conjunto con los proveedores de dosificadores, los investigadores descubrieron que las *válvulas de expansión termostática (TXV)* funcionarían con una caída de presión mucho menor a través de ellas que la que se esperaba en el pasado, siempre que se suministrara líquido puro. Algunos dosificadores producto de la tecnología más reciente pueden operar con una caída de presión tan reducida como 30 psi.  Con este conocimiento nuevo, los diseñadores permiten que las presiones de condensación floten hacia abajo con la temperatura ambiente en los meses de primavera, otoño e invierno. Esto hace que el sistema tenga mayores efi-

ciencias con menos consumo energético.  De hecho, la mayoría de las temperaturas exteriores en Estados Unidos son menores que 70 °F. La capacidad del compresor aumenta aproximadamente 6% por cada caída de 10°F en las temperaturas de condensación. Los controles de ambiente bajo aún se pueden emplear en estos sistemas cuando se tengan temperaturas extremadamente frías. Con frecuencia se tendrán que modificar sus calibraciones para adecuarlas a la aplicación específica y a las condiciones ambientales extremas.

Cuando las presiones se hacen flotar en el otoño, invierno y primavera, las presiones de condensación disminuirán. Esto hace que se disponga de menos calor para los serpentines de recuperación de calor para la calefacción de edificios. Sin embargo, es mucho más eficiente calentar un edificio con un calentador a base de combustible fósil que aumentar las presiones de manera artificial con controles de presión de carga en un sistema de refrigeración y aire acondicionado y ocasionar ineficiencias. Debido a esto se instalan menos sistemas de recuperación de calor.

22.22 EVALUACIÓN DEL CONDENSADOR

Un comentario final: no se pierda en los detalles del equipo. Todos los componentes del sistema interactúan unos con otros. Por ejemplo, la presión de funcionamiento del condensador afecta al evaporador. A medida que vaya teniendo más experiencia, podrá extraer conclusiones más adecuadas. Todos los sistemas de compresión disponen de un condensador que se encarga de expulsar el calor del sistema. Si examina el equipo, verá este condensador, sea del tipo que sea. El condensador estará caliente en los equipos enfriados por aire y estará templado en los equipos enfriados por agua.

22.23 LLAMADAS DE SERVICIO TÉCNICO

LLAMADA DE SERVICIO 1

El propietario de un tiende pequeña de abarrotes llama al servicio técnico quejándose de facturas elevadas del servicio de suministro de agua y por temperaturas de refrigeración cálidas de algunos enfriadores y frigoríficos. *El problema es que dos de*

los condensadores helicoidales enfriados por agua de tubo concéntrico están tapados con depósitos minerales y no están transfiriendo el calor rechazado por el condensador al agua, **figura 22-3**. Esto hace que la presión de condensación aumente y también causa ineficiencias indeseadas en los sistemas de refrigeración. Esto tiene el efecto de producir temperaturas más cálidas de lo normal en los refrigeradores. Dado que la válvula de regulación del agua reacciona a los aumentos de presión, tiene el efecto de que la válvula de regulación del agua permanezca abierta todo el tiempo, desperdiciando agua que se va por el drenaje.

El técnico de mantenimiento ubica todas las unidades de condensación del equipo de refrigeración y observa que cinco de las seis unidades de condensación utilizadas para enfriar los productos lácteos y las carnes son enfriadas por agua. Las unidades enfriadas por agua utilizan válvulas de regulación para suministrar agua a los cinco condensadores concéntricos. El agua de la red de suministro se emplea para enfriar y el agua usada simplemente se desecha por el drenaje, después de que sale del condensador. El cliente le explica al técnico que la factura del agua siempre ha sido un tanto alta debido al uso de condensadores enfriados por agua, pero que se ha incrementado gradualmente en los últimos tres meses. Además, las temperaturas de los refrigeradores han estado más cálidas que lo usual.

El técnico escucha con atención y se da cuenta que dos de los condensadores enfriados por agua están desechando agua por el drenaje de piso muy rápido. Entonces el técnico de mantenimiento mide la diferencia de temperatura entre el agua que sale del condensador en estas dos unidades y encuentra que sólo hay una diferencia de un grado. Esto le indica al técnico que los dos condensadores de tubo concéntrico están tapados con depósitos minerales que evitan que el calor se transfiera del condensador al agua. Dado que los dos están tapados, y como a los condensadores helicoidales de tubo concéntrico no se les puede dar mantenimiento, el técnico le dice al cliente que tendrá que ordenar dos condensadores nuevos. Una semana más tarde el técnico recupera toda la carga de refrigerante y reemplaza los dos condensadores enfriados por agua de tubo concéntrico a los que no se les puede dar mantenimiento, por condensadores de coraza y tubo de la misma capacidad que se pueden limpiar, **figura 22-22(B)**. Estos condensadores permitirán que el técnico los limpie en lugar de reemplazarlos la próxima vez que se tapen con minerales.

LLAMADA DE SERVICIO 2

Un cliente de una tienda se queja de una cámara frigorífica diseñada para mantener carnes a 36 °F que está entrando en ciclos cortos y que no mantiene el espacio refrigerado a una temperatura menor de 45 °F. El sistema funciona con R-134a y tiene una unidad de condensación exterior enfriada por aire. El problema es que la temperatura ambiente es de 10 °F y que la válvula de mezclado de control de la presión de ambiente bajo está defectuosa. La válvula no permite que pase el gas de descarga del compresor hacia el receptor para mantener la presión del receptor elevada y alimentar el dosificador. Por tanto, el evaporador está subalimentado de refrigerante y está funcionando a una presión del evaporador baja con sobrecalentamientos altos. Esto hace que el control de baja presión apague la unidad prematuramente y que entre en ciclos cortos.

Se requiere de la ayuda de un técnico de mantenimiento. Después de instalar manómetros en la unidad, el técnico se da cuenta de que la presión en realidad es muy baja (50 psig) y que el sobrecalentamiento del evaporador en realidad es alto (30 °F). Mientras el equipo está funcionando, el técnico toca el conducto entre la válvula de control de la presión y el receptor, y éste está muy frío, **figura 22-48**. Esto indica que la válvula de control de la presión de carga está defectuosa y por tanto no permite que el gas de descarga del compresor pase al receptor para mantener la presión del compresor elevada a fin de que alimente el dosificador. Este conducto debería estar cálido a cualquier temperatura por debajo de 70 °F y calentarse cuando disminuya la temperatura ambiente.

Cuando la temperatura del condensador está por arriba de 70 °F, el flujo de refrigerante del compresor se dirige por la válvula de mezclado a través del condensador y hacia el receptor. Si la temperatura ambiente exterior disminuye por debajo de 70 °F, la presión del condensador caerá y la presión del líquido que proviene del condensador también caerá hasta un punto menor que el del fuelle en el domo de la válvula. Esto hace que el pistón se mueva en la válvula y que restrinja en forma parcial el flujo de refrigerante que sale del condensador. Ahora el condensador se inundará parcialmente con refrigerante para mantener una presión de condensación. Al mismo tiempo, el gas de descarga evitará el condensador y fluirá de manera directa hacia el receptor, **figura 22-47**. Este gas de descarga sobrecalentado que va hacia el receptor ahora se mezcla con el refrigerante líquido que viene del condensador. Esto mantiene la presión elevada y ayuda a tener alimentados los dosificadores con refrigerante.

El técnico decide reemplazar la válvula siguiendo estos pasos:

- Recupera el refrigerante.
- Corta el tubo del proceso en el domo cargado de la válvula para remover la carga de presión.
- Con un soplete calienta la válvula hasta que la soldadura se funde, luego remueve la válvula.
- Envuelve el cuerpo de la válvula con una manta térmica para evitar que se dañe y une con soldadura de plata la nueva válvula.
- Instala un nuevo filtro desecador.
- Verifica si hay fugas en el sistema y evacua hasta un vacío profundo (500 micras).
- Carga el sistema y vuelve a verificar si hay fugas.

Ahora el sistema se arranca y se obtienen presiones normales de sobrecalentamiento del evaporador y del sistema. El espacio refrigerado se enfría en aproximadamente una hora. El técnico toca el conducto entre la válvula de mezclado de control de ambiente bajo y el receptor y se da cuenta que está cálido. Esto significa que la válvula está permitiendo que el gas de descarga del compresor pase al receptor para mantener la presión del receptor elevada a fin de alimentar el dosificador. Al mismo tiempo el condensador estará parcialmente inundado con refrigerante líquido para controlar la presión.

RESUMEN

- El condensador es el componente que se encarga de expulsar el calor del sistema de refrigeración.
- El refrigerante se condensa en líquido en el condensador y cede calor.

- El agua es el primer medio en el que se rechaza calor mediante el condensador enfriado por agua.
- Existen tres tipos de condensadores enfriados por agua: los de tubo concéntrico, los de coraza y serpentín, y los de tubo y coraza.
- La mayor cantidad de calor se cede del refrigerante mientras tiene lugar el proceso de condensación.
- El refrigerante por lo común se condensa a aproximadamente 10 °F más alto que el medio de condensación saliente en un condensador enfriado por agua que utiliza una torre de enfriamiento.
- La primera tarea del condensador es la de eliminar el sobrecalentamiento del gas caliente que fluye desde el compresor.
- Una vez que el refrigerante se ha condensado en líquido, este líquido se puede enfriar aún más, por debajo de la temperatura de condensación. A esto se le denomina subenfriamiento.
- Cuando el medio de condensación esté lo suficientemente frío para reducir la presión de carga hasta el punto que el dispositivo de expansión subalimente el evaporador, se deberá utilizar un control de la presión de carga, ya sea que se esté utilizando agua o aire como medio de condensación.
- Existen tres tipos de torres de enfriamiento: de tiro natural, de tiro forzado y de condensación por evaporación.
- Los sistemas de agua recirculada utilizan la evaporación para ayudar al proceso de enfriamiento.
- Cuando el agua se evapora, aumenta la concentración de minerales. Para evitar que esto ocurra, se debe agregar agua al sistema.
- Las cuatro formas de controlar la presión de carga son: con mecanismos de control del ciclo del ventilador, ventiladores de velocidad variable, obturadores y controles de inundación del condensador.
- La relación entre la temperatura de condensación y la temperatura del aire que pasa por el condensador puede ayudar al técnico de mantenimiento a determinar cuál debería de ser la lectura del manómetro de alta presión en los condensadores enfriados por aire.

PREGUNTAS DE REPASO

1. ¿Por qué algunos condensadores se tienen que limpiar con cepillos y otros con soluciones de productos químicos?
2. Los tres materiales con los que están hechos normalmente los condensadores son _____, _____ y _____.
3. ¿A quién hay que consultar cuando haya que limpiar el condensador?
4. ¿En qué momento del proceso de condensación se elimina más calor del refrigerante?
5. Después de que el calor se ha absorbido hacia un medio de condensación en un condensador enfriado por agua, el calor se puede depositar en uno de dos sitios. ¿Cuáles son?
6. ¿La capacidad de una torre de enfriamiento se rige por qué aspecto del aire ambiente?
 - A. Por la temperatura de bulbo seco
 - B. Por la temperatura de bulbo húmedo
 - C. Por la entalpía del aire
 - D. Por la altitud
7. Cuando se utiliza un condensador enfriado por aire de eficiencia estándar, el refrigerante de condensación normalmente tendrá una temperatura de _____ °F mayor que la temperatura del aire entrante.
8. Cuatro métodos para controlar la presión de descarga en los condensadores enfriados por aire son _____, _____, _____ y _____.
9. ¿Los vientos predominantes pueden afectar a qué tipo de condensadores enfriados por aire?
10. ¿Cierto o falso? Los condensadores enfriados por aire son mucho más eficientes que los enfriados por agua.
11. El tipo de condensador que tiene la presión de carga de funcionamiento más baja es el condensador enfriado _____.
12. Haga una comparación entre las condiciones estándar de los condensadores de alta eficiencia y los estándar enfriados por aire.
13. Nombre dos maneras en las que el calor de un condensador enfriado por aire se puede utilizar para recuperar calor.
14. Describa brevemente qué significa presión de carga flotante e indique por qué se utiliza en sistemas de refrigeración y aire acondicionado.
15. Explique cómo expulsar las impurezas de una válvula de regulación de agua que se encuentra en un condensador enfriado por agua.
16. Explique la operación básica de una combinación de válvulas ORI y ORD de control de la presión de carga de ambiente bajo.
17. Nombre dos problemas que puede tener un sistema de refrigeración si la unidad de condensación está expuesta a una condición de ambiente bajo cuando no se utiliza una válvula de control de la presión de carga de ambiente bajo.