II.- COMPRESORES, CONDENSADORES Y EVAPORADORES

pfernandezdiez.es

II.1.- INTRODUCCIÓN

Los compresores son los dispositivos encargados de hacer pasar el fluido frigorígeno desde la presión de evaporación, correspondiente a las condiciones del foco frío, a la presión de condensación del foco caliente, por lo que hay que hacer un aporte exterior de trabajo.

El motor y el cilindro de trabajo forman una unidad compacta totalmente hermética denominada compresor. En el interior se encuentra el aceite necesario para su lubricación que se puede mezclar con el fluido frigorígeno (principalmente en los arranques) durante el recorrido por el circuito frigorífico, volviendo nuevamente a depositarse, la mayor parte, en el compresor.

El tipo de compresor depende del tipo de fluido frigorígeno utilizado.

En las máquinas de desplazamiento positivo se aplica una fuerza exterior para obligar a un cierto volumen de gas o vapor a desplazarse desde el recinto a baja presión hasta el recinto a alta presión.

En las máquinas centrífugas el movimiento de un rotor en el seno del gas o vapor comunica a éste un incremento de energía cinética, que posteriormente se traduce en un incremento de presión al pasar el fluido por un conducto de sección variable que actúa como difusor.

Las máquinas de desplazamiento positivo a su vez se clasifican en alternativas y rotativas o volumétricas. En las primeras, es el desplazamiento alternativo de un émbolo el que obliga al gas a desplazarse, mientras que en las otras, el gas es empujado por un desplazador que gira alrededor de un eje.

Las máquinas centrífugas se pueden clasificar en dos tipos: de flujo axial, y de flujo radial. En las primeras, la circulación del fluido a través del rotor es paralela al eje del mismo, en tanto que en las segundas, la circulación se produce en la dirección radial.

Los compresores que se utilizan normalmente en las instalaciones industriales de refrigeración son los de pistón, de movimiento alternativo. Este tipo de compresor puede ser, abierto, hermético o semihermético.

Para grandes instalaciones se usan compresores centrífugos.

II.2.- COMPRESORES ALTERNATIVOS

En las Fig II.1,2,3 se representan esquemáticamente algunos tipos de compresores alternativos monocilíndricos, de simple efecto, compresores abiertos de émbolo de dos y cuatro cilindros en línea, en estrella o en V, etc; la tendencia actual va en el sentido de aumentar el número de revoluciones, y el número de cilindros, disminuyendo al tiempo las vibraciones y los ruidos.

El cuerpo del compresor es, generalmente, de fundición y viene dividido en dos partes, que son el bloque del cilindro y el cárter. Las paredes de los cilindros van rectificadas y pulidas a espejo con rigurosas tolerancias, o bien van dotadas de camisas cuidadosamente mecanizadas. La parte exterior del cuerpo del compresor está dotada de aletas, para facilitar el enfriamiento del bloque de los cilindros.

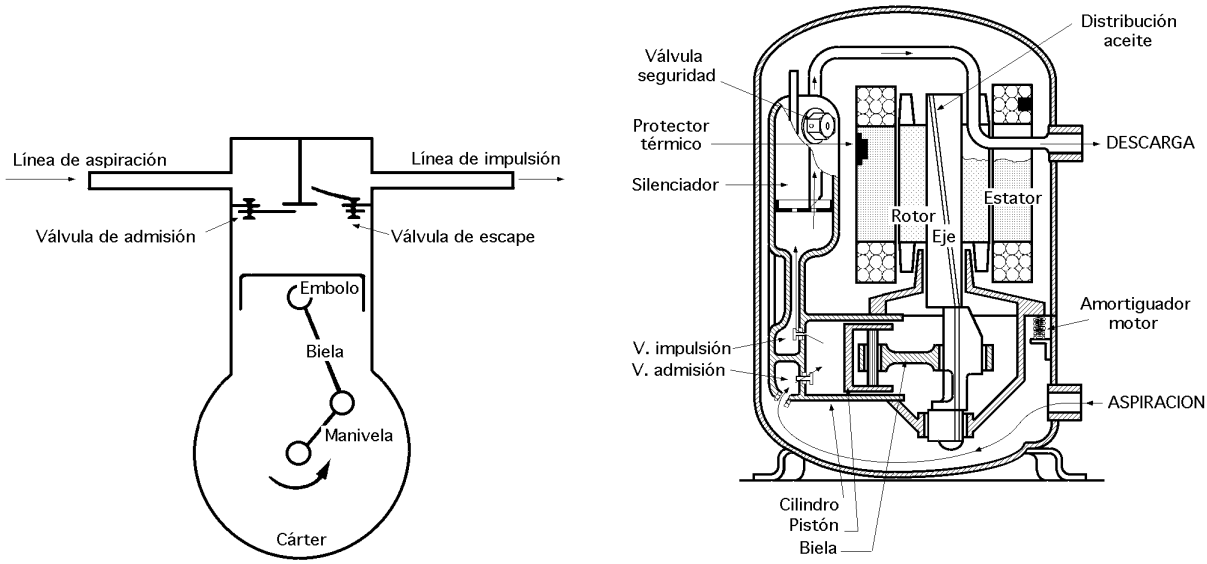


Fig II.1.- Esquema de compresor alternativo monocilíndrico

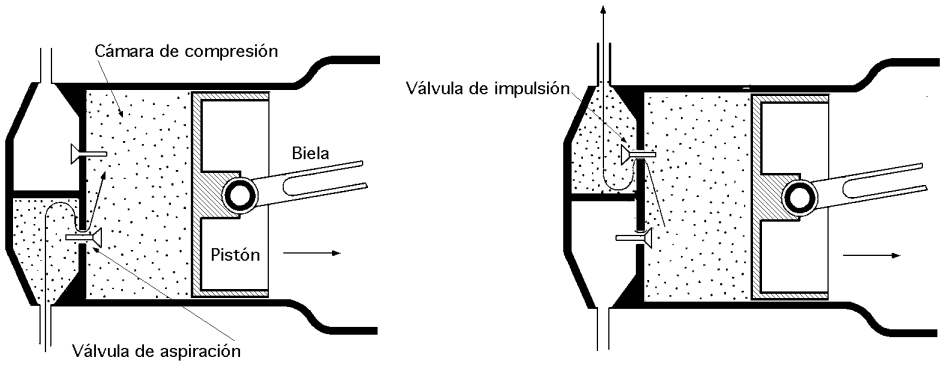


Fig II.2.- Cargas de aspiración e impulsión en un compresor alternativo monocilíndrico

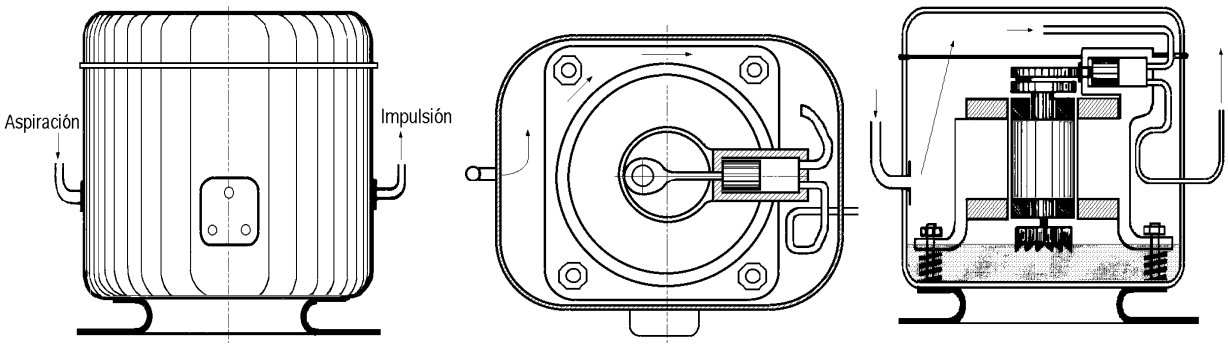


Fig II.3.- Esquema de compresor alternativo compacto monocilíndrico de simple efecto

En el cuerpo del compresor están dispuestos los cojinetes de rozamiento del cigüeñal o excéntrica; las superficies de rozamiento de los cojinetes suelen ir acanaladas para facilitar la lubricación.

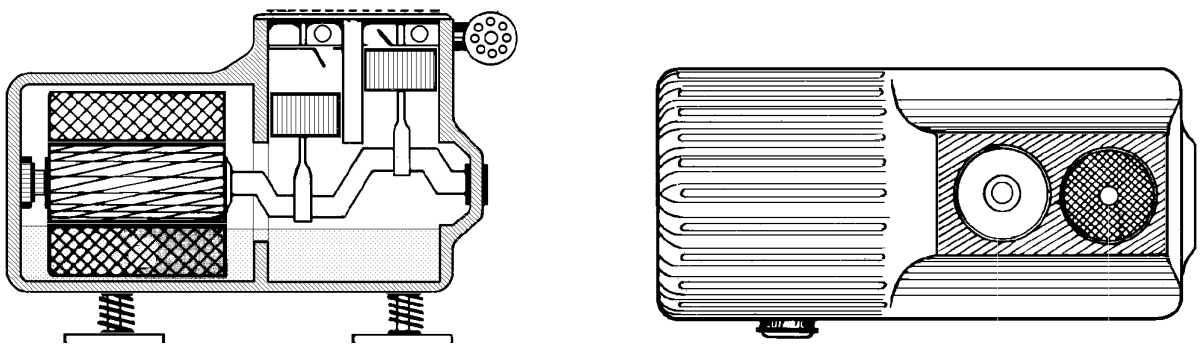
Los compresores con cigüeñal en el lado del volante llevan una tapa lateral atornillada, donde va alojado el prensaestopas que permite la colocación del cigüeñal; esta tapa no es necesaria en los compresores de excéntrica, detalle éste que permite distinguir a simple vista el tipo de compresor.

Cuando el peso es un factor a tener en cuenta, se acude a cuerpos de aluminio, como sucede en los vehículos de transporte de productos congelados o refrigerados.

Las válvulas de admisión y de escape son diferentes; en el caso de la válvula de admisión, ésta abre cuando la diferencia entre la presión en la línea de aspiración y la presión en el interior del cilindro equilibra la tensión de un resorte, en tanto que la de escape abre cuando la diferencia de presiones entre el interior del cilindro y la línea de impulsión equilibra la tensión del resorte correspondiente.

El desplazamiento máximo del pistón, igual al doble de la longitud de la manivela, es la carrera, que debe ser algo inferior a la longitud del cilindro, para evitar entre otras cosas que, debido a dilataciones de origen térmico, el pistón pueda golpear contra el plato de válvulas durante la carrera ascendente. La posición más elevada del émbolo recibe el nombre de punto muerto superior PMS y la más baja el de punto muerto inferior PMI.

Cuando el pistón se encuentra en su PMS, existe una pequeña fracción del volumen del cilindro que permanece llena de gas, y recibe el nombre de espacio muerto o espacio nocivo.



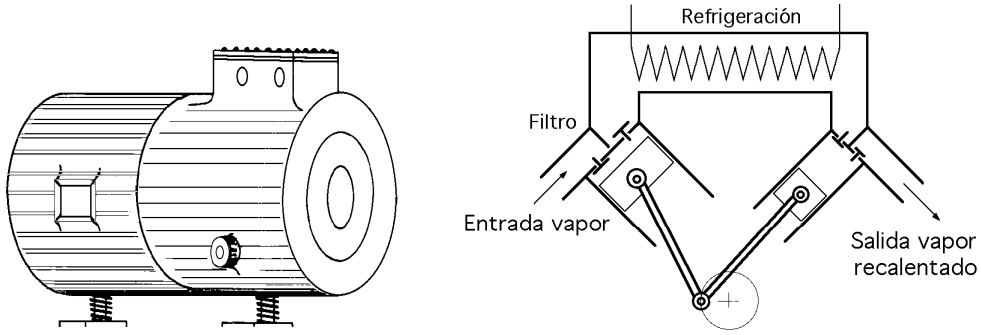


Fig II.4.- Esquemas de compresor alternativo de dos etapas

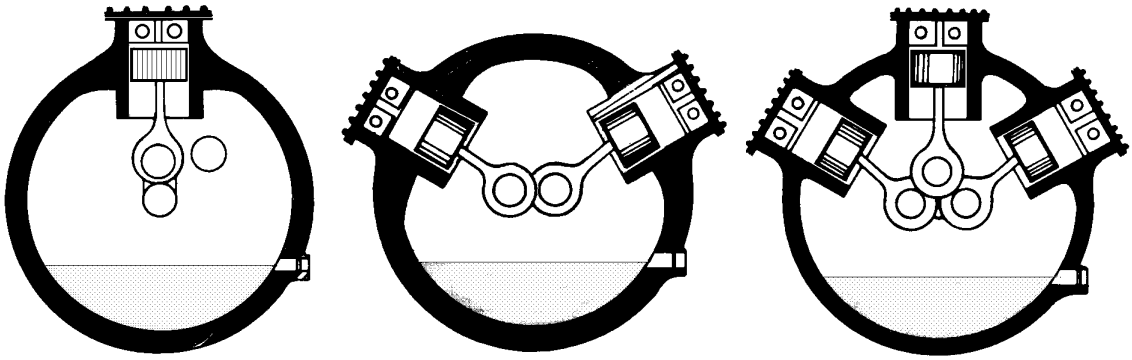


Fig II.5.- Esquemas de compresor alternativo compacto de simple, doble y triple efecto

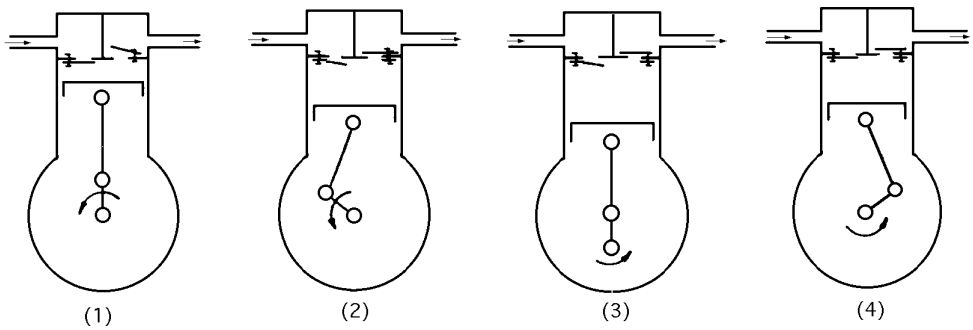


Fig II.6.- Tiempos de un compresor alternativo

La posición 1 corresponde al momento en que el pistón alcanza su PMS, Fig II.7. Cuando el pistón comienza su carrera descendente, el espacio perjudicial se encuentra lleno de gas a una presión ligeramente superior a la de impulsión y a medida que el émbolo desciende, este gas se expansiona, según un proceso adiabático, hasta alcanzar la posición 2, momento en que la presión en el interior del cilindro se hace ligeramente inferior a la de aspiración y la válvula de admisión abre.

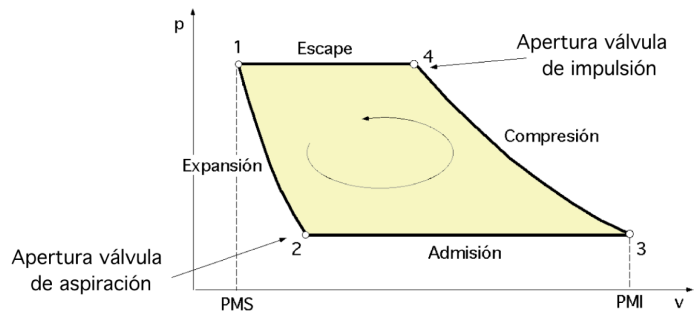


Fig II.7.- Diagrama ideal de un compresor de émbolo de simple efecto

En el momento en que comienza esta carrera descendente 1, al disminuir la presión en el interior del cilindro, la tensión del resorte correspondiente cierra la válvula de escape, por lo cual, durante la carrera de expansión ambas válvulas están cerradas. Cuando el pistón alcanza el punto 2, se abre la válvula de admisión, continúa su carrera descendente, con lo cual se aspira vapor, según un proceso esencialmente isobárico, hasta que se alcanza el PMI, posición 3.

Cuando el pistón inicia su carrera ascendente, se cierra la válvula de admisión, debido a un ligero incremento de la presión en el interior del cilindro sobre el valor de la presión de aspiración. A partir de este momento, con las dos válvulas cerradas, se inicia la compresión del gas 3 según un proceso esencialmente adiabático, hasta alcanzarse la posición 4. En este momento, la presión en el interior del cilindro es ligeramente superior al valor de la presión en la impulsión y al vencer el resorte correspondiente se abre la válvula de escape. Al continuar la carrera ascendente del pistón, el gas contenido en el interior del cilindro es barrido hacia el exterior, según un proceso esencialmente isobárico, hasta que aquel alcanza de nuevo el PMS, momento en que se vuelve a iniciar la secuencia descrita.

Selección.- Para seleccionar un compresor alternativo es necesario especificar una serie de características del mismo, como son: $\begin{cases} \text{- } \textit{La relación de compresión} \\ \text{- } \textit{El caudal volumétrico} \\ \text{- } \textit{La potencia absorbida} \end{cases}$

Durante el proceso de compresión se eleva la temperatura del gas contenido en el cilindro, por lo que sería lógico esperar que la posible humedad contenida en los vapores de aspiración se vaporizara y al alcanzar el pistón su PMS el vapor estuviese totalmente seco. Sin embargo, debido a la inercia de los procesos de transmisión de calor y a la rapidez del proceso de compresión, puede ocurrir que esta vaporización no se efectúe totalmente. Cuando el título del vapor aspirado es suficientemente bajo, ocurre que el volumen de líquido presente al final de la carrera de compresión es superior al volumen del espacio muerto y debido al carácter prácticamente incompresible del líquido se producen elevados esfuerzos sobre el plato de válvulas que son causa de su deterioro, fenómeno que se conoce con el nombre de golpe de líquido en el compresor.

La presencia de líquido al final de la compresión resulta indeseable, aunque no sea en cantidad suficiente como para deteriorar el compresor, pues al iniciarse la carrera descendente del pistón e iniciarse la expansión, las gotas de líquido tienden a vaporizarse aumentando el retardo en el tiempo de apertura de la válvula de admisión y disminuyendo el rendimiento volumétrico del compresor.

II.3.- COMPRESORES ROTATIVOS

Los compresores rotativos son particularmente adecuados para las aplicaciones en las que se requiere un desplazamiento volumétrico elevado a presiones de operación moderadas. Están constituidos por uno o varios elementos dotados de movimiento rotativo que conforman el rotor, y situados en el interior de un cilindro, estator.

Entre el estator y el rotor existe una cámara en la que el fluido aspirado se comprime, de forma que el movimiento del rotor confina al fluido en dicha cámara eliminando la comunicación con la línea de aspiración; posteriormente el desplazamiento del rotor pone en comunicación la cámara con la línea de impulsión y al existir en ésta una presión mayor, se produce la entrada de fluido procedente de la impulsión en la cámara que comprime el vapor, produciéndose una compresión por reflujo; finalmente, el movimiento del rotor expulsa todo el fluido de la cámara, obligándolo a pasar a la línea de impulsión.

Existen muchos tipos de compresores rotativos, entre los cuales se puede hacer mención a los compresores de paletas, de émbolos radiales, de émbolos axiales, Scroll, etc.

La diferencia fundamental entre compresores rotativos y alternativos consiste, en lo que a las cualidades de operación se refiere:

- *Al hecho de que la ausencia de desplazamientos alternativos reduce la presencia de vibraciones*
- *A que el gasto másico de gas, es mucho menos pulsante*

La presencia de líquido al final de la compresión presenta una menor importancia

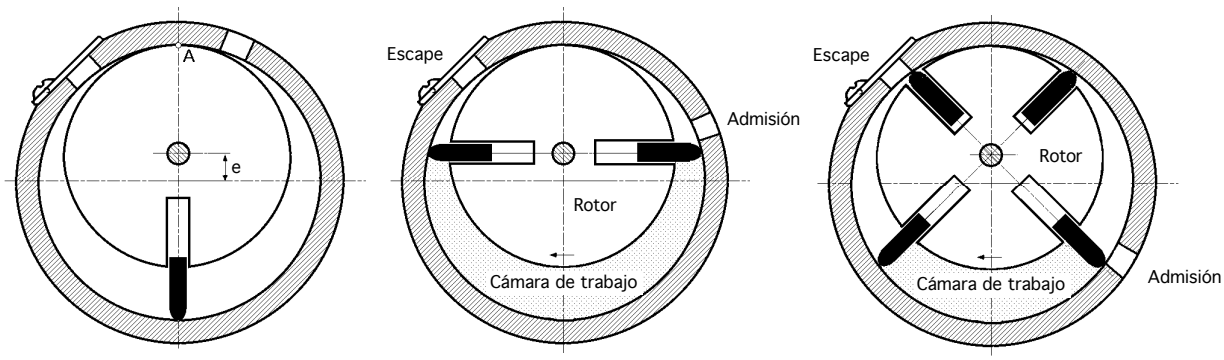


Fig II.8.- Compresores rotativos monocelular, bicelular y multicelular

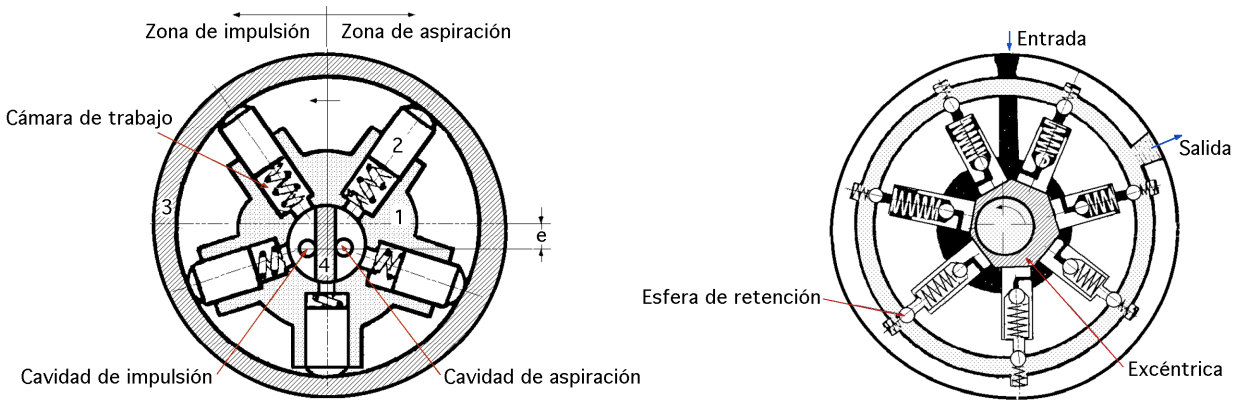


Fig II.9.- Compresores rotativos de émbolo radiales

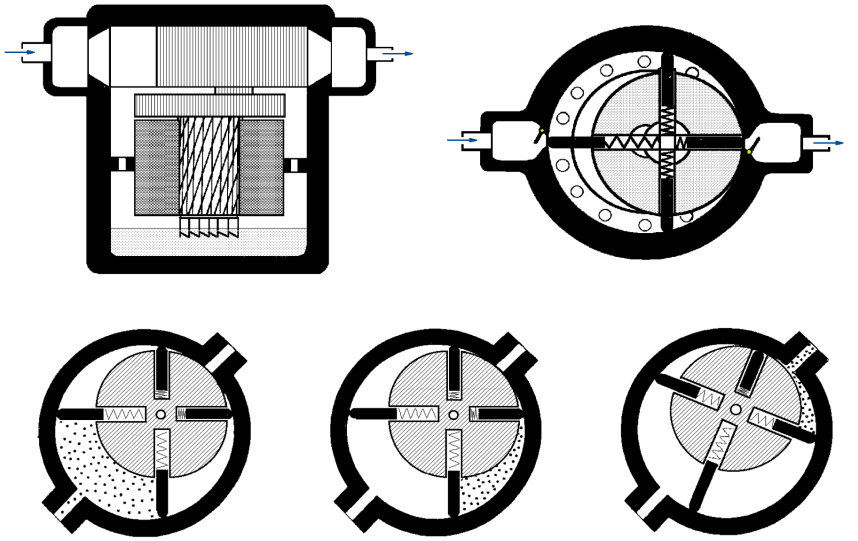


Fig II.10.- Etapas de funcionamiento del compresor rotativo de paletas

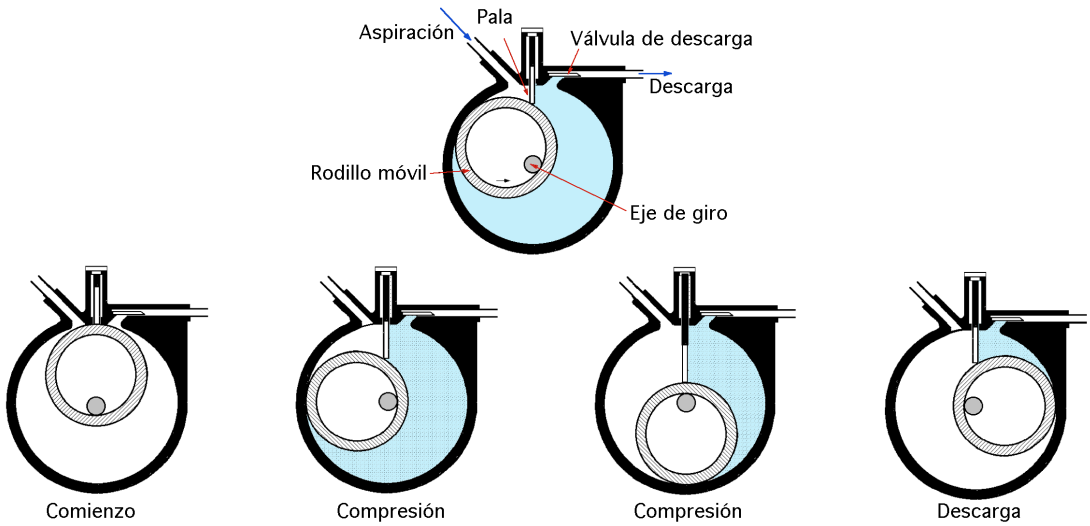


Fig II.11.- Etapas de funcionamiento del compresor rotativo de rodillo

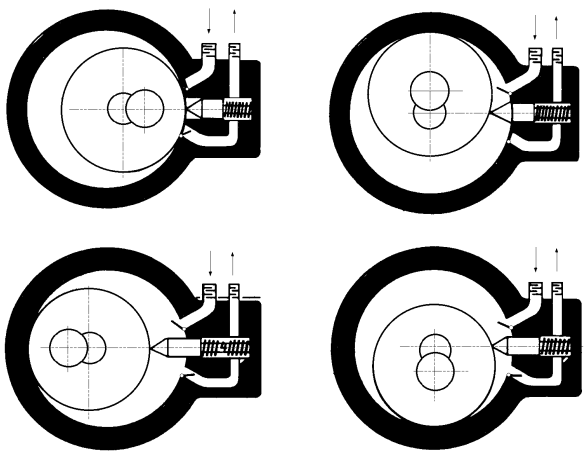


Fig II.12.- Compresor rotativo de pala deslizante sobre el estator

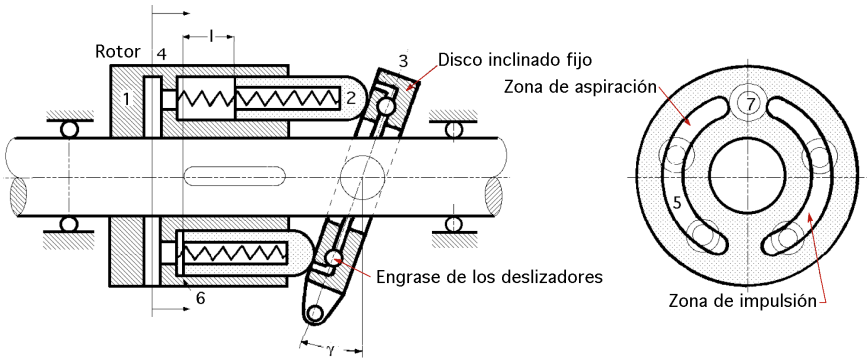


Fig II.13.- Compresor rotativo de émbolos axiales

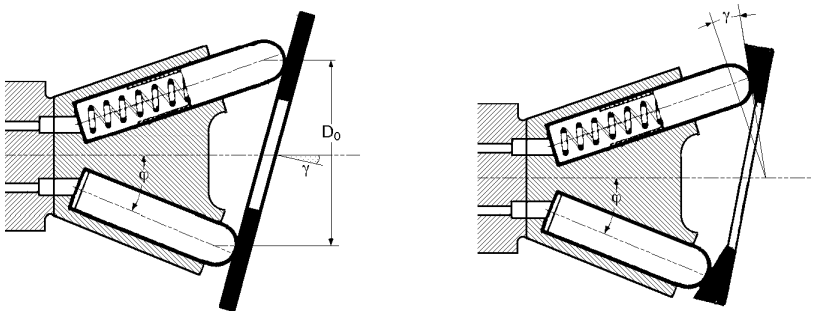


Fig II.14.- Compresor rotativo de émbolos inclinados, con disco cónico

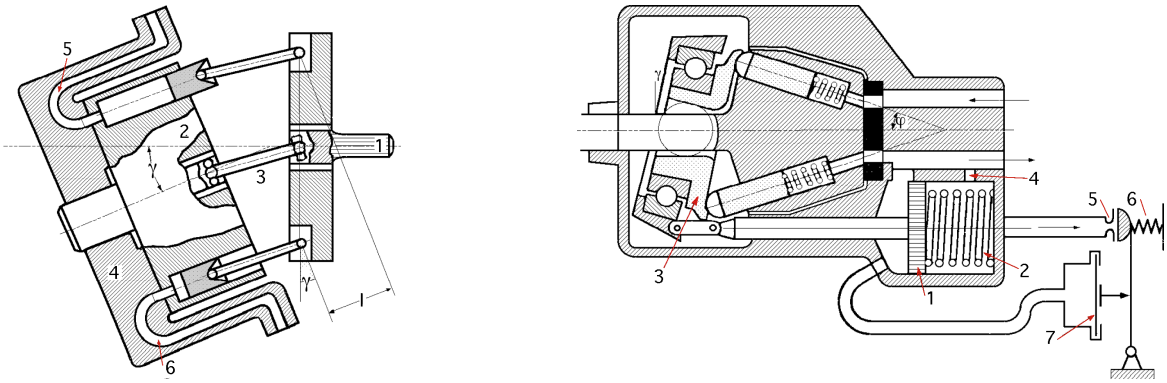


Fig II.15.- Compresor rotativo de émbolos, con bloque de émbolos inclinado y regulable

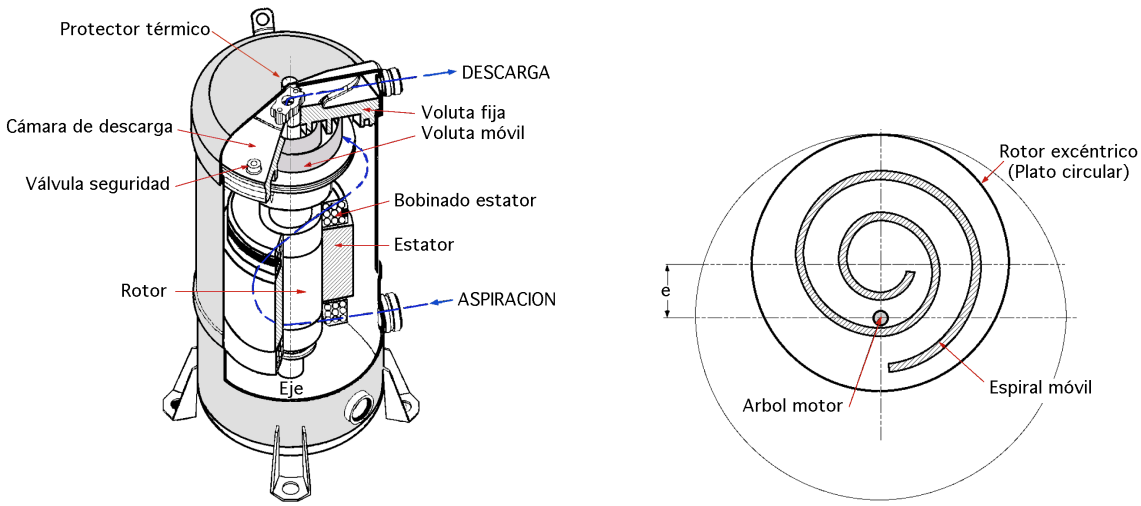


Fig II.16.- Compresor Scroll

II.4.- TURBOCOMPRESORES

Un turbocompresor TC está constituido esencialmente por un rotor que gira en el interior de una carcasa; el rotor está formado por un conjunto de álabes o paletas y el vapor es obligado a circular por el espacio libre entre cada dos álabes.

El movimiento impuesto al rotor aumenta la velocidad absoluta del vapor y posteriormente se transforma la energía cinética de la corriente en energía de presión mediante un difusor. Existen dos tipos de TC: los de flujo axial Fig II.17 y los centrífugos ó de flujo radial Fig II.18.

En los *compresores de flujo axial,* el fluido circula en dirección paralela al eje del rotor, en tanto que en los de flujo radial el movimiento del fluido respecto al álabe es normal al eje del rotor; la relación de compresión depende del número de etapas de compresión (rotor y estator que conforman un escalonamiento de presión), de la forma de los álabes, sobre todo del ángulo de salida β_2 y de la velocidad periférica de cada rodete; sin embargo, la relación de compresión de cada escalonamiento ε_c oscila entre 1,25 y 1,30 y para el compresor completo entre 15 y 20.

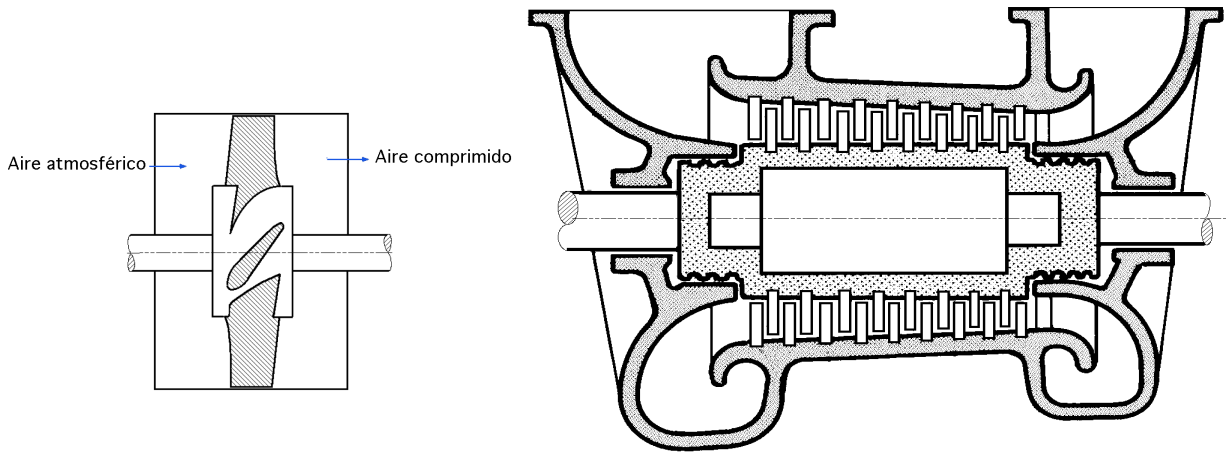


Fig II.17.- Turbocompresor axial

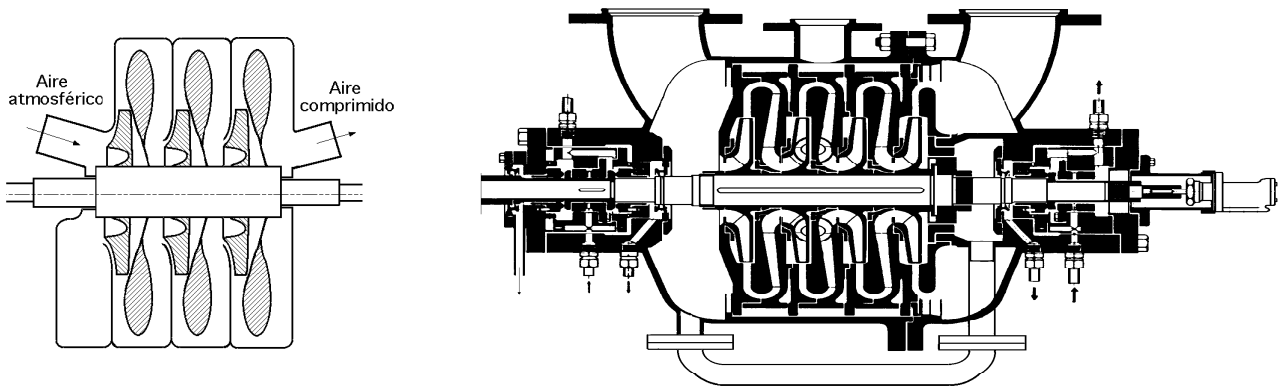


Fig II.18.- Turbocompresor radial

En los *compresores de flujo radial* se puede obtener, por escalonamiento, una relación de compresión de hasta 3. El compresor de flujo axial se emplea únicamente cuando la masa de gas a comprimir es extraordinariamente elevada y por éso no se suele utilizar en el campo de la refrigeración.

II.5.- CONDENSADORES

La unidad compresora tiene como misión aspirar el vapor del fluido frigorígeno formado en el evaporador, comprimirlo hasta un valor apto para la condensación y, una vez licuado en el condensador, utilizarlo nuevamente en el proceso de refrigeración de la cámara frigorífica.

El tamaño del condensador es función de la cantidad de fluido frigorígeno que se comprima, dependiendo de ello la superficie del mismo, como intercambiador de calor, para transmitir al fluido frigorígeno el calor latente de la condensación. En el condensador se va a producir la eliminación de calor al medio exterior a través de un sistema de refrigeración.

El fluido frigorígeno, que llega al condensador, lo hace en estado de vapor, saturado o recalentado, y posee una temperatura superior a la del medio de refrigeración que se va a utilizar en el condensador, generalmente aire o agua, por lo que el fluido refrigerante, a la temperatura del medio exterior, absorberá el calor latente del fluido frigorígeno, provocando su condensación, el cual, una vez licuado y en muchos casos, refrigerado en contracorriente con vapor del evaporador, pasa a la válvula de estrangulamiento, que lo lamina y expansiona, para volver de nuevo al evaporador, e iniciar un nuevo ciclo.

La disminución de presión, tiene como resultado la evaporación parcial del líquido frigorígeno, entrando en el evaporador parcialmente licuado.

En el condensador se cede a un fluido refrigerante exterior, tanto el calor absorbido por el refrigerante en el evaporador, como el equivalente térmico del trabajo de compresión, pasando el fluido frigorígeno del estado de vapor sobrecalentado al de líquido subenfriado.

En la inmensa mayoría de los casos el medio refrigerante es el aire, o el agua o una mezcla de ambos, clasificándose en: $\begin{cases} \text{- } \textit{Enfriados por aire} \\ \text{- } \textit{Enfriados por agua} \\ \text{- } \textit{Evaporativos} \end{cases}$

II.6.- CONDENSADORES ENFRIADOS POR AIRE

Cuando el medio condensante es el aire la circulación de éste a través del condensador puede tener lugar por convección $\begin{cases} \text{- } \textit{natural} \\ \text{- } \textit{forzada} \end{cases}$

Condensadores refrigerados por aire en convección natural.- En los condensadores refrigerados por aire en convección natural, el movimiento del aire se origina por la variación de densidad al ponerse en contacto con la superficie caliente de los tubos del condensador, por cuyo interior circula el

fluido frigorígeno a gran temperatura; el caudal de aire es bajo y se requiere una gran superficie de intercambio. Este sistema está en desuso en instalaciones industriales, debido a su limitada capacidad, por lo que se utilizan solamente en aplicaciones de tamaño reducido, normalmente de superficie plana o de tubería con aletas, como en los frigoríficos domésticos.

Condensadores refrigerados por aire en convección forzada.- En ellos, el aire circula accionado por uno o varios ventiladores que lo impulsan sobre la superficie del condensador, Fig II.19.

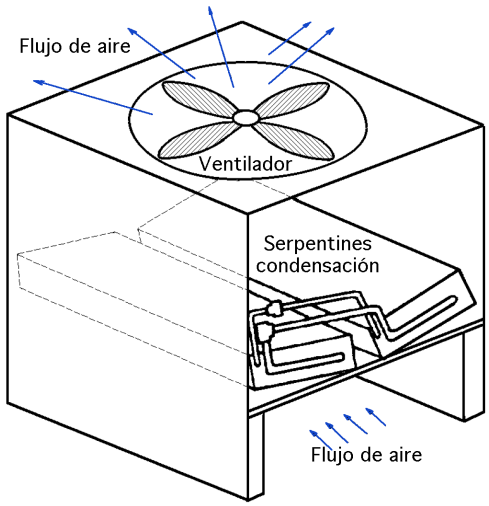


Fig II.19
Condensador enfriado por aire en convección forzada

Este tipo de refrigeración del condensador es apropiado para aquellos casos en que no se dispone de agua suficiente, o de calidad, para la refrigeración, garantizándose un buen aprovechamiento de la superficie intercambiadora; deben permanecer limpios por cuanto el polvo depositado puede actuar de aislante térmico, impidiendo o dificultando que el aire refrigeran-te entre en contacto con los tubos a refrigerar, reduciendo la eficiencia de la instalación.

Los condensadores de gran capacidad se montan distantes del compresor en lugares adecuados para una buena admisión de aire del exterior.

Los condensadores de aire de convección forzada por un ventilador se dividen en dos grupos según su localización:

a) Montados en un chasis sobre el que va también el compresor conformando la unidad condensadora)
b) Remotos

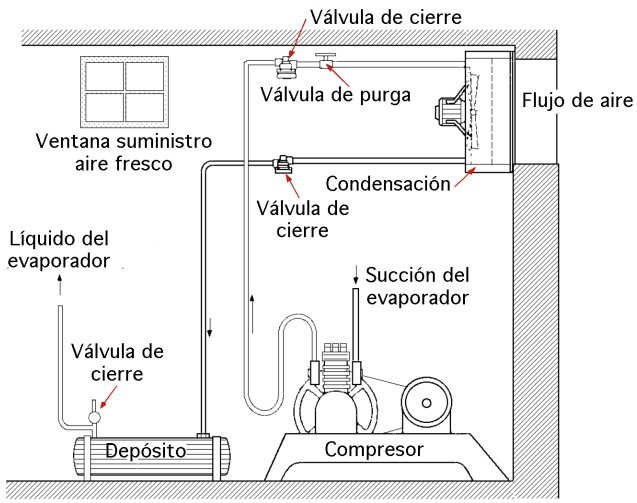


Fig II.20.- Instalación interior, con condensador refrigerado por aire

El tipo de instalación sobre chasis común al compresor se utiliza principalmente en aplicaciones de poca capacidad. Los condensadores enfriados por aire remotos pueden ir instalados en el exterior o dentro de un edificio, Fig II.20. En este último caso podría ser necesario construir un conducto que lleve el aire exterior hasta el condensador y otro que conduzca hasta el exterior del edificio el aire una vez calentado en el condensador.

Debido a la pérdida de carga del aire en los conductos, el condensador va dotado en este caso de un ventilador centrífugo.

II.7.- CONDENSADORES ENFRIADOS POR AGUA

Constan de uno o varios serpentines por los que circula el vapor de fluido frigorígeno, y que están sumergidos en agua, por lo que el intercambio térmico se realiza entre el fluido frigorígeno y el medio condensante, el agua, a través de la superficie de los tubos. Se recomiendan para instalaciones en locales de temperatura ambiental superior a los 30°C, y en aquellos lugares en los que existan grandes cantidades de polvo en los que no se puedan instalar condensadores refrigerados por aire. La carcasa de este tipo de condensadores se hace de chapa de acero, mientras que el serpentín es de cobre; como elementos auxiliares lleva una válvula de nivel, racores de entrada y salida de agua, tapón fusible y una válvula de seguridad.

Es frecuente que en la superficie de los tubos, en el lado del agua, se forme un depósito de sarro causado principalmente por sólidos minerales que se precipitan del agua. Dicha capa no sólo reduce la transmisión sino que además restringe el área de paso en el lado del agua reduciendo la cantidad de ésta que circula. La formación de sarro se ve afectada por la calidad del agua y su posible tratamiento, la temperatura de condensación y la frecuencia de limpieza de los tubos. El agua utilizada como medio condensante puede utilizarse una sola vez (agua perdida) o recircularse, previo enfriamiento, en una torre de refrigeración.

Los condensadores enfriados por agua se clasifican en tres tipos básicos de $\begin{cases} a)\ doble\ tubo \\ b)\ carcasa\ y\ serpentín \\ c)\ carcasa\ y\ tubo \end{cases}$

a) Condensador enfriado por agua de doble tubo.- Consiste en dos tubos concéntricos dispuestos de tal forma que por el de menor diámetro circula el agua de refrigeración, Fig II.21, mientras que por el espacio anular intermedio circula el vapor del fluido frigorígeno a condensar; se trata de un intercambiador de un solo tubo y carcasa, que actualmente está en desuso. Con esta disposición se obtiene además del enfriamiento debido al agua un cierto enfriamiento del refrigerante a través del tubo exterior. La limpieza de este tipo de condensadores se suele hacer por circulación de productos químicos apropiados dada la dificultad para hacerlo por medios mecánicos en la mayoría de los casos.

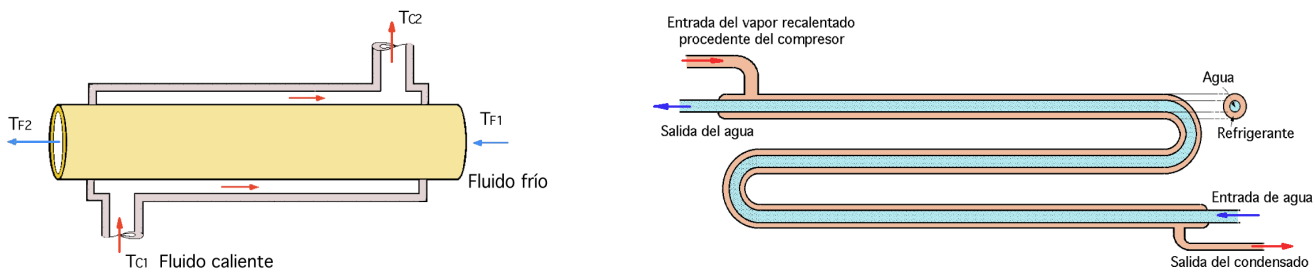


Fig II.21.- Condensador enfriado por agua de doble tubo

La superficie en el lado del fluido frigorígeno del tubo interior suele llevar aletas para aumentar la transmisión de calor en el caso de utilizar refrigerantes halogenados los cuales tienen coeficientes de película relativamente bajos.

b) Condensador de carcasa y serpentín.- Este condensador está constituido por uno o varios serpentines de tubo desnudo o aleteado por los que circula el agua y una carcasa de acero por la que circula el fluido frigorígeno. Se recomiendan para instalaciones en locales de temperatura ambiental superior a los 30°C, y en aquellos lugares en los que existan grandes cantidades de polvo en los que no se puedan instalar condensadores refrigerados por aire.

La carcasa de este tipo de condensadores se hace de chapa de acero, mientras que el serpentín es de cobre. Como elementos auxiliares llevan una válvula de nivel, racores de entrada y salida de agua, tapón fusible y una válvula de seguridad. Únicamente se utiliza este condensador para pequeñas capacidades y se limpia por circulación de productos químicos.

c) Condensador de carcasa y tubos.- Consiste en una carcasa cilíndrica de acero en cuyo interior están dispuestos haces de tubos rectos, paralelos, mandrinados y ajustados herméticamente a unas pletinas o discos, soldados a los extremos de la carcasa.

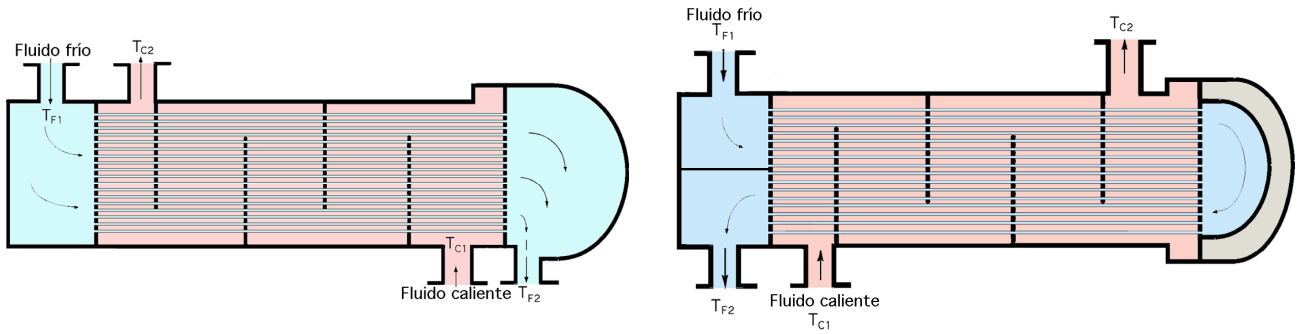


Fig II.22.- Intercambiadores de carcasa y tubos (1-1) y (1-2)

II.8.- CONDENSADORES EVAPORATIVOS

Emplean simultáneamente agua y aire como medios condensantes; se componen de un serpentín por el que circula el fluido frigorígeno, un ventilador con su motor, boquillas de pulverización, sistemas de distribución de agua, tanque, bomba de circulación del agua y carcasa, Fig II.23.

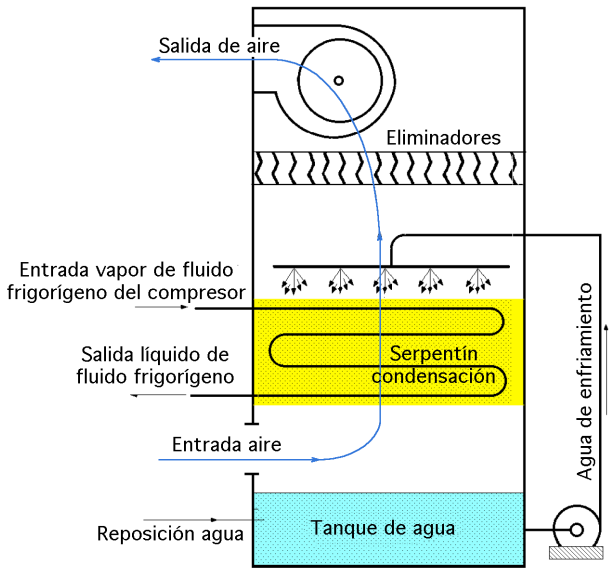


Fig II.23.- Condensador evaporativo

Condensadores de lluvia.- Los condensadores de lluvia, también conocidos como condensadores de aspersión, o condensadores evaporativos abiertos, consisten en una o varias filas de tubos por cuyo interior circula el fluido frigorígeno, sobre los que se hace discurrir el agua que es impulsada por la bomba de recirculación desde el tanque a las boquillas, donde se pulveriza sobre los tubos del serpen-

tín, evaporándose en contacto con el aire en circulación y cayendo la no evaporada al tanque.

El fluido frigorígeno cede calor para la evaporación del agua y en menor medida para el calentamiento del aire que circula por el condensador. Durante la condensación del vapor en los tubos se suministra el calor desprendido en la condensación a los mismos, y desde ellos pasa al agua que cae en forma de lluvia. El agua no se calienta, ya que una pequeña parte de la misma se está evaporando continuamente; el calor requerido para esta evaporación se toma del propio agua, que así se mantiene fría. El vapor de agua producido se elimina arrastrado por el aire que sopla sobre el condensador. El agua se recoge en una bandeja, desde la que se vuelve a hacer circular por medio de una bomba; para facilitar la limpieza del sarro el serpentín del refrigerante es, por lo común, de tubo desnudo.

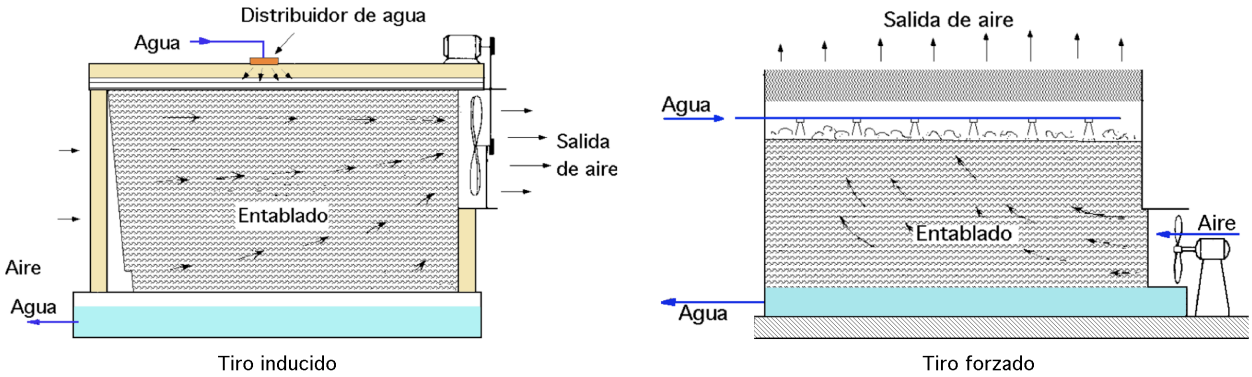


Fig II.24.- Torres de enfriamiento

Condensadores en evaporación forzada.- En los condensadores en evaporación forzada, de igual principio que los anteriores, se hace una circulación forzada de aire mediante ventiladores, que permiten una mejor evacuación del calor.

II.9.- EVAPORADORES

Los evaporadores son unos intercambiadores de calor en los que tiene lugar la evaporación del fluido frigorígeno sustrayendo calor del espacio que queremos que se enfríe. Están constituidos por un haz de tuberías en las que se evapora el fluido frigorígeno extrayendo calor de los alrededores, que es en esencia el fenómeno de producción de frío, o potencia frigorífica, que se desea conseguir.

El evaporador consiste en un recipiente metálico, (carcasa), al que llega el fluido frigorígeno procedente de la válvula de estrangulamiento, parcialmente vaporizado, produciéndose en el mismo la ebullición de la parte licuada, a baja presión, lo que origina la extracción de calor del medio que le rodea, es decir, de la cámara frigorífica. Al final del proceso de vaporización de las últimas gotas de líquido, se produce vapor saturado seco. La temperatura de este vapor puede aumentar, produciéndose un recalentamiento a expensas del calor extraído al medio exterior, e incluso del propio rozamiento del vapor a su paso por el evaporador.

Los evaporadores pueden ser de tipos variados, ya que la técnica del frío industrial abarca una muy amplia gama de aplicaciones, al tiempo que deben acomodarse a diferentes condiciones de trabajo que dependen, sobre todo de las temperaturas y del grado de humedad, (título), del vapor a la entrada del evaporador. En función de los diferentes requisitos de las distintas aplicaciones, los evaporadores se fabrican con una amplia variedad de criterios, tipos, formas, tamaños y materiales, pudiéndose clasificar en la siguiente forma, según: $\begin{cases} \text{- } \textit{El tipo de funcionamiento} \\ \text{- } \textit{El tipo de construcción} \\ \text{- } \textit{La fase a enfriar} \end{cases}$

Clasificación de los evaporadores según el tipo de funcionamiento: $\begin{cases} \textit{a) De expansión seca} \\ \textit{b) Inundados} \end{cases}$

a) Evaporadores de expansión seca.- En los evaporadores de expansión seca, la alimentación del fluido frigorígeno se realiza mediante un dispositivo de expansión de forma que el líquido se evapora totalmente a lo largo del evaporador del cual sale, generalmente, con un ligero sobrecalentamiento; el líquido frigorígeno está en la proporción estrictamente necesaria, para formar un vapor saturado seco, que va a proporcionar un buen funcionamiento en el compresor.

En los evaporadores de expansión seca, la válvula de laminación controla el ritmo de admisión del fluido frigorígeno en el evaporador de tal forma que todo el líquido se evapora a lo largo de la longitud del evaporador, del cual puede salir en forma de vapor saturado seco, o como ocurre generalmente, en forma de vapor recalentado, Fig II.25.

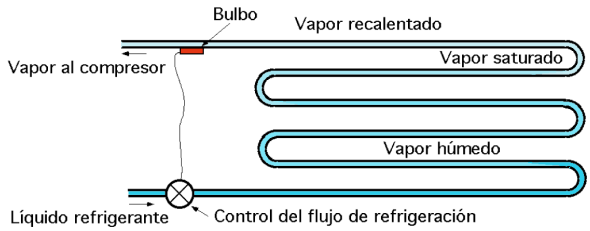


Fig II.25.- Evaporador de expansión seca

En el evaporador de expansión seca la cantidad de fluido frigorígeno líquido varía con la carga térmica; cuando la carga es pequeña, la cantidad de líquido en el evaporador será pequeña; al aumentar la carga, el líquido en el evaporador aumentará para ser capaz de absorber con su evaporación la mayor carga térmica. En el evaporador de expansión seca la eficiencia de transmisión de calor es máxima cuando la carga sea mayor al corresponder esta situación a una mayor superficie interna mojada por el fluido frigorígeno líquido.

La ventaja fundamental de los evaporadores de expansión seca es la mayor facilidad de arrastre del aceite que llega hasta él. Sin embargo necesitan mayores superficies de intercambio y la pérdida de carga al circular por ellos mayor cantidad de fluido frigorígeno es más importante que en los inundados. Con este tipo de evaporadores, en el caso de utilizar refrigerantes no miscibles con el aceite, ó no miscibles en las condiciones del evaporador, deben utilizarse separadores y otros acceso-

rios que aseguren el retorno de aceite al compresor.

b) Evaporadores inundados.- En los evaporadores inundados, su interior se encuentra siempre completamente lleno de fluido frigorígeno líquido, regulándose la alimentación del mismo mediante una válvula de flotador, que mantiene constante el nivel de líquido en el evaporador; son una variante del modelo anterior, pero con una expansión del líquido frigorígeno más rápida y uniforme, mediante tubos unidos en derivación a unos colectores de distribución.

Los evaporadores inundados están constituidos por una serie de tubos conectados por un extremo a otro tubo de diámetro mayor, por el que entra el líquido frigorígeno, y por el otro extremo se unen a otro tubo, también de diámetro mayor que el anterior, a través del cual se efectúa de forma homogénea la aspiración del fluido frigorígeno vaporizado, por el compresor. Para que la distribución de líquido frigorígeno sea uniforme, es necesario que los evaporadores de este tipo se instalen bien nivelados; se suele dotar a los tubos de aletas de refrigeración para mejorar las condiciones de funcionamiento.

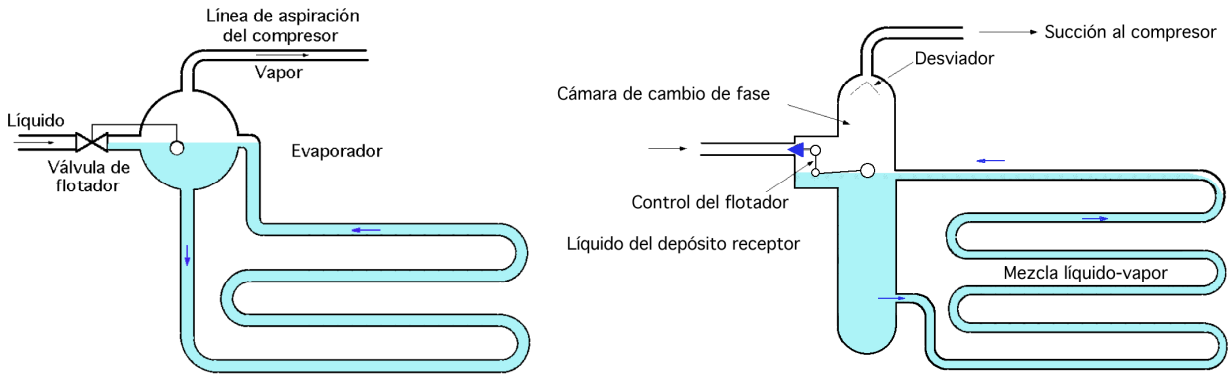


Fig II.26.- Evaporadores inundados

Como se aprecia en la Fig II.26, el fluido frigorígeno líquido llena completamente el eva-porador inundado asegurando la válvula de laminación de flotador el nivel del líquido suficiente para ello.

El fluido frigorígeno líquido que llena el evaporador, como consecuencia del calentamiento procedente del exterior, se evapora y el vapor en forma de burbujas asciende por los tubos hasta el depósito alimentador. El objeto de este depósito es separar el líquido del vapor devolviendo el líquido al evaporador y enviando el vapor saturado seco al compresor; además, el depósito alimentador separa también el vapor que se produce en la válvula de laminación de tal forma que este vapor no circula por el evaporador dirigiéndose directamente al compresor.

Las principales *ventajas* de los evaporadores inundados son:

- *Ritmo elevado de transmisión de calor*
- *Circulación de menor caudal de fluido frigorígeno por el evaporador*
- *Aspiración por el compresor de vapor saturado*

En efecto la superficie interna del evaporador siempre está en contacto con el fluido frigorígeno líquido lo cual produce una mejora en la transmisión de calor. Además al no circular por el evaporador el vapor producido en la laminación, el caudal de fluido frigorígeno que circula es más pequeño reduciéndose las pérdidas por rozamiento. Por otra parte con este tipo de evaporador queda asegurado que el compresor aspira siempre vapor saturado.

Las *desventajas* fundamentales son: { *- Carga de fluido frigorígeno elevada en el circuito*; *- Dificultades de retorno de aceite al compresor*; *- Elemento de alimentación voluminoso*

Al estar todo el evaporador lleno de líquido y ser necesario un depósito alimentador lleno, también de líquido, la cantidad de fluido frigorígeno necesaria en el circuito aumenta. Debido a la constitución del evaporador inundado el aceite de lubricación que a él llega tendrá gran dificultad en salir debido a la baja velocidad del fluido frigorígeno aún en el caso de tratarse de refrigerantes miscibles con el aceite. Cuando ésto sucede, el aceite forma una película dentro del evaporador que reduce la capacidad de transmisión del calor y puede dar lugar a una disminución de la cantidad de aceite en el cárter del compresor por debajo de la necesaria para su correcta lubricación. Para evitar dichos problemas se suele instalar un separador de aceite en la línea de descarga entre el compresor y el condensador.

Clasificación de los evaporadores según el tipo de construcción, de { *a) tubo liso*; *b) placa*; *c) aletas*

a) Evaporadores de tubo liso.- Los evaporadores de tubo liso están constituidos por un tubo, al que se da la forma que resulte más práctica, (zigzag abierto o cerrado, forma oblonga, etc.), y van colocados indistintamente tanto en el techo como en las paredes, Fig II.27; se utilizan en aquellas aplicaciones donde sea fundamental la limpieza, el fácil desescarche y el enfriamiento de líquidos por debajo de 1ºC ya que en estos casos no queda afectada la capacidad del evaporador por la formación de escarcha sobre su superficie.

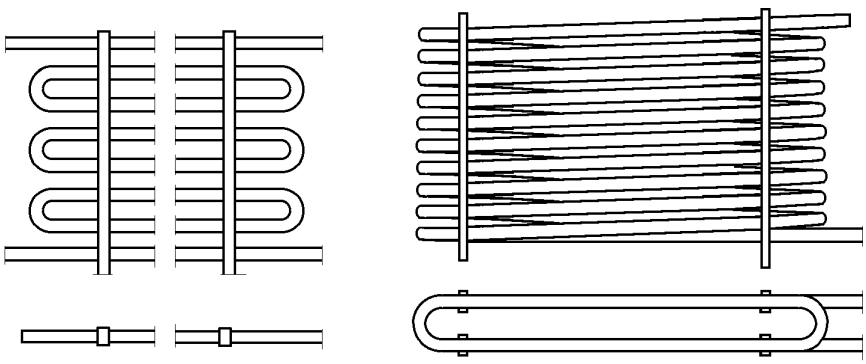


Fig II.27.- Evaporadores de tubo desnudo

Los materiales más empleados para la fabricación de los evaporadores de tubo liso o desnudo son el acero y el cobre; el tubo de acero se utiliza en el caso de evaporadores grandes por motivos eco-

nómicos y para evaporadores que se utilizan con amoniaco como fluido frigorígeno. Los de tubería de cobre se utilizan en evaporadores pequeños y nunca con amoníaco por atacar este fluido frigorígeno al cobre en presencia de humedad.

b) Evaporadores de placas.- Son de dos tipos: $\begin{cases} placas\ estampadas \\ tubo\ entre\ chapas \end{cases}$

El ***evaporador de tubos circulares entre placas estampadas,*** está formado por una tubería plana, normalmente en zigzag, embutida entre dos chapas metálicas soldadas entre sí en los extremos. Si el espacio entre la tubería y las chapas se llena de una solución eutéctica permite una capacidad de reserva. Este tipo de evaporador, con solución eutéctica, se utiliza en aplicaciones de carga momentáneamente grandes, puesto que la reserva de capacidad almacenada en la solución permite la utilización de un equipo de menor capacidad con un ahorro de inversión y de costo operativo.

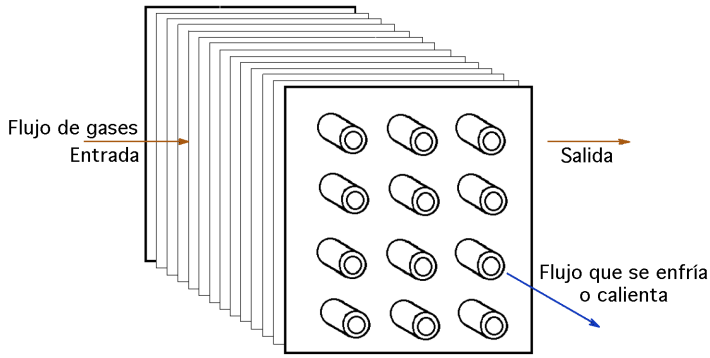


Fig II.28- Evaporador de tubos circulares entre placas

Los ***evaporadores de placa de chapas*** son una variante del tipo de placa de tubo, y consisten en dos placas metálicas acanaladas, unidas mediante soldadura, a las que se da la forma más conveniente para que por las mismas circule el fluido frigorígeno, conformando así una estructura interior de tubos en los que se produce la vaporización del líquido frigorígeno.

Este sistema es muy utilizado en frigoríficos domésticos, conformando el congelador; también se usa el formado por placas de mayor tamaño en armarios conservadores o en expositores industriales, formando el propio armario de almacenamiento.

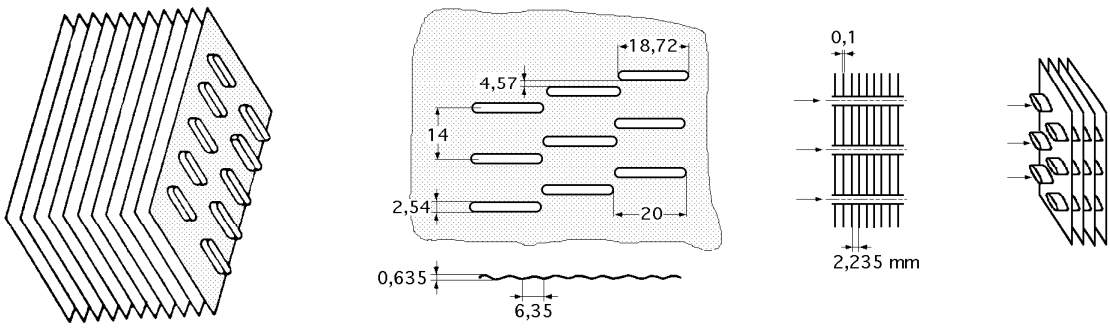


Fig II.29.- Tubos aplanados con aletas de placa

c) Evaporadores de sistema seco de tubos y aletas.- Los evaporadores de sistema seco de tubos y aletas, son sistemas generalmente utilizados en el enfriamiento de armarios, cámaras y muebles. Los tubos son de cobre y se les da forma de horquilla o zigzag, acoplándoles unas aletas, generalmente de aluminio, de formas y tamaños muy variados, que proporcionen una buena con-

ductividad térmica entre ellos y que dependerán de las condiciones en que vayan a trabajar; las aletas deberán tener una separación adecuada que facilite la circulación del aire entre las mismas e impida la formación de escarcha, que actuaría como un aislante térmico.

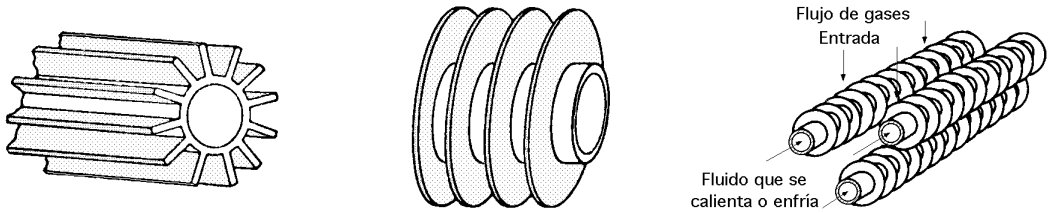


Fig II.30.- Tubos circulares con aletas longitudinales y transversales

Los *evaporadores de aletas,* se emplean en aquellos casos en que se dispone de poco espacio. En ese caso la adición de aletas al tubo desnudo aumenta la superficie efectiva total del evaporador lo que da lugar a un aumento del calor transmitido por unidad de longitud del tubo. Las aletas en el exterior de los tubos aumenta el intercambio térmico en evaporadores de enfriamiento de gases por lo que los evaporadores con aletas son frecuentes en enfriamiento de aire.

En el caso de enfriamiento de líquido no es conveniente la utilización de evaporadores con aletas exteriores. Únicamente en casos en que la velocidad del líquido sea muy grande, en el exterior del evaporador es conveniente la utilización de aletas en el interior de los tubos que conducen el fluido frigorígeno, fundamentalmente en el caso de operar con refrigerantes halogenados de bajo coeficiente de película.

Los evaporadores de aletas son muy sensibles a la suciedad que se acumula en forma de polvo y pelusa del aire adhiriéndose a las superficies externas húmedas lo cual produce una rápida disminución de la velocidad de transmisión de calor.

Los evaporadores de aire en convección forzada, son muy utilizados, y presentan grandes ventajas debido a su reducido tamaño, forma compacta, fácil instalación, temperatura uniforme y una regulación del grado de humedad relativa, que se consigue mediante la inclinación de las palas del ventilador, colocación de persianas regulables a la salida del aire, o variando la velocidad del motor que acciona el compresor.

Clasificación de los evaporadores según la fase, para enfriamiento de $\begin{cases} a)\ sólidos \\ b)\ gases \\ c)\ líquidos \end{cases}$

a) Evaporadores para enfriamiento de sólidos.- En el enfriamiento de sólidos únicamente se emplean evaporadores de placas que toman el calor de la materia a enfriar por conducción. La razón de emplear este tipo de evaporadores es que se prestan bien a modelar su forma, en concordancia con la de la superficie exterior del objeto a enfriar, aumentando al máximo el contacto entre ambos y evitando en lo posible la formación de zonas de superficies separadas que disminuyen el intercambio térmico entre el material a enfriar y el fluido frigorígeno.

b) Evaporadores para enfriamiento de gases.- La aplicación más importante de los evaporadores de este tipo es el enfriamiento del aire en cámaras frigoríficas y en climatización; existen dos tipos fundamentales, de convección $\begin{cases} \text{- } natural \\ \text{- } forzada \end{cases}$

- ***Evaporadores de convección natural.-*** Se utilizan en refrigeradores domésticos, vitrinas de exposición de productos refrigerados, cuartos de almacenamientos grandes, y en general en aquellas aplicaciones en que se desean bajas velocidades del aire y una deshidratación mínima del producto.

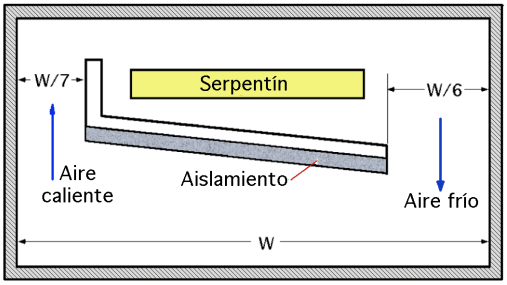


Fig II.31.- Evaporador de convección natural

La circulación de aire en el caso de estos evaporadores se ve muy influenciada por la forma tamaño y localización del evaporador. En evaporadores pequeños se usan frecuentemente deflectores para asegurar una buena circulación del aire.

En la Fig II.31 se muestra una disposición típica de deflectores en un evaporador de convección natural. El aislamiento se coloca para evitar condensaciones que goteen sobre el producto almacenado.

- ***Evaporadores de convección forzada.-*** Están formados por tubos aleteados, dentro de una cámara metálica y con uno o varios ventiladores para conseguir una circulación forzada del aire, Fig II.32. La formación de escarcha reduce la capacidad de un evaporador de convección forzada por lo cual, cuando el aire se enfríe por debajo de 1ºC se debe emplear un sistema de desescarche automático.

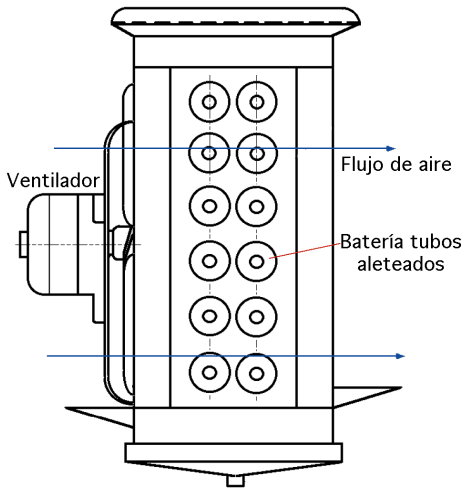


Fig II.32.- Evaporador de convección forzada

c) Evaporadores para enfriamiento de líquidos.- Existen una serie de evaporadores para enfriamiento de líquidos, como $\begin{cases} \text{- } de\ doble\ tubo \\ \text{- } Baudelot \\ \text{- } de\ tanque \\ \text{- } de\ carcasa\ y\ serpentín \\ \text{- } de\ carcasa\ y\ tubos \\ \text{- } de\ atomizador \end{cases}$

- ***Evaporador de doble tubo.-*** Consiste en dos tubos concéntricos; el fluido frigorígeno circula por el espacio entre los dos tubos, y el líquido a enfriar por el tubo interior en contra corriente. Este tipo de evaporador, que puede ser inundado o de expansión seca, permite una transferencia de calor elevada y se utiliza en las industrias vinícola y cervecera, en unidades enfriadoras de agua compactas comerciales de pequeña capacidad, etc.

- ***Enfriador Baudelot.-*** Puede funcionar inundado o en expansión seca; consiste en una serie de

tubos horizontales colocados uno debajo de otro, por cuyo interior circula el fluido frigorígeno y por el exterior circula, por gravedad, el líquido a enfriar formando una delgada película, cayendo desde la superficie del tubo superior hasta el inferior donde se recoge en un canal colector. Este tipo de enfriador es ideal para las aplicaciones en que la aireación del líquido a enfriar sea un factor importante, y tiene la ventaja de obtener temperaturas próximas al punto de congelación, sin peligro de dañar el evaporador en el caso de una congelación imprevista. Se utiliza para el enfriamiento de leche, vino, caldo de cerveza, y agua carbónica en plantas embotelladoras.

- ***Enfriador de tanque.-*** El enfriador de tanque consiste en un serpentín de fluido frigorígeno de tubo desnudo, instalado dentro de un gran tanque que contiene el líquido a enfriar. En la Fig II.33 se observa que el serpentín está separado por un medio deflector de la masa principal del líquido, circulando éste a través del serpentín movido por un agitador motorizado.

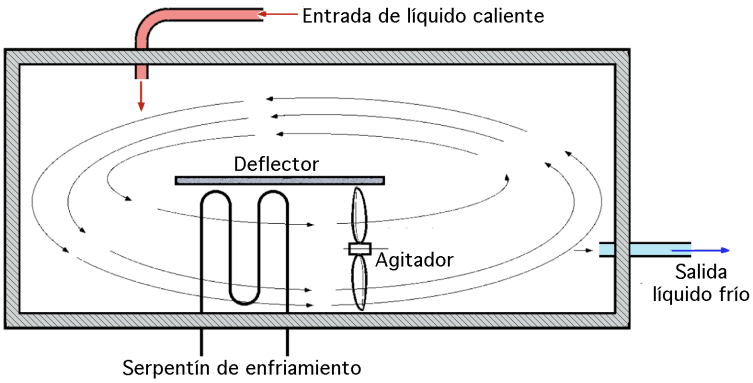


Fig II.33.- Enfriador de tanque

Este enfriador se utiliza en aquellos casos en que la sanidad no sea un factor importante, en las aplicaciones de grandes y frecuentes fluctuaciones de la carga, dada su gran inercia, y en las aplicaciones en que el líquido entra en el enfriador a temperaturas relativamente altas. Se emplea mucho para enfriamiento de agua, salmuera y otras líquidos refrigerantes secundarios.

- ***Enfriador de carcasa y serpentín.-*** Está formado por uno o más serpentines encerrados en una carcasa de acero, pudiendo funcionar de dos formas:

a) *El fluido frigorígeno pasa en expansión seca por el serpentín y el líquido a enfriar circula por la carcasa, teniendo este sistema la ventaja de su inercia térmica*

b) Se utiliza con el fluido frigorígeno en la carcasa, en régimen inundado, Fig II.34, y el líquido a enfriar en el serpentín; a este tipo se le denomina enfriador instantáneo de líquidos; no se puede utilizar en aplicaciones donde se requieran enfriamientos por debajo de los 3,5°C, ante el peligro de grave deterioro en el caso de congelación.

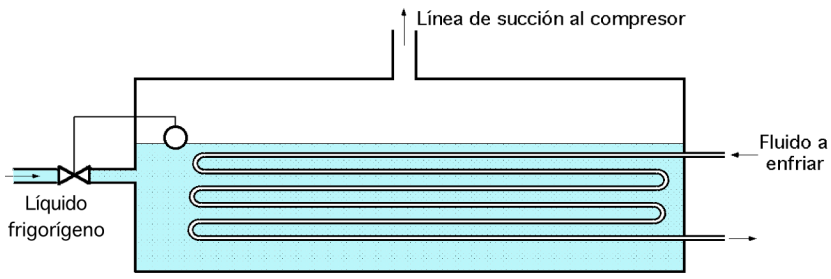


Fig II.34.- Evaporador de carcasa y serpentín

- ***Evaporador para enfriamiento de líquidos de carcasa y tubos***.- Es el tipo que más se utiliza, Fig II.35, por
- *Tener una eficiencia alta*
- *Requerir poco espacio*
- *Su facilidad de mantenimiento*
- *Su adaptabilidad a casi todas las aplicaciones de enfriamiento de líquidos*

Consiste en una carcasa cilíndrica de acero en cuyo interior se disponen tubos rectos horizontales paralelos sujetos en su lugar en los extremos por placas perforadas.

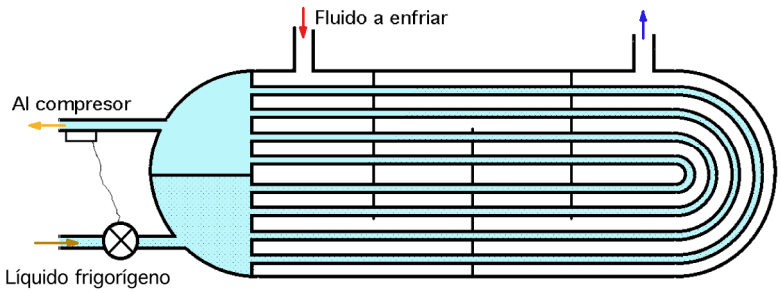


Fig II.35.- Evaporador de carcasa y tubos, para el enfriamiento de líquidos

- ***Evaporador atomizador.-*** Tiene una construcción similar al de carcasa y tubos, con la diferencia de existir sobre los tubos superiores unas boquillas de atomización que lanzan refrigerante líquido sobre los tubos, por cuyo interior circula el fluido frigorígeno a enfriar, del cual la fracción no evaporada se recoge en la parte inferior del enfriador, desde donde es bombeada de nuevo a las boquillas.

Las ventajas de este tipo de enfriador son:
- *su elevada eficacia*
- *la baja carga de fluido frigorígeno necesaria*

Sus desventajas son:
- *la necesidad de una bomba de recirculación de líquido frigorígeno*
- *su alto costo*

II.10.- ACUMULACIÓN DE ESCARCHA EN EL EVAPORADOR

La acumulación de escarcha es un fenómeno que aparece ligado íntimamente a la obtención de bajas temperaturas, convirtiéndose en hielo en los tubos y aletas del evaporador; esta escarcha es el resultado lógico de la condensación y posterior congelación del vapor de agua contenido en el aire de la cámara, que acumulándose sobre tubos y aletas forma una capa de hielo que actúa como un auténtico aislante, impidiendo el normal intercambio de calor entre el sistema a enfriar, el evaporador y el fluido frigorígeno, y representa una considerable pérdida de rendimiento, tanto en el evaporador, como en la unidad condensadora.

Puesto que la formación de escarcha es un fenómeno normal que no se puede alterar, conviene conocer medios que se pueden aplicar a fin de controlar su formación y, una vez controlada, poderla eliminar según un criterio razonable, de acuerdo con las exigencias de la instalación.

La formación y acumulación de hielo sobre el evaporador es una circunstancia originada por la ausencia de calor, por lo que, únicamente aplicando calor sobre este hielo o escarcha, se podrá lograr

su control y eliminación, sin olvidar que este calor no debe tener ningún efecto inmediato, ni secundario, sobre la temperatura de la cámara, ni sobre los productos en ella almacenados.

SISTEMAS DE DESESCARCHE.- Los procedimientos más usuales para desescarche de los evaporadores, son por: $\begin{cases} a)\ Pulverización\ o\ lluvia\ de\ agua \\ b)\ Circulación\ de\ los\ gases\ calientes\ de\ la\ descarga\ del\ compresor \\ c)\ Resistencias\ eléctricas \end{cases}$

a) Desescarche por pulverización o lluvia de agua.- Es este el sistema más sencillo; se proyecta una lluvia de agua a presión sobre las capas de hielo acumuladas en el evaporador, que funden el hielo y limpian el evaporador, preparándole para un correcto funcionamiento.

Hay que estudiar el sistema de forma que la totalidad del agua que se proyecta sobre el evaporador, por medio de duchas o pulverizadores, se pueda recibir en una bandeja de desagüe, y que el tubo de drenaje sea capaz de absorber este caudal, ya que en caso contrario, rebosaría de agua, y al caer en la cámara, congelaría, con el peligro, además, de deteriorar algún producto en ella contenido, por lo que se hace necesario controlar el funcionamiento del ventilador para asegurar que funcionará desde unos minutos antes de la inyección del agua, hasta unos minutos después de interrumpirse ésta, a fin de evitar que se proyecte agua fuera del evaporador.

El proceso es el siguiente:

- Al comienzo del ciclo de desescarche se cierra la válvula solenoide del líquido frigorígeno y se para el ventilador; el compresor sigue funcionando para hacer el vacío en la instalación. Al llegar a la presión ajustada (grado de vacío determinado) se produce la parada del compresor por el presostato de baja

- Transcurrido el tiempo ajustado para la operación anterior, se puede poner en marcha el sistema de pulverización de agua, operación que debe concluir cuando se suponga al evaporador libre de hielo, por lo que es posible controlar el fin del desescarche por medio de un termostato.

- En este momento se deberá interrumpir el suministro de agua, dejando parada totalmente la ins-talación unos minutos a fin de que se produzca el llamado ciclo de drenaje, según el cual se produce el desagüe del agua retenida entre el evaporador y la bandeja.

- A continuación se conecta el ventilador y la válvula de laminación, quedando la instalación en servicio normal de funcionamiento.

- Es muy importante asegurarse de que no ha quedado agua en los tubos de pulverización y de drenaje; para ello existen las válvulas de tres pasos, o de drenaje, que aseguran la purga de los tubos una vez concluido el ciclo de desescarche, evitándose así una congelación del agua en su interior que, además de provocar obstrucciones en el circuito, podría originar el reventón de la tubería.

Para facilitar la automatización de los sistemas se utilizan válvulas solenoide, que cumplen perfectamente las funciones de alimentación y drenaje de las tuberías; el sistema de duchas tiene que diseñarse de forma que no pueda haber retención alguna de agua en ellas, en plano inclinado, para facilitar el drenaje una vez ha

terminado el ciclo de desescarche, siendo las soluciones más utilizadas las de uno o dos planos inclinados.

En algunas instalaciones cuyos compresores funcionan con condensadores de agua, el agua de condensación se acumula en un depósito para su posterior reutilización en el desescarche, obteniéndose un ahorro de agua y un ciclo de descongelación más corto al utilizar agua a temperatura más elevada.

b) Descongelación por los gases calientes de la descarga del compresor.- Este procedimiento requiere un profundo conocimiento de las técnicas de refrigeración; parece lógico, a simple vista, aprovechar los gases calientes de la descarga del compresor para provocar la descongelación; sin embargo, este sistema da origen a la necesidad de controlar el fluido frigorígeno en estado líquido durante el proceso de desescarche.

Existen tres procedimientos basados en el principio de la descongelación:

- *Aporte de gas caliente* $\begin{cases} al\ evaporador \\ con\ el\ auxilio\ de\ un\ reevaporador \end{cases}$

- *Inversión del ciclo, o bomba de calor*

- ***Aporte de gas caliente al evaporador.-*** El sistema de aporte de gas caliente al evaporador es el más sencillo y consiste en establecer una vía de comunicación entre la descarga del compresor y la entrada del evaporador, después de la válvula de estrangulamiento; ésto se puede automatizar con ayuda de una válvula solenoide intercalada en la línea de gas caliente. El sistema presenta el inconveniente de que al entrar los gases calientes provenientes del compresor en el evaporador, desalojan violentamente los restos de líquido frigorígeno que necesariamente quedan en el evaporador, lo cual puede representar un grave riesgo para el compresor.

También se puede dar el caso de que los gases calientes al llegar al evaporador, condensen, aumentando la cantidad de líquido que podría retornar al compresor, hecho que se puede ver incrementado por cuanto es muy frecuente que antes de haber terminado la descongelación, los gases procedentes de la descarga no estén lo suficientemente calientes como para continuar el proceso de desescarche.

- ***Aporte de gas caliente con el auxilio de un reevaporador.***- Los inconvenientes anteriores han motivado el poner evaporadores adicionales o reevaporadores, que actúan durante los ciclos de desescarche, asegurando la total vaporización del fluido frigorígeno antes de su llegada al compresor. Estos reevaporadores reciben el líquido acumulado en el evaporador principal, que es empujado por los gases calientes, y por el porcentaje de ellos que condense, a través de una válvula de expansión fija, produciéndose una segunda vaporización, o reevaporación, de forma que el compresor sólo aspirará vapor de fluido frigorígeno que, al comprimirle, aportará calor y, de esta forma, se podrá mantener un ritmo constante de desescarche.

Una variante de este sistema consiste en mantener un *banco de calor*, que no es más que un

tanque en el que una masa de agua se calienta mediante una derivación de los gases calientes procedentes del escape del compresor. Una parte de la tubería de aspiración queda sumergida en el agua, que sólo actúa como tal durante el ciclo de desescarche; si por esa línea de aspiración retorna líquido frigorígeno, se calienta bruscamente y vaporiza, evitándose así su entrada en estado líquido en el compresor; cuando concluye el ciclo, se restablece rápidamente la temperatura del tanque de agua, merced al calor aportado por el tubo de descarga.

- ***Inversión del ciclo.-*** Para producir el desescarche, existe también la posibilidad de utilizar el principio de funcionamiento de la *bomba de calor*, que consiste en invertir el ciclo operativo, convirtiendo el evaporador en condensador, y viceversa. Este procedimiento tampoco está exento de los problemas de control del fluido frigorígeno en fase líquida, ya que al invertir el ciclo, hay que tener presente que todo el fluido frigorígeno sin vaporizar que hay en el evaporador se dirige al condensador, que junto con lo que en éste se encuentra, se lleva al compresor, con los peligros que anteriormente hemos matizado de golpe de líquido.

Una solución que minora en parte estos efectos, y que hay que provocar antes de realizar la inversión del ciclo, consiste en efectuar en el evaporador un proceso de vacío previo, reduciéndose así la cantidad de líquido en circulación al mínimo, siendo más sencillo su control. En esta operación hay que tener en cuenta que:

- Al iniciarse el proceso de descongelación hay que parar los ventiladores del evaporador y cerrar la válvula de expansión isentálpica.

- Comienza entonces el proceso de vacío y, antes de concluir el mismo, es conveniente efectuar el cambio de inversión del ciclo de la máquina frigorífica. Hay que tener en cuenta que las válvulas de inversión del ciclo aprovechan la presión de alta para actuar a modo de servo, y efectuar el cambio de posición, siendo absolutamente necesario que exista una determinada diferencia de presiones entre la máxima y la mínima para un mejor funcionamiento; es por ésto por lo que se recomienda efectuar la inversión antes de concluir el vacío, pues si llegara a pararse el compresor, desaparecería rápidamente la presión de descarga y daría lugar a fallos en el funcionamiento de la válvula de inversión.

- El ciclo debe durar el tiempo justo hasta el deshielo del evaporador, para evitar recalentamientos excesivos en el serpentín.

- Se puede efectuar de nuevo la inversión del ciclo para que el sistema quede en condiciones de funcionamiento de ciclo normal; si en este momento se observa se produce un golpe de líquido se aconseja instalar un separador de líquido en la tubería de aspiración, entre el compresor y el evaporador.

c) Desescarche por resistencias eléctricas.- Este sistema es fácil de instalar y relativamente sencillo de regular y controlar, por lo que puede decirse que es el más generalizado. Se acopla un juego de resistencias eléctricas al evaporador, en contacto íntimo con las aletas, que se encargará, llegado el momento, de calentar el evaporador hasta licuar totalmente el hielo.

Este sistema presenta algunos inconvenientes, como:

- Puede existir un calentamiento del fluido frigorígeno, en fase líquida, en el evaporador

- Una vez terminado el deshielo pueden permanecer las resistencias conectadas, con el peligro de que se estropeen al aumentar su temperatura en forma excesiva y anormal

Una solución puede ser la siguiente:

- Para el primer caso hay que efectuar un proceso de vacío previo o simultáneo a la descongelación

- Para el segundo hay que instalar un control, termostático o presostático, que facilite la regulación del final del proceso de descongelación, eliminando la posibilidad de fusión de las resistencias eléctricas

El sistema de descongelación por resistencias eléctricas se puede automatizar de diversas maneras, con ligeras variantes entre sí, dando todas ellas excelentes resultados:

a) Mediante la acción de un temporizador se controla el funcionamiento de la válvula solenoide, de los ventiladores y del juego de resistencias

Cuando el temporizador produzca un ciclo de desescarche, se deben parar los ventiladores y la válvula solenoide cierra el circuito, entrando a continuación la instalación en un proceso de vacío por la acción del compresor. Con un determinado retraso, o bien simultáneamente, pueden entrar en servicio las resistencias, de forma que el compresor esté gobernado por el presostato de baja, hasta que por vacío se provoque el paro del compresor

Si debido al aumento de la temperatura del evaporador aumenta la presión en la instalación, se pondrá en servicio momentáneamente el compresor, que aspirará el fluido frigorígeno que haya evaporado durante el calentamiento; este proceso se deberá repetir varias veces

b) Una variante del sistema anterior consiste en disponer de un mecanismo de retraso para el ventilador mediante el cual se para la válvula solenoide y el ventilador del evaporador

Si la presión desciende rápidamente, el compresor gobernado por el presostato de baja deberá parar. Por una nueva maniobra del temporizador, se desconecta el circuito del compresor y se activa el circuito de las resistencias, las cuales van a fundir el hielo durante su actuación. Alcanzada la temperatura en el evaporador, se tiene la certeza de que ya no hay escarcha sobre el evaporador, por lo que es muy importante que las resistencias eléctricas queden fuera de servicio

Según el control utilizado puede proseguir el ciclo con un periodo de paro total, para facilitar el drenaje del agua del deshielo, entrando a continuación en servicio la válvula solenoide y el ventilador, para concluir con la puesta en marcha del compresor, y quedar la instalación en régimen de funcionamiento normal, o también se puede interrumpir la actuación de las resistencias poniendo en servicio la válvula solenoide para que una vez alcanzada la presión de trabajo, se conecten el compresor y el ventilador del evaporador.

c) Colocación de un automatismo con la colaboración de un temporizador y un termostato especial de doble contacto

Un procedimiento de resultados similares, pero con técnicas ligeramente distintas; consiste en efectuar el

automatismo con la colaboración de un temporizador y un termostato especial de doble contacto, de forma que pueda controlarse la variación de temperatura del evaporador durante el período de desescarche y permita retrasar la puesta en marcha del ventilador; en este caso la operación se hace como se indica a continuación:

a) El temporizador controla el funcionamiento del compresor y de las resistencias eléctricas, y el termostato controla el ventilador con uno de sus contactos conectado con el temporizador. Estando la instalación en servicio normal, con el compresor en marcha, la temperatura del evaporador estará lo suficientemente baja como para que el termostato mantenga sus contactos en la posición de trabajo del ventilador.

b) Llegado el momento previsto para el desescarche, se invierten los contactos del temporizador parando primero el compresor y el ventilador y al mismo tiempo, al conectarse las resistencias empieza a aumentar la temperatura del evaporador, fundiéndose la escarcha. Cuando se alcance la temperatura deseada, en la que ya no existe hielo sobre el evaporador, deberá producirse el cambio de contactos del termostato, y de esta forma se energizará un sector del temporizador, que provoca la puesta en marcha del compresor y el paro del sistema de calor, pero no pone en servicio el ventilador. Los instantes siguientes sirven para que se restablezca rápidamente la temperatura de servicio del evaporador

En este momento se conecta nuevamente el termostato para poner en servicio el ventilador, evitando así que éste envíe a la cámara aire caliente y saturado de humedad, procedente del evaporador calentado por el ciclo de desescarche. Además, de quedar algo de líquido frigorígeno en el evaporador debido a que no funcionen los ventiladores, aquel se enfría rápidamente y se utilizará para enfriar el evaporador de forma que pueda considerarse que no retorna prácticamente líquido al compresor

Control de fin de desescarche.- Hay que tener en cuenta que la acumulación de escarcha sobre el evaporador depende de la cantidad de vapor de agua que tengan los productos almacenados, del porcentaje de humedad relativa del aire que pueda penetrar en la cámara por apertura de puertas, o por las fugas o fallos del aislamiento de la cámara, lo que permite asegurar que la acumulación de escarcha sobre el evaporador es bastante irregular, lo que obliga a disponer de tiempos de descongelación distintos para cada ciclo, objetivo que no es fácil de conseguir si sólo se controla la instalación con un temporizador.

Sabiendo que la fusión del hielo se produce a 0°C cuando el evaporador está a +5°C, se puede tener la seguridad de que está totalmente desescarchado. Por consiguiente, si se puede controlar la temperatura del evaporador de modo que un termostato interrumpa el ciclo de desescarche a esta temperatura, se habrá conseguido ajustar de modo fiable la duración del ciclo de calor a su tiempo justo, protegiendo de un modo sistemático toda la instalación

En consecuencia, no es suficiente el control proporcionado por el temporizador, sino que hay que complementarlo con un dispositivo de control de fin de desescarche. El temporizador tiene la misión de iniciar los períodos de desescarche y repartirlos de modo regular y automático según las necesidades de la regulación. La duración del ciclo de desescarche depende de la cantidad de hielo acumulado en el evaporador, que es un valor totalmente irregular, y cuya fusión se consigue por aporte de

calor. Una vez fundido totalmente el hielo, esta aportación de calor es totalmente innecesaria y ocasiona un aumento de temperatura en el evaporador y, posiblemente, en la cámara. Si esta aportación de calor se efectuara por lluvia de agua, no tiene gran importancia la duración del ciclo de desescarche, puesto que en el mejor de los casos, el agua estará a una temperatura del orden de 30ºC a 35°C, valor máximo que podría alcanzar en el evaporador.

Si el sistema elegido es el de utilizar los gases calientes, o bien, el de invertir el ciclo como bomba de calor, la temperatura máxima que alcanzará el evaporador, en el caso de un proceso excesivamente prolongado una vez terminado el deshielo, puede ser de unos 50°C; en estas circunstancias ya no es necesario el control de fin de desescarche. Pero si el procedimiento elegido es el de desescarche eléctrico, las resistencias eléctricas una vez fundido el hielo, que trabajan prácticamente en seco, pueden alcanzar fácilmente en un corto espacio de tiempo temperaturas superiores a los 100°C.

A título de ejemplo, una resistencia blindada bajo un tubo de acero inoxidable de 2 W por cm^2 de resistencia, alcanza en 7 minutos de trabajar en seco una temperatura de 185°C, que seguirá aumentando hasta deteriorar la resistencia. De aquí, que sea tan importante el control de fin de desescarche en los procesos que utilizan resistencias eléctricas, por lo que aparte del temporizador habrá que colocar un control, termostático o presostático, que determine el momento en que el evaporador está desescarchado y que interrumpa el proceso de desescarche, siendo posiblemente más recomendable el termostático, que deberá abrir el circuito por incremento de la temperatura y cerrarlo por disminución de la misma.

Existen una gran variedad de modelos de controles de este tipo, pero todos ellos tienen que cumplir las siguientes condiciones, $\begin{cases} Apertura\ de\ contactos,\ a + 5ºC \\ Cierre\ de\ contactos,\ a - 5ºC \end{cases}$; el fabricante del evaporador suele suministrar el control incorporado al mismo; los contactos de estos termostatos, por razones de tamaño no son adecuados para grandes cargas eléctricas, por lo que es necesario que sólo actúen sobre el circuito de mando, es decir, sobre relés o contactores.