

materiales didácticos de aula
formación profesional específica

Técnico en Montaje y Mantenimiento de Instalaciones de Frío, Climatización y Producción de Calor

CICLO FORMATIVO DE GRADO MEDIO

FORMACIÓN PROFESIONAL A DISTANCIA

Unidad **4**

Intercambiadores
de Calor



MÓDULO

Máquinas y Equipos Frigoríficos



FORMACIÓN PROFESIONAL

Principado de Asturias

**Título del Ciclo: TÉCNICO EN MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES DE FRÍO,
CLIMATIZACIÓN Y PRODUCCIÓN DE CALOR**

Título del Módulo: MÁQUINAS Y EQUIPOS FRIGORÍFICOS

Dirección: Dirección General de Formación Profesional.
Servicio de Formación Profesional y Aprendizaje Permanente.

Dirección de la obra:

Alfonso Gareaga Herrera
Antonio Reguera García
Arturo García Fernández
Ascensión Solís Fernández
Juan Carlos Quirós Quirós
Luis María Palacio Junquera
Manuel F. Fanjul Antuña
Yolanda Álvarez Grandá

Coordinación de contenidos del ciclo formativo:

Javier Cueli Llera

Autor:

Javier Cueli Llera

Desarrollo del Proyecto: Fundación Metal Asturias

Coordinación:

Javier Maestro del Estal
Montserrat Rodríguez Fernández

Equipo Técnico de Redacción:

Alfonso Fernández Mejías
Ramón García Rosino
Laura Fernández Menéndez
Luis Miguel Llorente Balboa de Sandoval
José Manuel Álvarez Soto

Estructuración y desarrollo didáctico:

Isabel Prieto Fernández Miranda

Diseño y maquetación:

Begoña Codina González
Sofía Ardura Gancedo
Alberto Busto Martínez
María Isabel Toral Alonso

Colección:

Materiales didácticos de aula

Serie:

Formación Profesional Específica

Edita:

Consejería de Educación y Ciencia

Dirección General de Formación Profesional
Servicio de Formación Profesional y Aprendizaje Permanente

ISBN: 84-690-1471-4

Depósito Legal: AS-0591-2006

Copyright:

© 2006. Consejería de Educación y Ciencia
Dirección General de Formación Profesional
Todos los derechos reservados.

La reproducción de las imágenes y fragmentos de las obras audiovisuales que se emplean en los diferentes documentos y soportes de esta publicación se acogen a lo establecido en el artículo 32 (citas y reseñas) del Real Decreto Legislativo 1/2.996, de 12 de abril, y modificaciones posteriores, puesto que "se trata de obras de naturaleza escrita, sonora o audiovisual que han sido extraídas de documentos ya divulgados por vía comercial o por Internet, se hace a título de cita, análisis o comentario crítico, y se utilizan solamente con fines docentes".

Esta publicación tiene fines exclusivamente educativos.

Queda prohibida la venta de este material a terceros, así como la reproducción total o parcial de sus contenidos sin autorización expresa de los autores y del Copyright.

Sumario general

Objetivos	4
Conocimientos	5
Introducción.....	6
Contenidos generales.....	6
Evaporadores.....	7
Condensadores.....	29
Intercambiadores de placas.....	51
Resumen de contenidos.....	54
Autoevaluación	56
Respuestas de actividades	58
Respuestas de autoevaluación.....	61





Objetivos

Al finalizar el estudio de esta unidad serás capaz de:

- Explicar la función del condensador en el sistema frigorífico, los parámetros que los caracterizan, y explicar sus características constructivas, clasificándolos según los tipos.
- Explicar los métodos de regulación de la presión de condensación.
- Explicar la función del evaporador en el sistema frigorífico, los parámetros que los caracterizan, y explicar sus características constructivas, clasificándolos según los tipos.
- Explicar los procedimientos de desescarche de los evaporadores.
- Describir los distintos pasos a seguir en un desescarche, justificando cada uno de ellos.
- Analizar las distintas circunstancias que influyen en la aparición de escarcha y la influencia de la misma en el funcionamiento de la máquina.

Conocimientos que deberías adquirir

CONCEPTOS

- Tipos de evaporadores: enfriadores de aire, líquidos, de contacto y especiales.
- Características de los evaporadores.
- Influencia del evaporador en la humedad relativa de la cámara.
- Formación de escarcha. Necesidad de realizar desescarche.
- Tipos de desescarche: gas caliente, inversión de ciclo, eléctrico, parada del compresor, etc.
- Misión del condensador en el circuito. Tipos de condensadores: aire, agua, torres de refrigeración,...
- Relación entre la temperatura de condensación y la del medio de enfriamiento.
- Presión de condensación: importancia de mantenerla constante.
- Métodos para mantener constante la presión de condensación.
- Intercambiadores de placas: características, ventajas e inconvenientes..

PROCEDIMIENTOS SOBRE PROCESOS Y SITUACIONES

- Análisis y comparación de distintos métodos de desescarche.
- Empleando catálogos de distintos fabricantes estudiar las características fundamentales de los evaporadores y condensadores, comprobando la influencia del tamaño del evaporador en el salto de temperatura.
- Analizar las características técnicas que aparecen en los catálogos de los fabricantes.
- Seleccionar un condensador sobre un catálogo para una aplicación dada.



Introducción

Resulta evidente que no es lo mismo enfriar aire o un líquido. Según la aplicación nos vamos a encontrar evaporadores con distintas características constructivas: evaporadores con aletas más o menos separadas, con desescarche por resistencia eléctrica, con ventiladores que giran a baja velocidad, con saltos de temperatura pequeños para mantener humedades relativas elevadas,... Estudiaremos en esta unidad las distintas características de los evaporadores y su influencia en el funcionamiento del equipo.

De igual forma no es lo mismo enfriar el refrigerante con aire que con agua, por lo que el condensador será distinto según el medio de enfriamiento utilizado. Incluso existen equipos que utilizan aire y agua y que pueden dar lugar a la conocida *legionella*.

En sistemas más modernos y complejos se emplea la energía disponible en el condensador para reutilizarla, por ejemplo para calentar agua, obteniendo de esa forma una mejora en el rendimiento de la instalación.

Estudiaremos en esta unidad las distintas formas constructivas que adoptan los evaporadores y condensadores, que genéricamente agrupamos en intercambiadores de calor.

Contenidos generales

Estudiaremos los distintos tipos de intercambiador de calor y sus características más importantes agrupados en tres capítulos distintos: evaporadores, condensadores e intercambiadores de placas.

Evaporadores

Hemos visto en unidades anteriores los principios en los que se basa el funcionamiento de las máquinas frigoríficas. Estudiaremos a partir de ahora los distintos componentes de la máquina, comenzando por los intercambiadores de calor, y más concretamente con los evaporadores.

Los evaporadores son los encargados de la producción de frío. Según la aplicación podemos encontrarnos con múltiples tipos de evaporadores, aunque los más habituales son los empleados para enfriar aire. El evaporador puede ser un elemento tan simple como un tubo dentro de otro tubo. Estudiaremos aquí los evaporadores más habituales y el proceso de formación de escarcha, que resultará determinante en el funcionamiento de la máquina.

El evaporador es el dispositivo encargado de la producción de frío, es decir, absorbe calor del medio a enfriar.

El reglamento de instalaciones frigoríficas define el evaporador como un intercambiador de calor en el cual el refrigerante líquido se vaporiza por absorción del calor procedente del medio a enfriar.



Debemos entender por **medio a enfriar** el espacio o material que queremos refrigerar, por ejemplo aire en un frigorífico doméstico, leche en un tanque enfriador de leche,...

En el ciclo frigorífico la absorción de calor se produce a temperatura constante, ya que el refrigerante entra en el evaporador a la temperatura de vaporización, tras su paso por la válvula de expansión. Tras el proceso de expansión, al evaporador entra una mezcla de refrigerante líquido y vapor, y en su interior va aumentando progresivamente el contenido de vapor disminuyendo el de líquido, hasta llegar a la evaporación total del líquido.





En la figura 1 podemos ver sobre el ciclo frigorífico cómo llega al evaporador una mezcla de líquido y vapor, y cómo al finalizar el proceso de vaporización el refrigerante se ha evaporado (hemos supuesto que no existe recalentamiento). Este tipo de evaporadores se denomina de **expansión directa** o de **tipo seco**.

Existe otro tipo de evaporadores denominados **inundados** en los que la alimentación no se realiza por medio de una válvula de expansión y que siempre se encuentran con líquido refrigerante en su interior, pero que no consideraremos aquí.

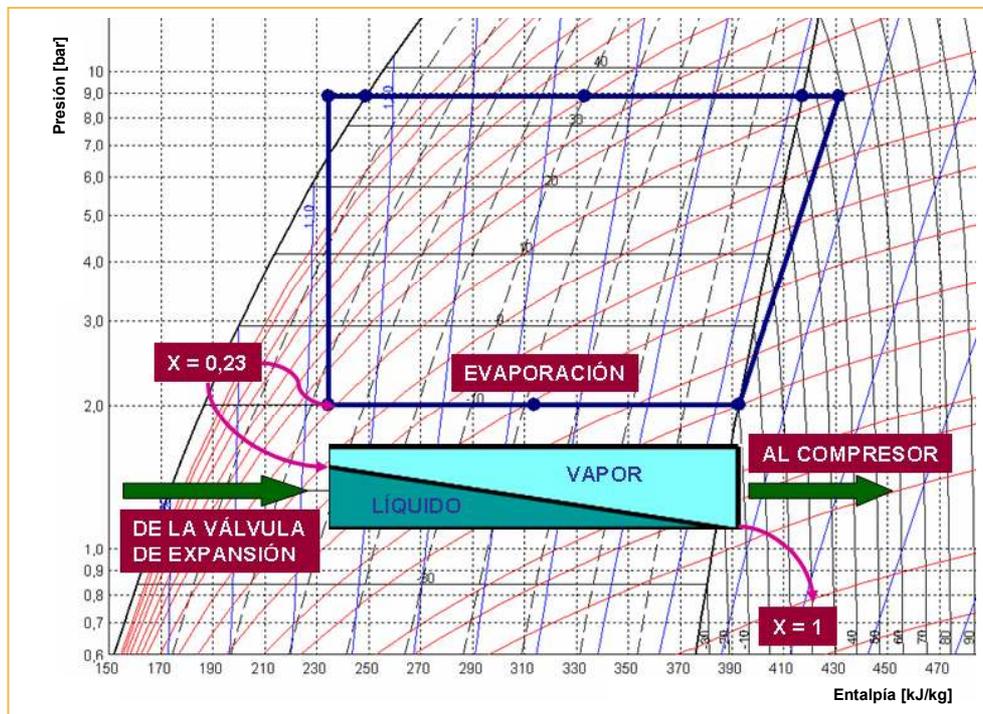


Fig. 1: Representación de la evaporación del refrigerante en el ciclo frigorífico.

La cantidad de calor que es capaz de absorber el evaporador depende de los siguientes factores:

- El **coeficiente global de transmisión**, que disminuye con la suciedad, el aceite que arrastra el refrigerante por el interior de las tuberías y la escarcha que se haya acumulado sobre la superficie del tubo del evaporador.
- La **superficie del evaporador**. A mayor tamaño mayor cantidad de calor.
- La **diferencia de temperatura** entre la del medio a enfriar y la de evaporación. A mayor salto de temperatura mayor cantidad de calor.

Algunos de estos datos aparecen en las características que indican los fabricantes, como se puede ver en la figura 2 donde aparece una parte de un catálogo de evaporadores de la firma FRIMETAL.

MODELO	MODEL MODELE TYP		SN 1	SN 2
Capacidad nominal Nominal capacity Puissance nominale Nennleistung	$\Delta T=8\text{ K}$ $TC=0^\circ\text{ C}$ (1)	W	455	630
Superficie / Surface Surface / Oberfläche		m ²	6,5	9,0



Fig. 2: Características de un evaporador de la firma FRIMETAL.

Tipos de evaporadores

Pueden realizarse distintas clasificaciones de los evaporadores según el criterio que tengamos en cuenta; en nuestro caso realizaremos la siguiente clasificación:

- Evaporadores para enfriar aire.
- Evaporadores para enfriar líquidos.
- Evaporadores especiales.
- Evaporadores para la producción de hielo.

Comentaremos a continuación brevemente las características más destacadas de estos evaporadores.

o Evaporadores para enfriar aire

Los evaporadores destinados a enfriar aire son los más usados en las instalaciones comerciales. Están formados por un **haz aleteado** de tubo de cobre (acero en el caso de que el refrigerante fuese amoníaco) y **aletas** de aluminio. A la superficie de los tubos del evaporador se le llama superficie primaria, y a la de las aletas superficie secundaria.

Los tubos del evaporador van colocados al tresbolillo para mejorar la transmisión térmica, y en su interior pueden ser lisos o estriados para mejorar aún más el intercambio de calor.



En la siguiente figura se muestra un dibujo esquemático de un evaporador utilizado para enfriar aire y junto a él aparecen distintos tipos de tubo (Wolverine Tube) y de aletas.

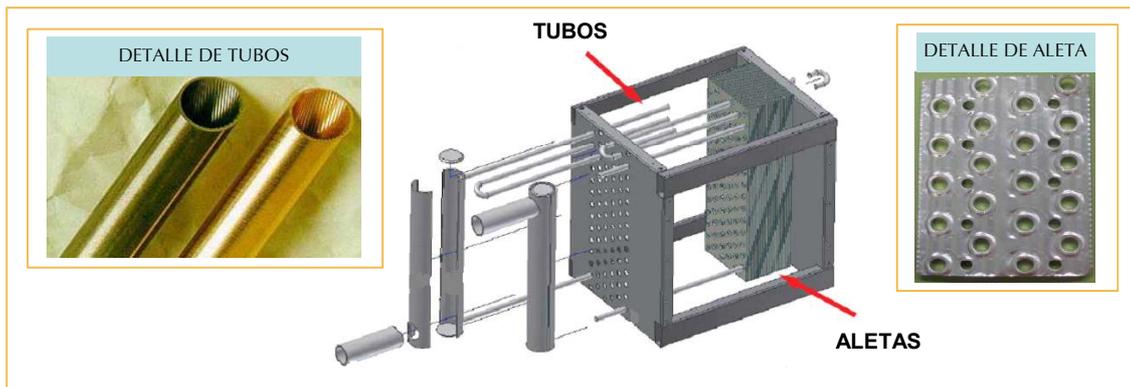


Fig. 3: Evaporador y detalle de elementos.

La distancia entre aletas suele ir relacionada con la aplicación del evaporador. Así, cuando la separación entre aletas es muy pequeña, la formación de escarcha puede dificultar la circulación del aire disminuyendo el rendimiento del evaporador.

Los catálogos de los fabricantes indican la aplicación y la separación entre aletas, como por ejemplo en el caso de FRIMETAL (fig. 4).

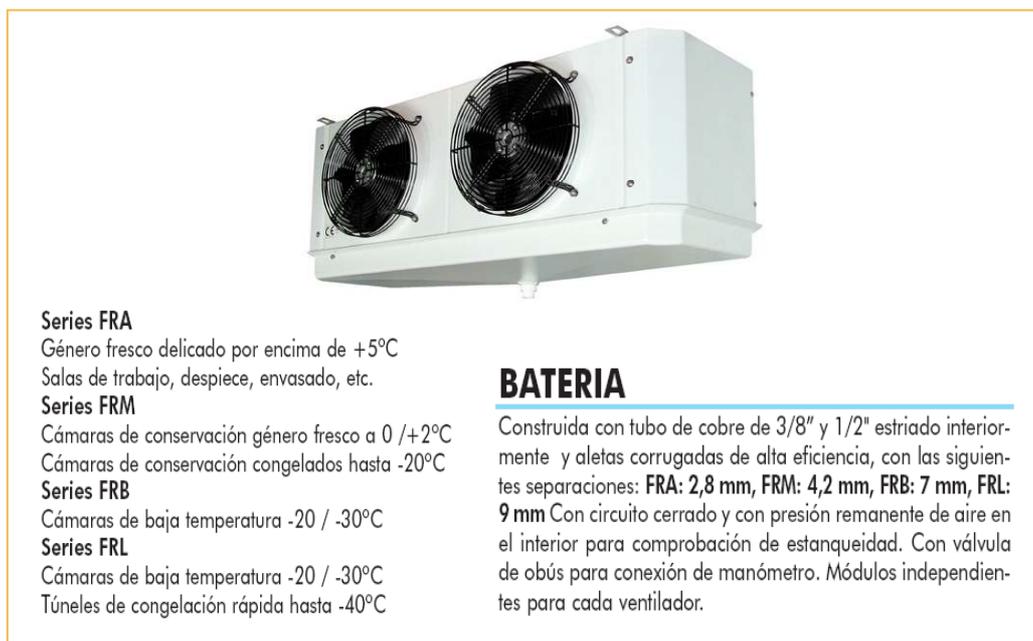


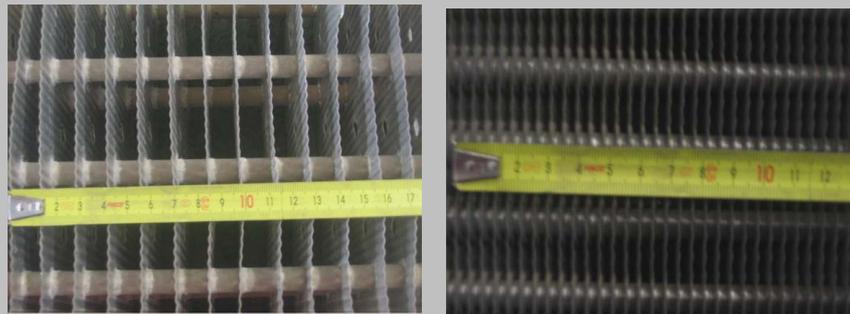
Fig. 4: Características de un evaporador FRIMETAL.



La elección de un evaporador u otro dependerá de la temperatura de la cámara a enfriar, de la frecuencia de los desescarches y de la humedad del aire.

1 actividad

En la imagen aparecen dos evaporadores en los que puedes apreciar distintas distancias entre aletas. ¿Sabrías decir cuál de ellos es más indicado para aplicaciones de baja temperatura? Razona la respuesta.



Cuando la relación entre la longitud del tubo y su diámetro interior es muy elevada, los evaporadores se construyen dividiéndolos en varios **circuits en paralelo**, con lo que es necesario realizar la alimentación por medio de un **distribuidor** de líquido, y asimismo colocar a la salida un **colector** para recoger el refrigerante procedente de los distintos circuits conectados en paralelo. Con esta solución se minimizan las caídas de presión a lo largo del evaporador.



En las siguientes imágenes se pueden ver diferentes tipos de distribuidores (fig. 5) y de colectores de salida (fig. 6) de diferentes marcas comerciales.

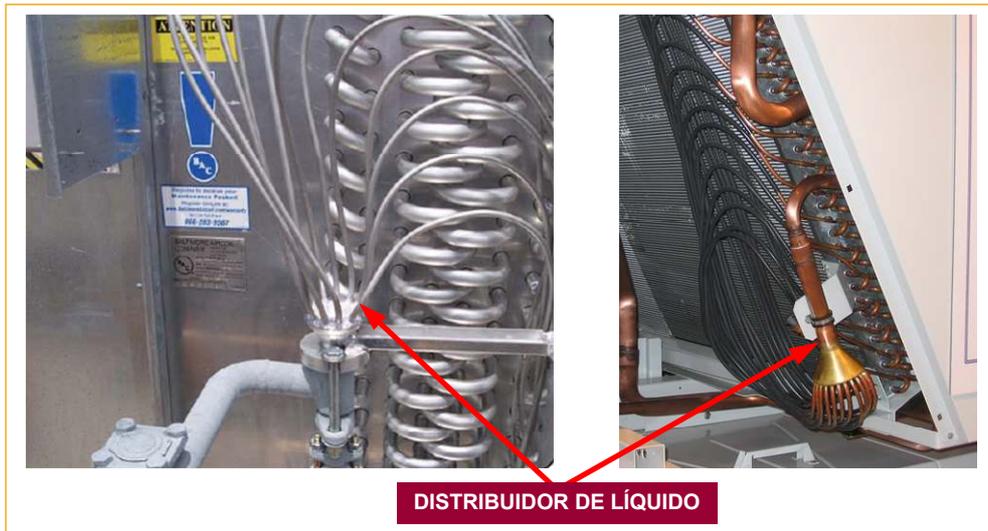


Fig. 5: Distribuidores de líquido en evaporadores Baltimore Air Company (BAC) y Carrier.

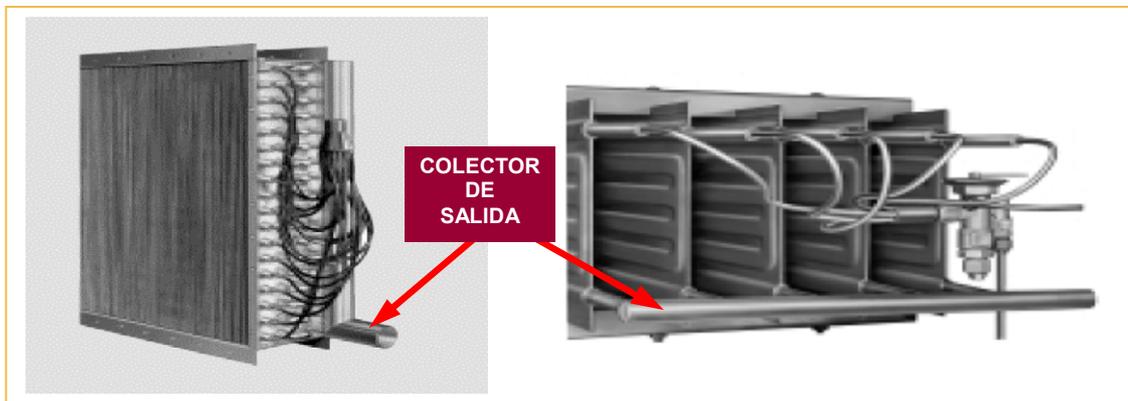


Fig. 6: Colectores de salida de un evaporador (Sporlan Valve company).

Estos evaporadores pueden llevar circulación **natural** o circulación **forzada** de aire. En el primer caso, el movimiento del aire se produce únicamente por la diferente densidad entre el aire frío (más denso) y el aire caliente, lo cual provoca el movimiento del aire en el interior de la cámara. Los evaporadores con circulación forzada incorporan uno o varios ventiladores para favorecer el movimiento del aire.

En la figura 7 se muestra un corte de un evaporador SEARLE que dispone de circulación forzada mediante ventiladores, así como de tubo estriado en su interior tal como muestra el detalle de la foto. Este modelo de evaporador dispone de resistencia eléctrica para desescarche (el proceso de desescarche o eliminación de escarcha será explicado en un capítulo posterior).

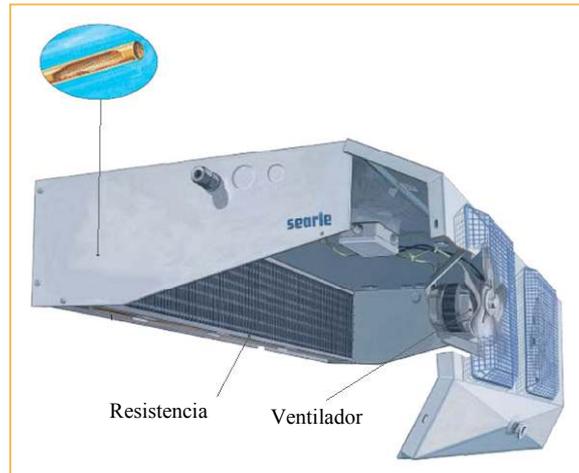


Fig. 7: Evaporador SEARLE.

2 actividad

En la tabla adjunta aparecen algunos datos correspondientes a una serie de evaporadores Friga-Bohn. ¿Por qué la potencia nominal aumenta con la velocidad de giro de los ventiladores? Si la cámara frigorífica donde se va a instalar el evaporador modelo 342 tiene una superficie de 6 m^2 , ¿consideras que será posible instalar dicho evaporador?

GTI .. 4/6/8 P (1500/1000/750 r/min.)						2,54 mm		
Modelos	GTI... 4/6/8 P		342	362	442	462	542	562
R404A		4P	37,9	47,7	50,7	64,7	58,7	77,3
DTI = 10 K	Potencia nominal	6P	31,2	38,7	42,1	51,8	48,6	62,6
SC1 (I)	\dot{Q}_0 kW	8P	26,3	31,5	36,0	42,0	43,1	51,2
Superficie	m^2		160	240	217	326	272	408
Vol. tubos circuitos	dm^3		20,2	30,3	26,5	39,8	32,9	49,3





A. Diferencia entre la temperatura del aire y la temperatura de evaporación

Hemos visto que uno de los factores que influyen en la cantidad de calor que puede absorber el evaporador es la *diferencia de temperatura entre la del espacio a refrigerar y la de evaporación (ΔT)*.

$$\Delta T = T_{\text{cámara}} - T_{\text{evaporación}}$$

La diferencia de temperatura (ΔT) viene determinada por la **humedad relativa** que tiene el aire que se pretende enfriar, y cuyo valor es necesario mantener en el interior de la cámara del evaporador.

En la figura 8 se muestra un diagrama en el que aparece el valor de ΔT requerido para evaporadores de la firma FRIMETAL en función de la humedad relativa que se desea mantener en el interior de la cámara. En el diagrama hemos señalado cómo para un 80% de humedad relativa le corresponde una diferencia de temperatura de 7 K.

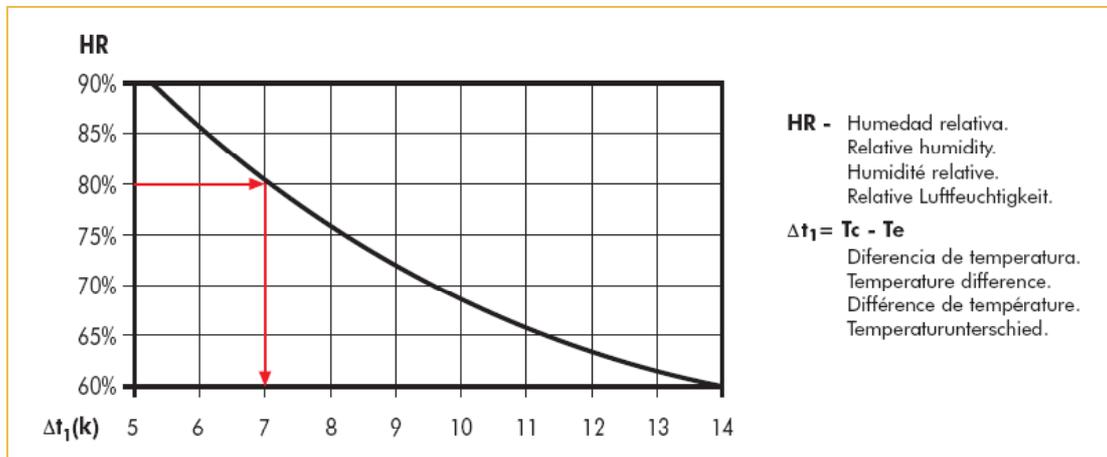


Fig. 8: Diagrama que relaciona la ΔT con la humedad relativa del aire.

En el diagrama anterior se puede observar que cuanto mayor sea la humedad relativa menor será el salto de temperatura y, consecuentemente, mayor será la superficie del evaporador. Esto es debido a que cuando el ΔT es muy grande la temperatura de evaporación es muy baja –menor que la temperatura de rocío del aire–, y por tanto, al pasar el aire por el evaporador, el vapor de agua contenido en él se condensa disminuyendo la humedad relativa del aire.

Ejemplo

Para una temperatura de la cámara de 5 °C, si el ΔT es de 10 K, la temperatura de evaporación resultará:

$$\Delta T = T_{\text{cámara}} - T_{\text{evaporación}} \Rightarrow T_{\text{evaporación}} = T_{\text{cámara}} - \Delta T = 5 - 10 = -5 \text{ °C}$$

En cambio, si el ΔT hubiese sido de 6 K, entonces la temperatura de evaporación resultaría ser de -1 °C:

$$T_{\text{evaporación}} = T_{\text{cámara}} - \Delta T = 5 - 6 = -1 \text{ °C}$$

Como vemos, con una menor diferencia de temperatura se precisa una temperatura de vaporación más baja.

Las temperaturas del aire a la entrada del evaporador y la de evaporación suelen ser del orden de las indicadas en la tabla adjunta.

TIPO DE APLICACIÓN	TEMPERATURA DEL AIRE A LA ENTRADA	TEMPERATURA DE EVAPORACIÓN DEL REFRIGERANTE
Aire acondicionado	20 a 40 °C	3 a 11 °C
Cámaras de fresco	0 a 5 °C	-10 a -1 °C
Cámaras de congelados	-30 a -20 °C	-35 a -25 °C

Tabla 1: Valores típicos de temperaturas en refrigeración.

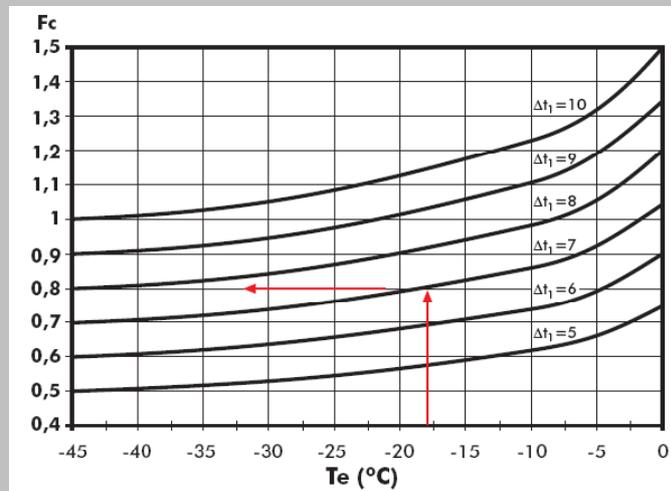
Puedes observar cómo, por ejemplo, en aplicaciones de aire acondicionado la temperatura de evaporación es superior a 0 °C, lo que tendrá influencia en el proceso de formación de escarcha, como veremos más adelante.

Además de las aplicaciones indicadas, existen otras de muy baja temperatura, como por ejemplo para aplicaciones médicas.



3 actividad

En el momento de seleccionar un evaporador, FRIMETAL da el gráfico adjunto para evaluar el factor de corrección (F_c) según el ΔT y la temperatura de evaporación. Dicho factor divide a la potencia nominal obtenida directamente del catálogo. Por ejemplo, si la potencia del catálogo fuese 1.000 W y el F_c fuese 0,8 la potencia requerida sería $1.000 / 0,8 = 1.250$ W.



Explica por qué al aumentar ΔT disminuye la potencia del evaporador, para una temperatura de evaporación dada.

o Evaporadores para líquidos

Existen distintos modelos de evaporadores para enfriar líquido que varían según la aplicación a la que se van a destinar. En algunos casos los evaporadores van **inmersos** en el líquido que se quiere enfriar; en otros, el evaporador va separado del líquido a enfriar por una **pared metálica**, adoptando en este caso distintas soluciones constructivas.

En las siguientes figuras aparecen algunos de estos evaporadores: un evaporador de doble tubo (fig. 9), un evaporador separado por una pared metálica en un tanque enfriador de leche (fig. 10) y un evaporador de inmersión para una enfriadora de agua (fig. 11).



Fig. 9: Evaporador de doble tubo (Doucette Industries).

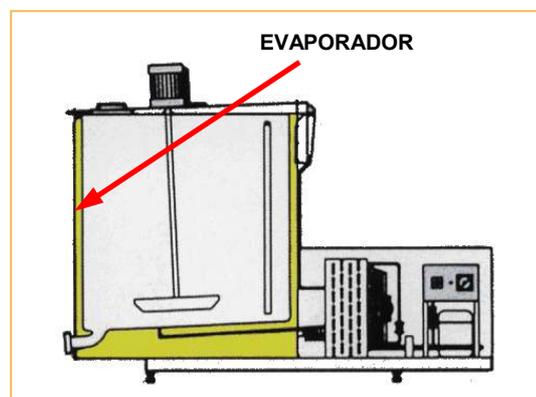


Fig. 10: Evaporador separado por pared metálica (tanque enfriador de leche).

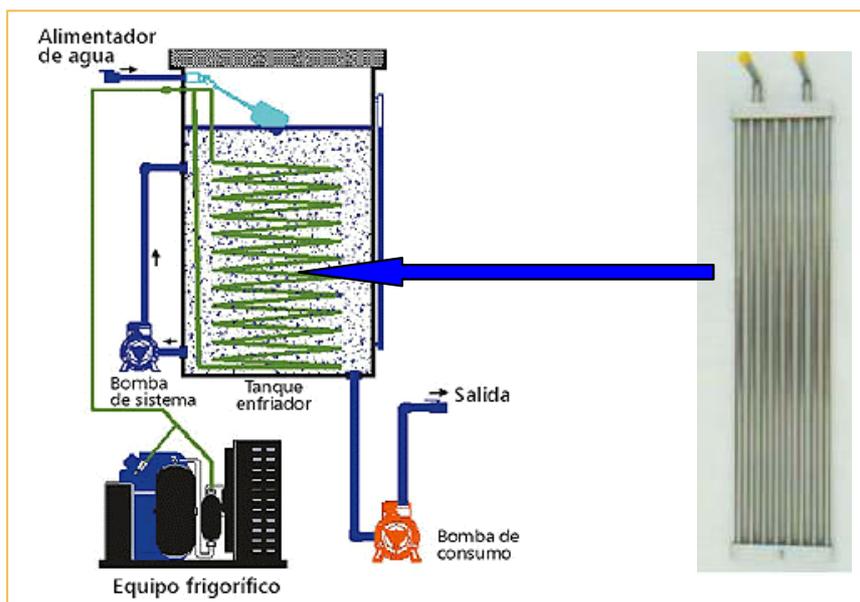


Fig. 11: Evaporador de inmersión para enfriadora de agua (RAA refrigerazione)



Otro tipo de evaporadores para líquidos son los **multitubulares**, que tienen el aspecto exterior como el indicado en la figura 12 (ITT Standard). Están formados por una carcasa que lleva en su interior un haz de tubos con distintas configuraciones según la aplicación y el tipo de refrigerante, tal como aparece en la figura 13.



Fig. 12: Evaporadores multitubulares (ITT Standard)



Fig. 13: Interior de un evaporador multitubular (ITT Standard)

En los evaporadores multitubulares, el refrigerante puede circular por la carcasa, generalmente en plantas de refrigeración industrial, en cuyo caso se les llama evaporadores inundados, o por el interior de los tubos, generalmente en enfriadoras de agua para equipos de aire acondicionado.

o Otros evaporadores

Incluiremos en este apartado aquellos evaporadores de uso no tan frecuente.

Un tipo de evaporador que se utiliza en muchos muebles expositores son los **estantes refrigerados** que permiten obtener congelaciones o bajas temperaturas de forma rápida. Sobre el serpentín del evaporador se colocan los productos que se quiere refrigerar. En la figura 14 se muestra uno de estos evaporadores. Fíjate en las tuberías que hay en el fondo para la conexión de los distintos estantes.



Fig. 14: Estante refrigerado.

También son múltiples las máquinas destinadas a fabricar hielo en sus distintas versiones: cubitos, granulado, escamas o barras moldeadas.

Aunque aquí no se trata de ver las distintas máquinas existentes para fabricar hielo, sí que indicaremos un ejemplo de evaporador como el que aparece en la figura siguiente destinado a la **fabricación de cubitos**.



Fig. 15: Evaporador de un fabricante de cubitos.

Otro tipo de evaporador especial que merece la pena destacar son las **placas eutécticas** utilizadas sobre todo en el transporte de productos frescos o congelados. La acumulación de frío se efectúa en el garaje de los vehículos, y las placas llevan una solución que tiene la propiedad de descongelarse a una temperatura constante, que depende de la solución empleada y de la aplicación.

Escarcha

El aire es un gas que contiene una cantidad variable de vapor de agua. Este vapor de agua tiende a depositarse sobre las superficies del evaporador cuya temperatura es inferior a la de la cámara.

Cuando estas superficies se encuentran a temperaturas **inferiores a 0 °C**, el agua se depositará en forma de **escarcha**. En la imagen aparece el evaporador de una isla de productos congelados en el que ha comenzado el proceso de formación de escarcha.



Fig. 16: Isla de productos congelados con aparición de escarcha.



La escarcha sólo se formará en cámaras con temperaturas de evaporación negativas.



Los efectos que provoca la escarcha sobre el evaporador los podemos resumir en los siguientes puntos:

- Efecto **aislante** sobre el evaporador, lo cual hace que disminuya la temperatura de evaporación y la producción frigorífica y aumente el tiempo de funcionamiento. Estos efectos son debidos fundamentalmente a la reducción del paso del aire provocado por la acumulación de escarcha entre las aletas.
- Posibles **deterioros en las aletas** del evaporador.

Para evitar este tipo de inconvenientes debemos realizar **desescarches periódicos** con alguno de los procedimientos que veremos posteriormente.

Independientemente del procedimiento utilizado, el ciclo de desescarche lo podemos resumir en cinco etapas según el gráfico mostrado en la figura 17. En dicho gráfico podemos distinguir cinco zonas:

- **Zona 1:** la máquina se encuentra a la temperatura correspondiente a la regulación del termostato, y puede encontrarse parada o en marcha en el momento de iniciarse el desescarche.
- **Zona 2:** comienza el aporte de calor.
- **Zona 3:** la escarcha comienza a fundirse.
- **Zona 4:** la temperatura continúa aumentando hasta alcanzar unos 6 °C aproximadamente, momento en el cual podemos suponer que se ha eliminado toda la escarcha.
- **Zona 5:** recuperación de la temperatura de la cámara.

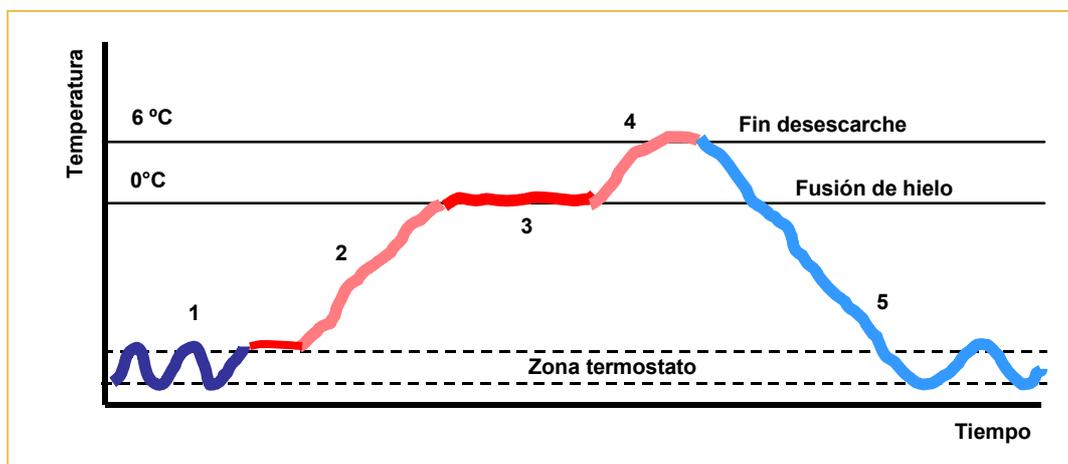


Fig. 17: Representación del ciclo de desescarche de un evaporador.

En el siguiente procedimiento se recogen los pasos que se deben seguir en el caso de un desescarche. Debemos tener en cuenta que, según el automatismo que se emplee, el proceso puede simplificarse notablemente:

Procedimiento de desescarche

1. **Parar la inyección de líquido** en el evaporador cerrando la solenoide.
2. **Vaciar el evaporador:** la máquina continúa funcionando aunque se haya cerrado la solenoide y el compresor no se parará hasta que la presión de aspiración no haya disminuido hasta el valor ajustado en el presostato de baja. Al detener la máquina por presión, ésta se parará cuando la cantidad de refrigerante que quede en el evaporador sea muy pequeña. De esta forma el calor aportado se dedica prácticamente en su totalidad a provocar el desescarche y no a calentar el refrigerante que podría quedar en el evaporador.
3. **Parar los ventiladores**, salvo en el caso de que el desescarche se realice utilizando el aire de la propia cámara, para evitar que el aire caliente salga hacia la cámara.
4. **Aportar calor.**
5. **Fin de desescarche:** puede llegarse a este punto una vez transcurrido un *tiempo* establecido o cuando se alcance una determinada *temperatura*. Es decir, el desescarche se terminará cuando se alcance el tiempo programado para tal fin, pero si antes de que ocurra esto ya no queda escarcha, no tiene sentido continuar aportando calor al evaporador, por lo que también es posible detener el desescarche si la temperatura en el interior del evaporador ha alcanzado un valor de, aproximadamente, 6 °C, momento el cual se supone que no queda escarcha.
6. **Retardar la inyección de líquido** para que termine de gotear el evaporador. Si no se retardase la inyección de líquido, al enfriarse rápidamente el evaporador el agua que aún existe sobre la superficie del evaporador se volvería a congelar.
7. **Arrancar el compresor.**
8. **Retardar la puesta en marcha de los ventiladores:** por temperatura o tiempo. Los ventiladores no se pondrán en marcha hasta que la temperatura en el interior del evaporador sea la de funcionamiento en condiciones normales.



No detallaremos más cada uno de estos pasos, ya que en la unidad correspondiente a *Aparatos de Automatismo* estudiaremos distintos dispositivos que incorporan estas posibilidades, como por ejemplo el indicado en la figura, modelo EKC 204 de la firma Danfoss.

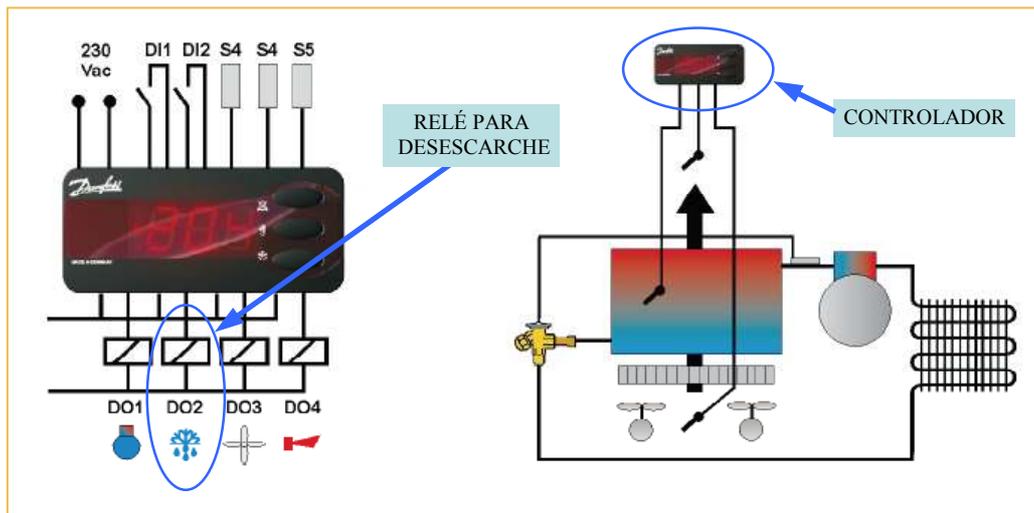


Fig. 18: Controlador electrónico para cámara frigorífica y aplicación en un circuito frigorífico (Danfoss).

4 actividad

Si al observar un evaporador comprobamos que la distribución de escarcha no es homogénea y que en los tramos finales de la tubería no aparece escarcha, ¿a qué puede ser debido?

Podemos clasificar los **procedimientos de desescarche** según el procedimiento aplicado para aportar calor:

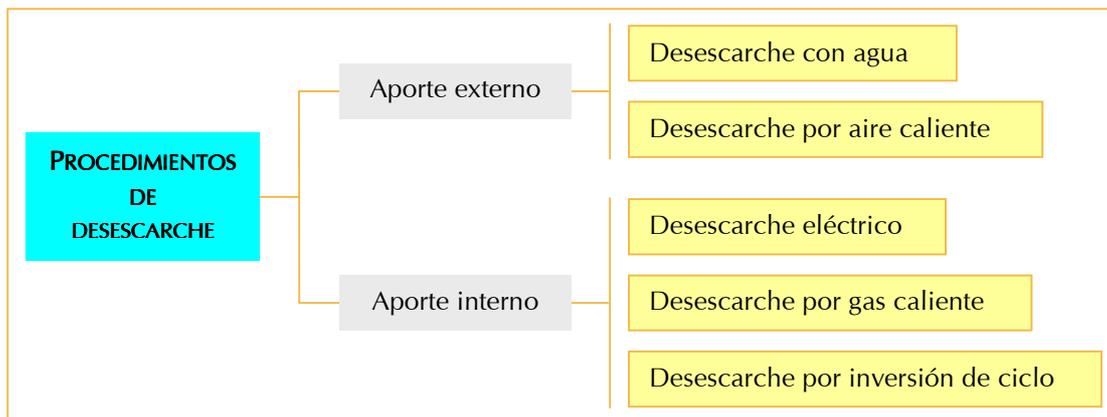


Fig. 19: Procedimientos de desescarche según el sistema de aplicación de calor.



El desescarche por procedimientos de aporte de calor externo es menos utilizado que el de aporte de calor interno.

o Desescarche mediante aporte de calor externo

Hemos visto que hay dos métodos para realizar el desescarche mediante aporte de calor externo:

- Desescarche por agua.
- Desescarche por aire.

A. Desescarche por agua

Este método consiste en **pulverizar agua** sobre el evaporador. Sólo puede aplicarse a aquellos evaporadores que se encuentran estancos para que el agua no se proyecte hacia el espacio a refrigerar.

Una vez finalizado el desescarche, la máquina no puede volver a ponerse en marcha hasta que no haya terminado de gotear el agua procedente del desescarche.





B. Desescarche por aire

Otra forma de aplicación de calor para eliminar la escarcha del evaporador es mediante aire, cuya procedencia puede ser:

- **Aire de la propia cámara.** Se utiliza en cámaras con temperatura *positiva* (superior a 3 - 5 °C). En este caso, puede acelerarse el desescarche si durante las paradas se ponen en marcha los ventiladores del evaporador.
- **Aire que circula en circuito cerrado.** La circulación de este aire se realiza durante el desescarche y se calienta mediante una batería de resistencias. Este procedimiento se aplica en máquinas de temperatura *negativa*. Para ello el evaporador debe disponer de una trampilla que se cerrará durante los periodos de desescarche para evitar la salida del aire caliente hacia la cámara.

o Desescarche mediante aporte de calor interno

Los métodos para efectuar el desescarche mediante aporte de calor interno son tres:

- Resistencias eléctricas.
- Inversión de ciclo.
- Gas caliente.

A. Desescarche por resistencias eléctricas

El procedimiento consiste en calentar el evaporador por medio de una resistencia eléctrica incorporada en su interior, tal como puede verse en la siguiente figura.



Fig. 20: Evaporador con resistencia eléctrica para desescarche.

5 actividad

Los datos adjuntos corresponden al desescarche por resistencia eléctrica para evaporadores FRIMETAL. Explícalos.

DESESCARCHE ELECTRICO / ELECTRICAL DEFROST / DEGIVRAGE ELECTRIQUE / ELEKTRISCHE ABTAUUNG					
Bandeja / Drip tray / Bac / Tropfwanne	num.	1	1	1	1
Bateria / Coil / Batterie / Block	num.	1	2	2	2
Total / Total / Total / Gesamt	num.	2	3	3	3
Potencia / Power / Puissance / Leistung	W	1100	1650	1650	3300

B. Desescarche por inversión de ciclo

Este método, respecto al método por resistencia eléctrica, tiene la ventaja del **ahorro energético**, ya que aprovecha el calor de los vapores descargados en el condensador.

El procedimiento consiste en invertir el ciclo durante el desescarche, es decir, el evaporador pasaría a actuar como **condensador**. Para ello descargamos los vapores sobre el evaporador de forma que el refrigerante cede el calor a la escarcha depositada sobre él. Para realizar esta función se utiliza una **válvula de cuatro vías** como la indicada en la figura 21 y que estudiaremos en unidades posteriores.



Fig. 21: Válvula de cuatro vías para inversión del ciclo.



El procedimiento para llevar a cabo la inversión del ciclo es sencillo y con los circuitos mostrados en la figura 22 (circuito para refrigeración y circuito para desescarche) se comprende fácilmente el funcionamiento del sistema. Como puedes ver, el circuito se complica ligeramente, ya que se necesitan dos válvulas de expansión y otras dos válvulas antirretorno (sólo dejan pasar el refrigerante en un sentido) colocadas en paralelo con las mencionadas válvulas de expansión.

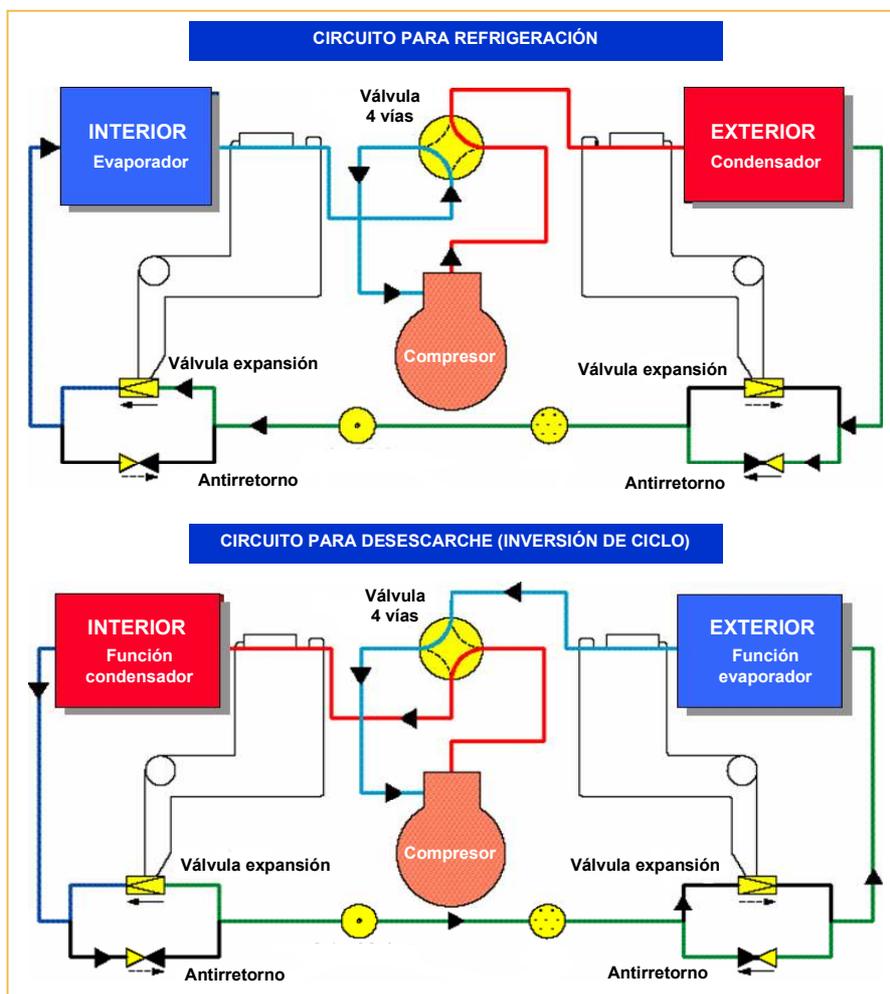


Fig. 22: Circuitos para refrigeración y desescarche por inversión de ciclo (Danfoss).

Como puedes ver en el circuito para desescarche, el refrigerante en estado de vapor pasa por el intercambiador de calor que se encuentra en el interior (el evaporador) que ahora trabaja como condensador, ya que enfría el refrigerante hasta condensarlo. El intercambiador que se encuentra en el exterior (el condensador) ahora trabaja como evaporador y enfría el aire que le rodea, suponiendo que se tratase de un condensador de aire.

El método de inversión de ciclo es muy eficaz ya que emplea el calor sensible y el calor latente contenidos en el refrigerante, tal como hemos visto en la unidad 2 (*Diagrama Presión-Entalpía*), durante el proceso de condensación, y que recordamos mediante la figura 23.

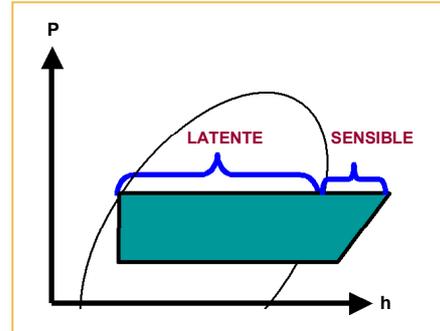


Fig. 23: Intercambio de calor en la etapa de condensación.

C. Desescarche por gas caliente

Este sistema consiste en descargar directamente en el evaporador los gases comprimidos en el compresor. Para ello se utiliza una tubería o línea de desescarche, tal como se indica en la siguiente figura.

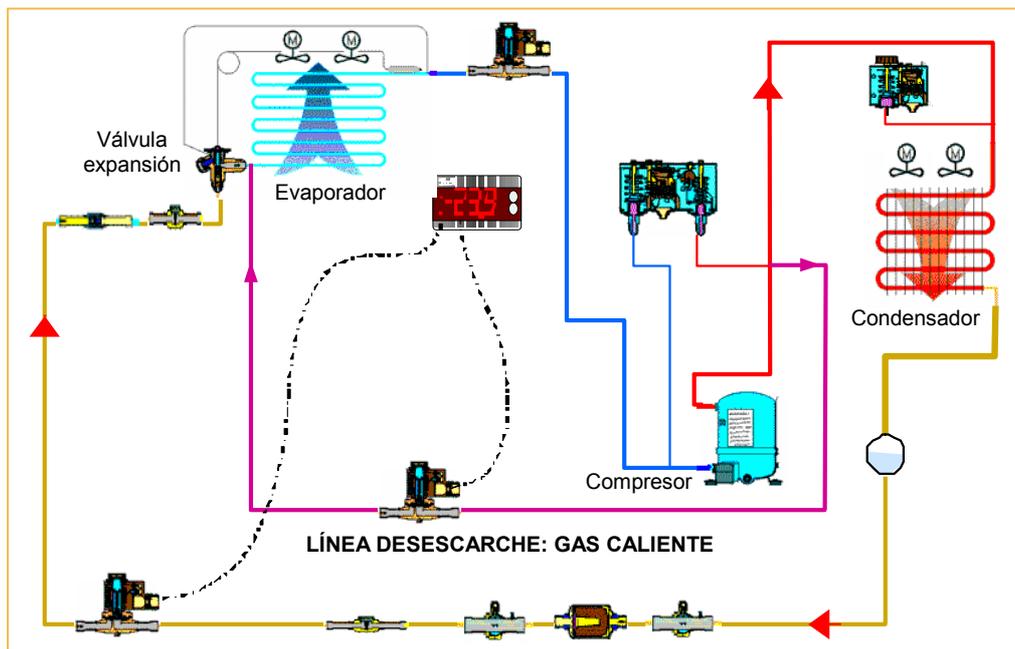


Fig. 24: Circuito para desescarche por gas caliente (Danfoss).

En este circuito puedes observar que la alimentación se realiza después de la válvula de expansión. En el caso de que el evaporador lleve distribuidor de líquido, éste debe incorporar una toma para la conexión correspondiente al desescarche por gas caliente como veremos en la unidad *Aparatos Anexos*.



Este método presenta el inconveniente de que el gas caliente introducido en el evaporador puede condensarse si se emplea además del calor sensible el calor latente contenido en el refrigerante, y por tanto debe preverse un dispositivo para impedir que el líquido condensado sea absorbido por el compresor. El más simple consiste en una botella de aspiración que se mantiene a una temperatura tal que el líquido se reevapora.

El sistema es más eficaz cuando tenemos instalaciones centralizadas. En ese caso podemos enviar el refrigerante condensado en el evaporador que estamos desescarchando directamente al recipiente de líquido o a la línea de líquido. Debemos tener la precaución de desescarchar como máximo un 30 % de los evaporadores de la instalación de forma simultánea.

6 actividad

Entre los datos facilitados por FRIMETAL para una de sus gamas de evaporadores aparecen los indicados a continuación. Explica a qué hacen referencia.

Gases calientes GC

Los modelos con este tipo de desescarche incorporan:

- Una toma en forma de "T" antes del distribuidor de líquido para introducir los gases calientes por la batería.
- Un serpentín con tubo de cobre en la bandeja inferior para su desescarche.

Condensadores

La máquina absorbe calor en el medio que queremos enfriar y esta función la realiza el evaporador como hemos visto. El calor absorbido en el evaporador es cedido por el condensador al medio de enfriamiento.

El condensador es un intercambiador de calor similar al evaporador. Seguro que has visto algún condensador cuando paseas por tu ciudad: en muchos casos se encuentran situados en las fachadas de los edificios o en los tejados.

Estudiaremos la continuación los distintos tipos de condensadores y sus características más destacadas.

El condensador es un intercambiador de calor, básicamente igual que el evaporador, cuya función es ceder el calor contenido en el refrigerante al medio de enfriamiento –aire o agua– que circula por el interior del condensador.

Recordemos que en el evaporador y en el compresor se aporta calor al refrigerante, y este calor absorbido por el refrigerante se debe ceder al medio de enfriamiento.

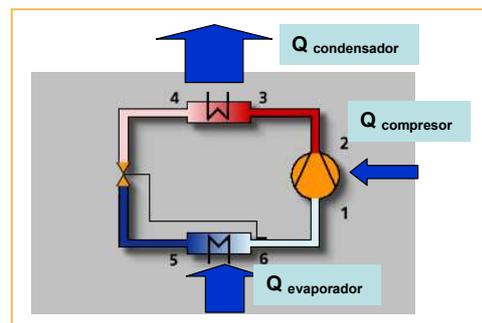


Fig. 25: Balance energético.

El reglamento define el condensador como un intercambiador de calor en el que el refrigerante en fase de vapor se licúa por cesión de calor.

El calor que debe ceder el condensador podemos diferenciarlo en tres grupos:

- Calor sensible de los vapores recalentados en el compresor hasta disminuir la temperatura a la de condensación.
- Calor latente de condensación.
- Calor sensible del líquido para subenfriarlo por debajo de la temperatura de condensación.



En la siguiente figura se muestran dos diagramas de presión-entalpía donde vienen representadas estas tres zonas sobre el ciclo frigorífico.

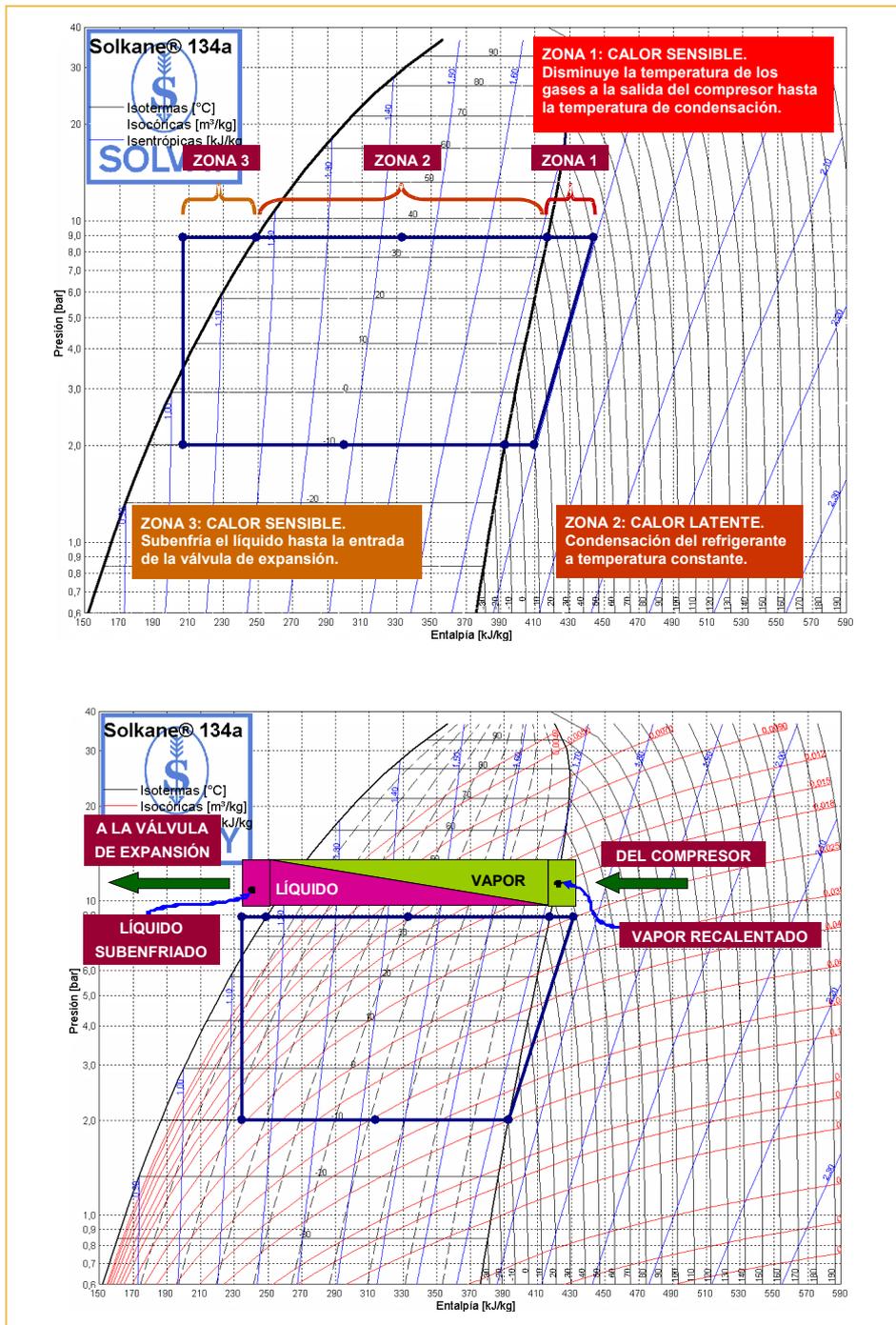


Fig. 26: Representaciones de las tres zonas de calor del proceso de condensación en un ciclo frigorífico.

Tipos de condensadores

Podemos clasificar los condensadores según el medio de enfriamiento, de manera que tenemos los siguientes tipos:

- Condensadores de aire.
- Condensadores de agua.
- Condensadores evaporativos.

Comentaremos a continuación las características principales de cada uno de ellos.

o Condensadores de aire

El aire es el medio de enfriamiento más barato que existe, ya que es gratis. Su bajo calor específico obliga a mover grandes volúmenes de aire y superficies de intercambio (tubos y aletas) también muy elevadas, razón por la que este tipo de condensadores limita su eficacia en grandes instalaciones.

En la figura siguiente se muestra como ejemplo la gama de potencias de Friga-Bohn, conocido fabricante para este tipo de condensadores.



Fig. 27: Gama de potencias para condensadores de aire (Friga-Bohn).

Los condensadores de aire tienen una construcción similar a la de los evaporadores, con la diferencia principal de que la separación entre aletas es mucho menor en los condensadores, quedando únicamente limitada por la necesidad de dejar entre ellas un espacio suficiente para el paso del aire a la mayor velocidad posible. Esta menor separación es posible debido a que en los condensadores **no se forma escarcha**.



La diferencia de la separación entre aletas entre un evaporador y un condensador puede apreciarse en la figura 28 (en esta comparación se ha exagerado la diferencia, ya que existen evaporadores con menor distancia entre aletas y condensadores con distancias mayores).



Fig. 28: Comparación de aletas entre un condensador (izq.) y un evaporador (dcha.).

La eficacia de los condensadores de aire depende de:

- La **aspectos constructivos** (tipo de tubos empleados, aletas, ...)
- La **temperatura ambiente**: al aumentar la temperatura ambiente disminuye la capacidad de transmitir calor al medio de enfriamiento.
- La **ventilación** (la velocidad de giro de los ventiladores). Cuanto mayor sea la velocidad de giro, más elevado será el caudal de aire (medio de enfriamiento) que pasará a través del condensador y mayor capacidad existirá, por tanto, de absorber calor al refrigerante.
- La **limpieza del condensador**. Si las aletas se encuentran con suciedad o existe una película de aceite por el interior de los tubos aumentará la resistencia al intercambio térmico.

En la figura 29 aparece un condensador de aire de la firma Friga-Bohn.



Fig. 29: Condensador de aire (Friga-Bohn).

Un caso particular de condensadores refrigerados por aire es el de los **refrigeradores domésticos**, que carecen de ventilación forzada. En este caso se encuentran situados en la parte trasera del refrigerador y están formados por un tubo en forma de serpentín soldado sobre una serie de hilos metálicos, como se aprecia en las siguientes imágenes. En algunos casos el serpentín va unido a una placa metálica como el que aparece en la imagen de la derecha.



Fig. 30: Condensadores en refrigeradores domésticos.

En **equipos comerciales** se utilizan unidades condensadoras con compresor semihermético como las indicadas en la figura 31. En el caso de grupos con compresores abiertos, el ventilador se coloca sobre el mismo eje del motor eléctrico, y sobre la polea de accionamiento del compresor se coloca una hélice de ventilación en el caso de que el accionamiento sea mediante correas y poleas, tal como aparece en la figura 32.

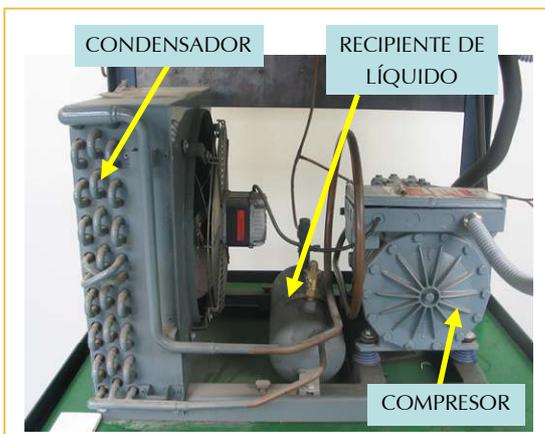


Fig. 31: Unidad condensadora con compresor semihermético.

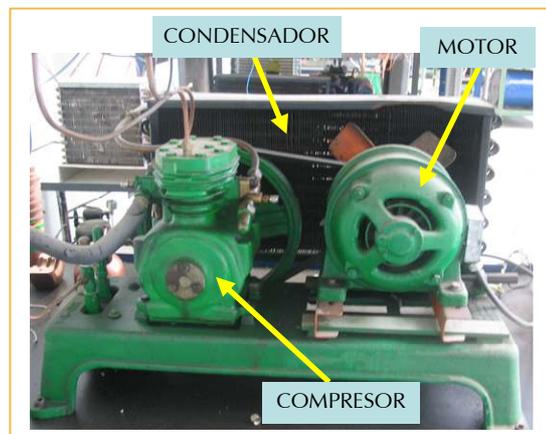


Fig. 32: Unidad condensadora con compresor abierto.



7 actividad

A la hora de seleccionar un condensador hay que tener en cuenta una serie de factores y cada fabricante utiliza para ello una serie de herramientas (fórmulas, tablas, gráficos, etc.).

A continuación se adjuntan unas tablas, un gráfico y una fórmula utilizados por la firma FRIMETAL para determinar la capacidad de sus condensadores de aire. Con ayuda de estas herramientas, trata de determinar la capacidad de un condensador para una máquina en la que la potencia del evaporador es de 2 kW, el refrigerante es R-22, la temperatura de evaporación es -10 °C y la de condensación 40 °C, siendo la temperatura ambiente 25 °C. El condensador se encuentra situado a nivel del mar.

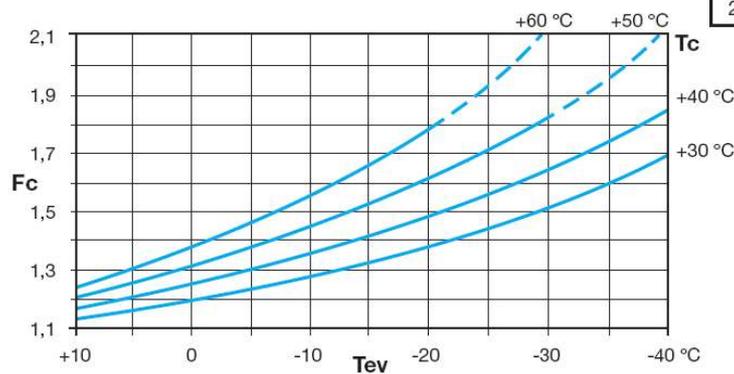
■ CALCULO PARA SELECCION DE CONDENSADORES

Qn = Qev x 15/Δt x Fc x Fr x Fa

- Qn** Capacidad nominal condensador
- Qev** Capacidad del evaporador
- Tev.** Temperatura evaporación °C
- Tc** Temperatura condensación °C
- Tam** Temperatura aire ambiente °C
- Δt** Diferencia temperatura (Tc-Tam)
- Fc** Factor calor compresión
- Fr** Factor refrigerante
- Fa** Factor de altitud

Refr.	Fr
R-404-A	1
R-22	1,04
R-134-a	1,07

m.	Fa
0	1
400	1,03
800	1,06
1200	1,09
1600	1,12
2000	1,16
2400	1,20



o Condensadores de agua

Dentro de los condensadores cuyo medio de enfriamiento es el agua podemos destacar los siguientes tipos:

- Condensadores de inmersión.
- Condensadores de doble tubo.
- Condensadores multitubulares.

En este apartado describiremos también las torres de refrigeración, que aunque no son condensadores propiamente dichos, se utilizan en circuitos en los que existen condensadores de agua con el fin de enfriar esta agua antes de volver a ser utilizada.

A. Condensadores de inmersión

Los condensadores de inmersión están formados por un tubo en forma de serpentín por el que circula el agua de refrigeración que va colocado en el interior de un recipiente que hace las veces de condensador y recipiente de líquido.

Estos condensadores pueden adoptar diversas formas constructivas y sólo se emplean en máquinas de poca potencia, hasta unos **4.000 vatios**. En la figura 33 aparece una imagen del serpentín por el que circula el agua.



Fig. 33: Serpentín de un condensador de agua de inmersión.

Un caso particular de este tipo de condensadores es el mostrado en la figura 34 cuya función es aprovechar el calor del condensador para calentar agua, y que suelen colocarse entre el compresor y el condensador de aire. En este caso, el recipiente del condensador de inmersión almacena el agua y la calienta con el refrigerante que circula a una temperatura elevada por el interior del tubo de cobre procedente del compresor. De este modo, el refrigerante disminuye su temperatura y pasa posteriormente al condensador de aire.



Fig. 34: Condensador de agua de inmersión.



B. Condensadores de doble tubo

Los condensadores de doble tubo se utilizan en sistemas de pequeña potencia, hasta unos **8.000 vatios**, como por ejemplo en enfriadoras de agua compactas y en sistemas de climatización refrigerados por agua. Están formados por dos tubos concéntricos por los que circula el agua y el refrigerante a **contracorriente**.

En la figura 35 aparece uno de estos condensadores de la firma Doucette y la forma del tubo interior para lograr un mejor intercambio de calor.



Fig. 35: Condensador de agua de doble tubo.

C. Condensadores multitubulares

Los condensadores multitubulares son similares a los evaporadores para líquidos. En este caso están formados por una carcasa que tiene en su interior una serie de tubos paralelos colocados longitudinalmente. Por el interior de los tubos circula el agua de refrigeración, y por el exterior se produce la condensación del refrigerante, siendo utilizada la carcasa como recipiente de este líquido refrigerante.

En la figura 36 se muestra un condensador de este tipo en el cual puedes ver cómo circularían los flujos de los líquidos por el interior del mismo.

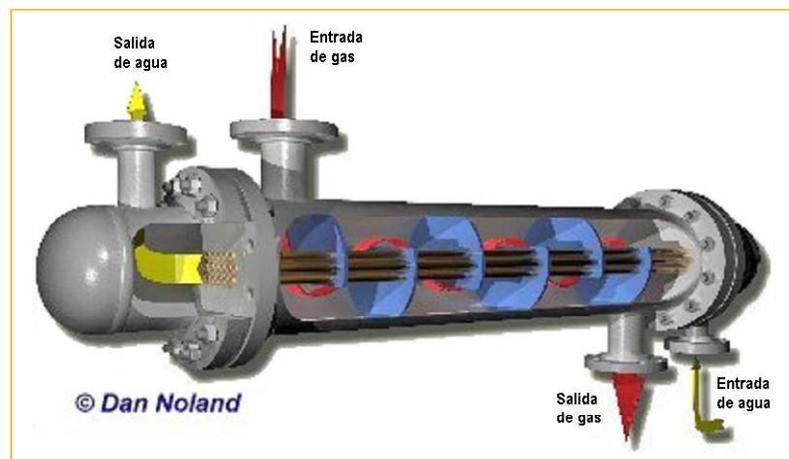


Fig. 36: Circulación a contracorriente en el interior de un condensador multitubular.

La figura anterior nos mostraba un condensador en el que la entrada del agua de refrigeración se realiza por un extremo mientras que la salida se efectúa por el extremo contrario. También existen equipos en los que la entrada y la salida del agua se realiza por el mismo extremo, como el que se muestra en la figura siguiente que dispone de salida y entrada de agua por la parte frontal.

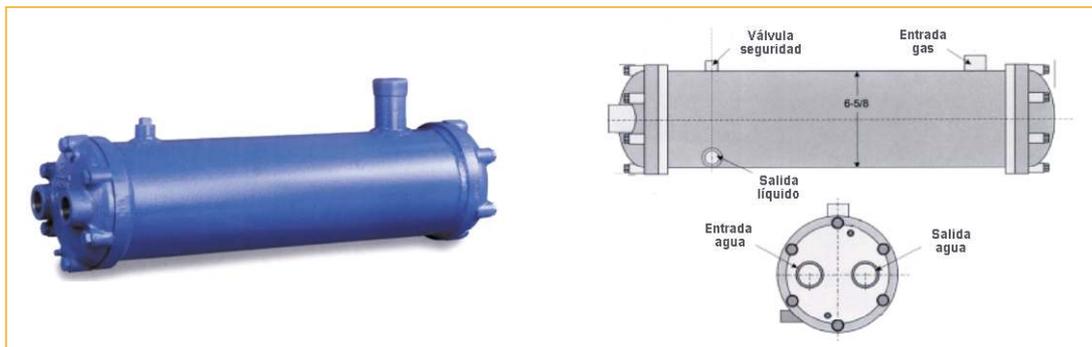


Fig. 37: Condensador multitubular con entrada y salida frontal de agua (Doucette Industries).

Fíjate que en los condensadores multitubulares la entrada de refrigerante se produce por la parte superior, mientras que la salida se realiza por la parte inferior, para asegurarse que sólo enviamos líquido a la válvula de expansión. En la figura 38 puede apreciarse la válvula de salida para el refrigerante líquido.



Fig. 38: Válvula de salida para refrigerante líquido.

Para conseguir una mejor transferencia de calor los tubos pueden ser aleteados con distintas formas constructivas. En la figura 39 se muestran algunos de estos tubos.

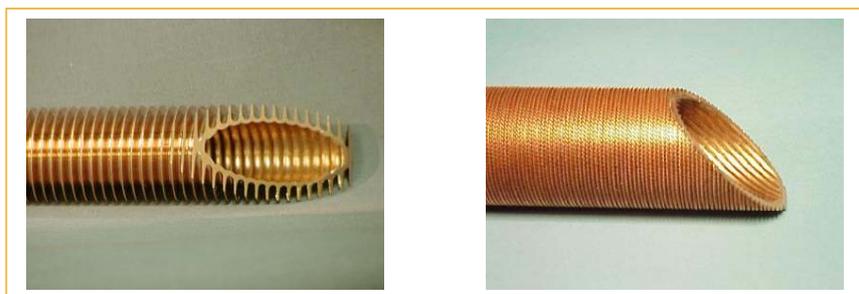


Fig. 39: Detalles de distintos tubos de condensadores de agua (Wolverine Tube).



Como hemos visto, los tubos del condensador están dispuestos de forma paralela y colocados longitudinalmente con relación a la carcasa del equipo. Están sujetos mediante unas tapas laterales y pueden disponer de placas intermedias en caso de que los tubos sean muy largos. En la figura 40 aparece un condensador multitubular en el que se puede apreciar este tipo de montaje. En algunos casos los tubos se montan en U desapareciendo una de las tapas del condensador, tal como se muestra en la figura 41.



Fig. 40: Montaje de tubos.



Fig. 41: Condensador de tubos en U.

En este tipo de condensadores los tubos de agua pueden limpiarse retirando las tapas y utilizando escobillas sin acceder al circuito del refrigerante.



Para cualquier condensador de agua, la temperatura de condensación es aproximadamente igual a la temperatura de salida del agua del condensador incrementada en unos 6 °C:

$$T_{\text{condensación}} (\text{°C}) = T_{\text{salida agua}} + 6 \text{ °C}$$

D. Torres de refrigeración

Las torres de refrigeración permiten eliminar el calor del agua procedente del condensador utilizando el **aire**. Estas torres suelen enfriar esta agua hasta unos 4 °C por encima de la temperatura del bulbo húmedo del aire.

En la siguiente figura podemos ver un circuito con una torre de refrigeración que recibe el agua de un condensador y lo enfría mediante aire antes de retornar al mismo condensador. Junto al circuito se muestra el esquema de una torre de refrigeración.

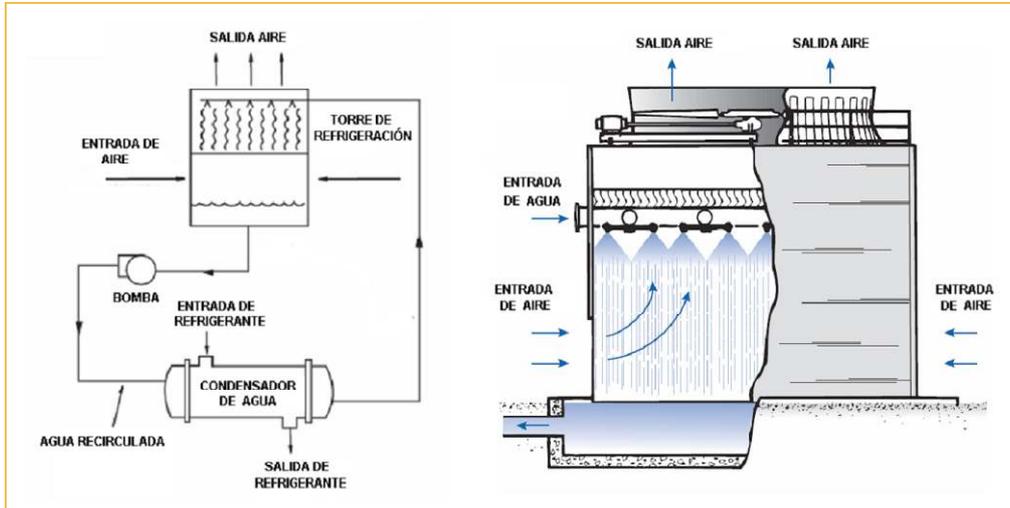


Fig. 42: Circuito con torre de refrigeración y representación esquemática de la misma (Marley).

Para describir el funcionamiento de estos equipos nos vamos a fijar en la figura 43 donde aparece una torre de refrigeración de tiro forzado MARLEY en la que se pueden ver las distintas partes que la forman. Se trata de un tipo de torres que se utiliza mucho en **sistemas de aire acondicionado**. Como vemos en la figura, el agua caliente procedente del condensador entra por la parte superior de la torre y por medio de unos **pulverizadores** se distribuye sobre un **materias de relleno**, que puede tener distintas arquitecturas y cuya misión es aumentar el tiempo de contacto entre el aire y el agua.

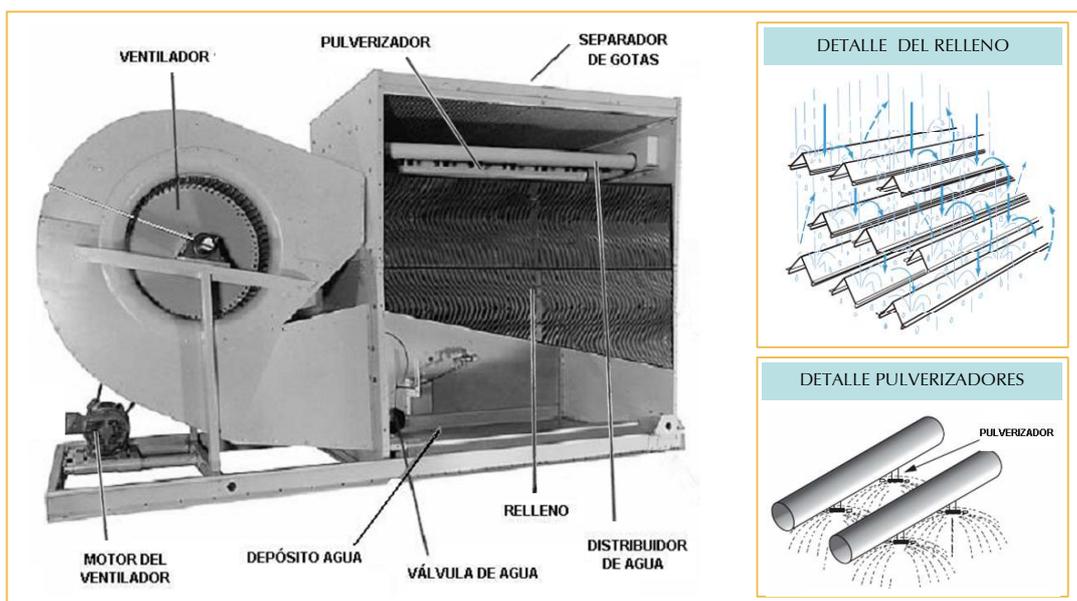


Fig. 43: Elementos de la torre de refrigeración (Marley).



En los detalles de la figura anterior se aprecia cómo se distribuye el agua mediante los pulverizadores y cómo circula por el material de relleno de la torre una vez se ha pulverizado. El agua pulverizada baña la superficie del material de relleno y se enfría evaporándose parcialmente al ponerse en contacto con el aire impulsado por el ventilador que circula a contracorriente. Finalmente, el agua enfriada se recoge en el depósito situado en la parte inferior para enviarla de nuevo al condensador. Una válvula permite mantener el nivel del agua a medida que se va evaporando.

A continuación se puede ver cómo son los pulverizadores (fig. 44) y también se muestra un sistema electrónico para control del nivel de agua (fig. 45) (SPX Cooling Technologies).



Fig. 44: Pulverizadores de agua.

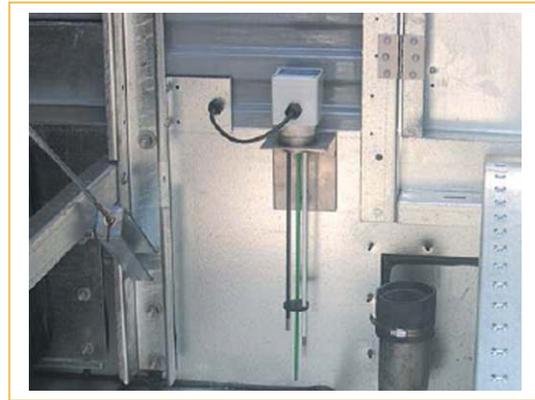


Fig. 45: Sistema electrónico de control de nivel.

Los materiales de relleno pueden adoptar diversas formas como indicamos a continuación (SPX Cooling Technologies).

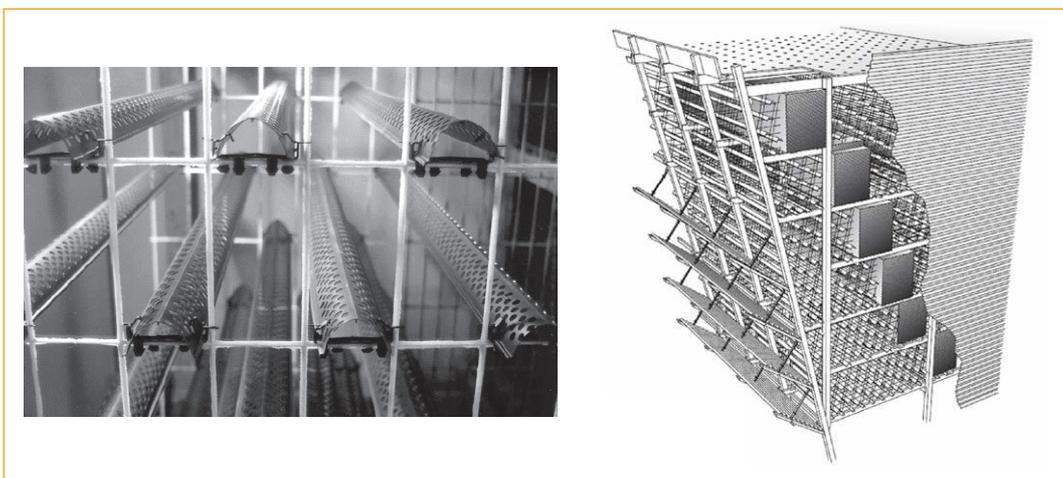


Fig. 46: Disposición de los materiales de relleno de una torre (SPX Cooling Technologies).

Uno de los inconvenientes de este tipo de instalaciones es que el agua debe ser tratada para reducir los efectos que provocaría sobre los tubos del condensador al aumentar el contenido en sales minerales tras la evaporación. Para ello se coloca un depósito en la tubería de entrada del agua, que sustituye a la que se ha evaporado, con los productos químicos adecuados.

En las imágenes siguientes aparece el sistema de entrada de agua a la torre y la distribución de la misma por los aspersores (Baltimore Air Company)



Fig. 47: Sistema de entrada de agua a la torre.

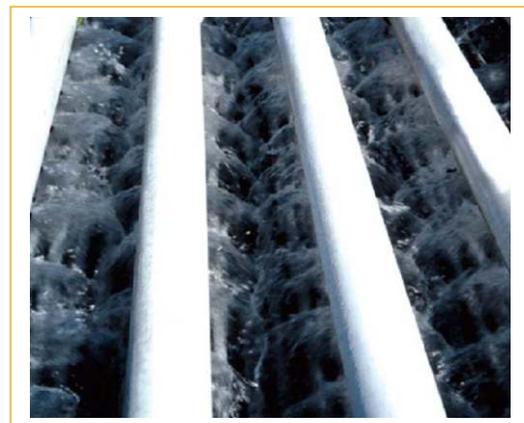


Fig. 48: Distribución del agua en la torre.

Finalmente, en la siguiente imagen se muestra como ejemplo una torre de refrigeración en una instalación.



Fig. 49: Instalación de una torre de refrigeración.



Existe otra versión de este tipo de torres que tienen un circuito cerrado para el agua del condensador que se enfría en un circuito cerrado similar al condensador y que se encuentra situado en el interior de la torre. En este caso sólo se necesita tratar el agua destinada a enfriar el agua del condensador. Son equipos más voluminosos y con peor rendimiento que las torres de tipo abierto.

Las torres de refrigeración deben incorporar una purga para el agua en continuo reduciendo así la concentración de minerales debido a la evaporación.



Dibuja esquemáticamente una torre de refrigeración y señala las partes que constituyen dicho equipo.

o Condensadores evaporativos

Los condensadores evaporativos son equipos similares a las torres de refrigeración, pero en este caso el condensador se encuentra dentro de la propia torre y el agua se utiliza para enfriar el refrigerante procedente del compresor.

En las torres de refrigeración el condensador de agua se encuentra alejado de la torre y es necesario bombear el agua hasta la torre, mientras que en este caso el haz de tubos del condensador se encuentra situado en el interior de la torre y bombeamos el refrigerante desde el compresor hasta el condensador evaporativo.

Este tipo de condensadores son de tamaño más reducido que las torres de refrigeración y presentan la ventaja de que se pueden instalar en la propia sala de máquinas evacuando el aire hacia el exterior por medio de conductos.

Estos equipos deben instalarse cerca del compresor debido a la dificultad que supondría bombear el refrigerante a distancias grandes. En la figura 50 aparece dibujado esquemáticamente una instalación con este tipo de condensadores.

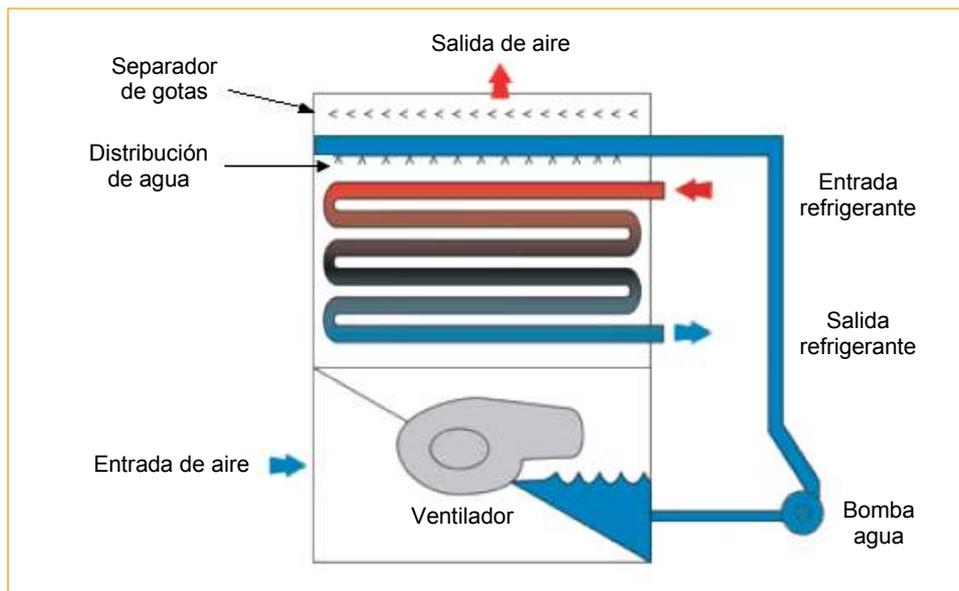


Fig. 50: Representación de la instalación de un condensador evaporativo.

El sistema está formado por un conjunto pulverizador de agua, similar al empleado en las torres de refrigeración, que hace pasar el agua sobre el haz de tubos del condensador; el ventilador hace circular el aire a contracorriente y en la parte superior tiene instalado un separador de gotas para impedir que éstas salgan al exterior.



Presentan el inconveniente de que, al evaporarse parcialmente el agua sobre los tubos del condensador, termina formándose sobre ellos sarro, que disminuye la capacidad de intercambio térmico, e incluso lodos corrosivos que pueden terminar provocando fugas. Además de los inconvenientes citados pueden desarrollarse organismos vegetales como consecuencia del alto grado de humedad y de la temperatura del agua.

Al igual que las torres de refrigeración deben incorporar una **purga** para el agua en continuo, reduciendo así la concentración de minerales debido a la evaporación.

Existen numerosas variantes, como por ejemplo la que aparece a continuación (fig. 51), que es una mezcla entre condensador evaporativo y torre de refrigeración.

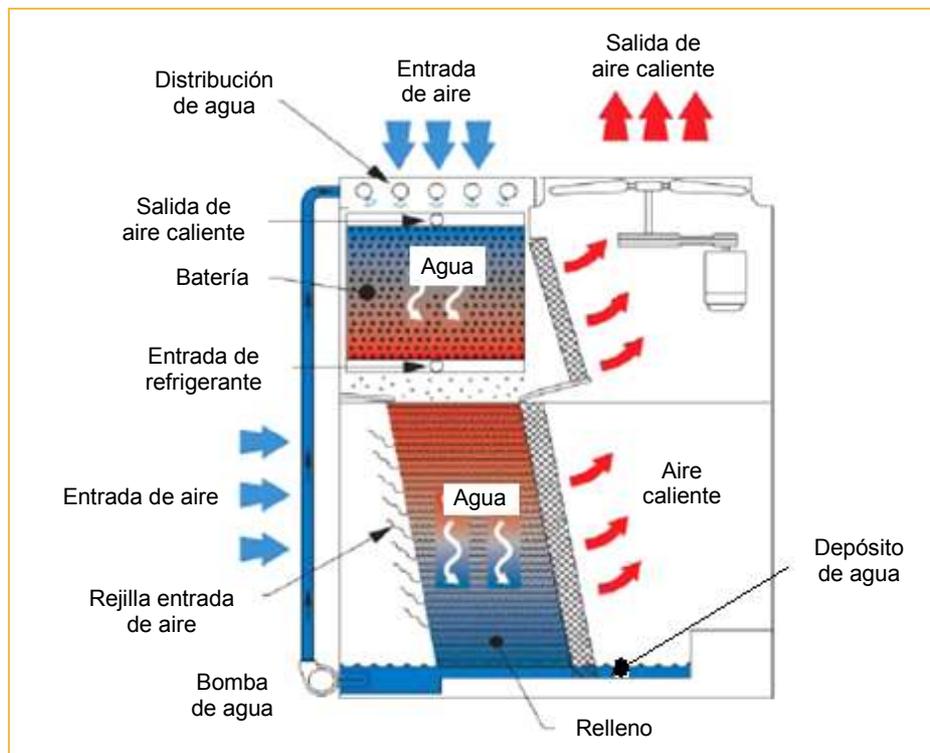


Fig. 51: Variante de un condensador evaporativo (Baltimore Air Coil).



Los condensadores evaporativos son los equipos de condensación que consiguen menores temperaturas de condensación, ya que pueden alcanzar valores de unos 10 a 12 °C superior a la temperatura ambiente.

En las imágenes siguientes aparece un condensador evaporativo de la firma RECOLD y una instalación con varios condensadores.



Fig. 52: Instalaciones típicas de condensadores evaporativos.

9 actividad

Indica la diferencia principal que existe entre una torre de refrigeración y un condensador evaporativo.



Presión de condensación

Como ya hemos visto en la unidad 2 (Diagrama Presión-Entalpía), un aumento de la presión de condensación repercute negativamente en el trabajo del compresor, ya que necesita consumir más energía, tal como recordamos en el ciclo adjunto.

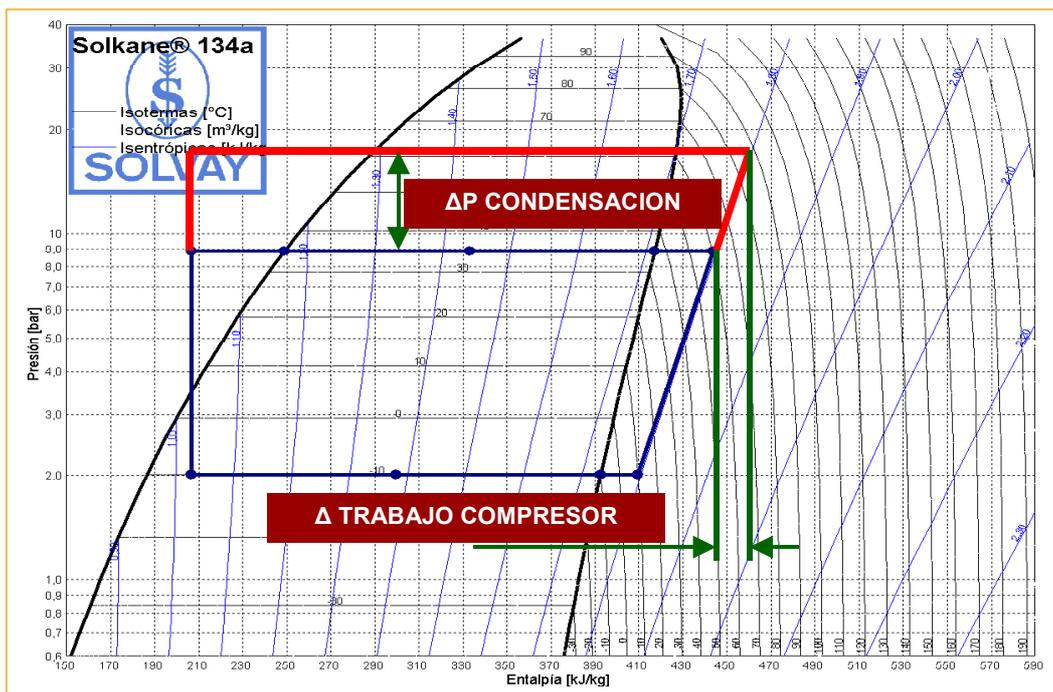


Fig. 53: Variación de la presión de condensación en un ciclo frigorífico.

Los parámetros que influyen en la presión de condensación son:

- La **temperatura del medio de enfriamiento**: la presión de condensación aumenta con la temperatura ambiente en un condensador refrigerado por aire y con la temperatura del agua en un condensador de agua.
- El **caudal del medio de enfriamiento (aire o agua)**: a menor caudal, para unas condiciones dadas, mayor será la presión de condensación.
- El **estado de limpieza del condensador**: en un condensador sucio se dificulta el intercambio de calor aumentando la presión de condensación.

En la figura 54 vemos la variación de la presión de condensación en una máquina a la que se le provocó una disminución en el caudal del medio de enfriamiento, tomada con un instrumento de medida TESTO.

Como recordarás, el COP (coeficiente de energía energética) es la *relación entre el frío que produce la máquina y la energía consumida para ello*. Es decir, cuanto más elevado sea el COP, menos energía consume el compresor.

Como el aumento de la presión de condensación es perjudicial para el COP de la máquina debemos controlarla. Para ello podemos hacer lo siguiente:

- En **condensadores de aire** se regula la velocidad de giro de los ventiladores o la puesta en marcha de los mismos empleando presostatos.
- En **condensadores de agua** se regula el caudal de agua empleando válvulas presostáticas de agua, en las que al aumentar la presión aumenta el caudal de agua.

Estos métodos de control serán comentados en otras unidades. No obstante, en las siguientes imágenes se muestran a modo de ejemplo un sistema de control para condensadores Friga-Bohn (fig. 55) y una válvula presostática de agua (fig. 56).

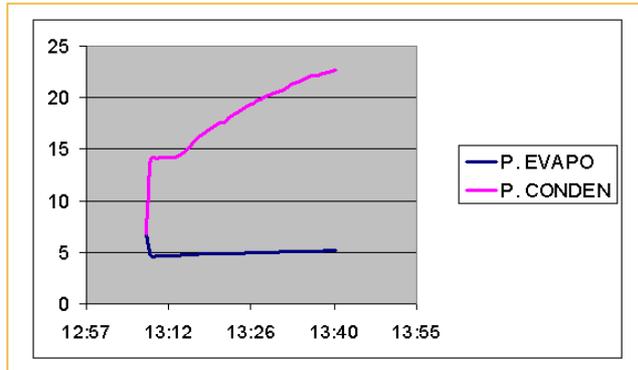


Fig. 54: Variación de la presión de condensación debido a la disminución del caudal del medio de enfriamiento.



Fig. 55: Sistema de control en condensadores de aire Friga-Bohn.



Fig. 56: Válvula presostática en condensador de agua.



Legionella

Aunque no es objeto de esta unidad el estudio de la legionella, sí que comentaremos algunos aspectos que afectan a los condensadores y que debes conocer.

La Legionella es una bacteria ambiental que es capaz de sobrevivir en un amplio intervalo de condiciones físico-químicas. La multiplicación de esta bacteria se produce a temperaturas comprendidas entre 20 °C y 45 °C, y se destruye a 70 °C. Su temperatura óptima de crecimiento es 35-37 °C.

Su nicho ecológico natural son las aguas superficiales, como lagos, ríos, estanques, formando parte de su flora bacteriana.

La **legionelosis** es una enfermedad bacteriana de origen ambiental que suele presentar dos formas clínicas diferenciadas: la *infección pulmonar* o "*Enfermedad del Legionario*", caracterizada por una neumonía con fiebre alta, y la forma no neumónica, conocida como "*Fiebre de Pontiac*", que se manifiesta como un síndrome febril agudo y de pronóstico leve.

El **Real Decreto 865/2003**, en su artículo 2 (Ámbito de aplicación), divide las instalaciones de riesgo en dos grupos según su mayor o menor probabilidad de proliferación y dispersión de Legionella:

■ Instalaciones con mayor probabilidad de proliferación y dispersión de Legionella:

- Torres de refrigeración y condensadores evaporativos.
- Sistemas de agua caliente sanitaria con acumulador y circuito de retorno.
- Sistemas de agua caliente climatizada con agitación constante y recirculación a través de chorros de alta velocidad o la inyección de aire (spas, jakuzzis, piscinas, vasos o bañeras terapéuticas, bañeras de hidromasaje, tratamientos con chorros a presión, otras).
- Centrales humidificadoras industriales.

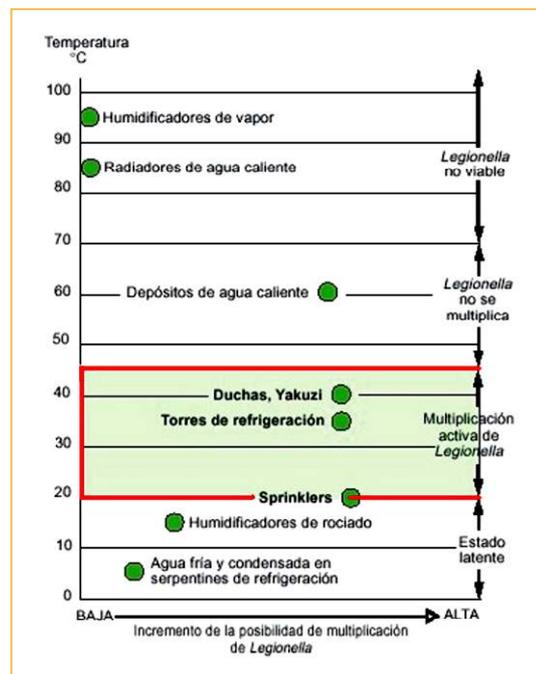


Fig. 57: Crecimiento de la Legionella.

■ **Instalaciones con menor probabilidad de proliferación y dispersión de Legionella:**

- Sistemas de instalación interior de agua fría de consumo humano (tuberías, depósitos, aljibes), cisternas o depósitos móviles y agua caliente sanitaria sin circuito de retorno.
- Equipos de enfriamiento evaporativo que pulvericen agua, no incluidos en el apartado anterior.
- Humidificadores.
- Fuentes ornamentales.
- Sistemas de riego por aspersión en el medio urbano.
- Sistemas de agua contra incendios.
- Elementos de refrigeración por aerosolización, al aire libre.
- Otros aparatos que acumulen agua y puedan producir aerosoles.

En el mes de Diciembre del 2005, se publicó la nueva norma **UNE 100030: 2005 IN "Guía para la prevención y control de la proliferación y diseminación de la legionella en instalaciones"** (que sustituye a la norma 100030:2001 IN), y que básicamente es una adaptación del Real Decreto mencionado anteriormente.

En esta norma UNE, en el **apartado 6.2.3 "Torres de refrigeración y condensadores evaporativos"**, aparece una tabla de frecuencia de las actuaciones que se deben realizar en torres de refrigeración y condensadores evaporativos, que se indica a continuación:

	REVISIÓN	LIMPIEZA	DESINFECCIÓN
Condensador	Semestral	Anual	Anual
Relleno	Semestral	Semestral	Semestral
Bandeja	Mensual	Mensual	Mensual
Separador de gotas	Anual	Anual	Anual

Tabla 2: Frecuencia de las actuaciones de mantenimiento en torres de refrigeración y condensadores evaporativos.

Asimismo, el R.D. 865/2003 establece en su **artículo 5** el "Registro de operaciones de mantenimiento" tal como se indica a continuación:



Artículo 5 del R.D. 865/2003: Registro de operaciones de mantenimiento

Los titulares de las instalaciones recogidas en el artículo 2 deberán disponer de un registro de mantenimiento. El titular de la instalación podrá delegar la gestión de este registro en personas físicas o jurídicas designadas al efecto, que realizarán las siguientes anotaciones:

- a. Fecha de realización de las tareas de revisión, limpieza y desinfección general, protocolo seguido, productos utilizados, dosis y tiempo de actuación. Cuando sean efectuadas por una empresa contratada, ésta extenderá un certificado, según el modelo que figura en el anexo 2.*
- b. Fecha de realización de cualquier otra operación de mantenimiento (limpiezas parciales, reparaciones, verificaciones, engrases) y especificación de éstas, así como cualquier tipo de incidencia y medidas adoptadas.*
- c. Fecha y resultados analíticos de los diferentes análisis del agua.*
- d. Firma del responsable técnico de las tareas realizadas y del responsable de la instalación.*

El registro de mantenimiento estará siempre a disposición de las autoridades sanitarias responsables de la inspección de las instalaciones.

Intercambiadores de placas

En la actualidad se ha producido un importante avance en el desarrollo de los intercambiadores de placas de forma que se utilizan cada vez más en la industria frigorífica, ya sea como evaporadores, condensadores o intercambiadores de calor en sistemas de recuperación de energía, presentando importantes ventajas respecto a los intercambiadores tradicionales. Comentaremos aquí brevemente algunas de sus características.

Los intercambiadores de placas presentan la ventaja respecto a los intercambiadores tradicionales de un mayor rendimiento, bajo coste de instalación y mantenimiento y de ocupar menor volumen, debido a la elevada tasa de transferencia térmica.

En la figura podemos ver un intercambiador de placas y un intercambiador multitubular equivalente.



Fig. 58: Intercambiadores de calor.

Los intercambiadores de placas constan básicamente de dos partes:

- El **paquete de placas** que está formado por un número de placas corrugadas que constituyen la superficie de transferencia térmica.
- El **bastidor o marco** cuya función es retener y dar forma al intercambiador. El bastidor está constituido por diferentes elementos como pueden ser una placa fija y otra móvil a ambos extremos, una barra de carga, una columna, una barra guía y los tornillos de apriete.

En la figura 59 aparece un intercambiador de placas típico junto al despiece de todas las partes que lo componen.

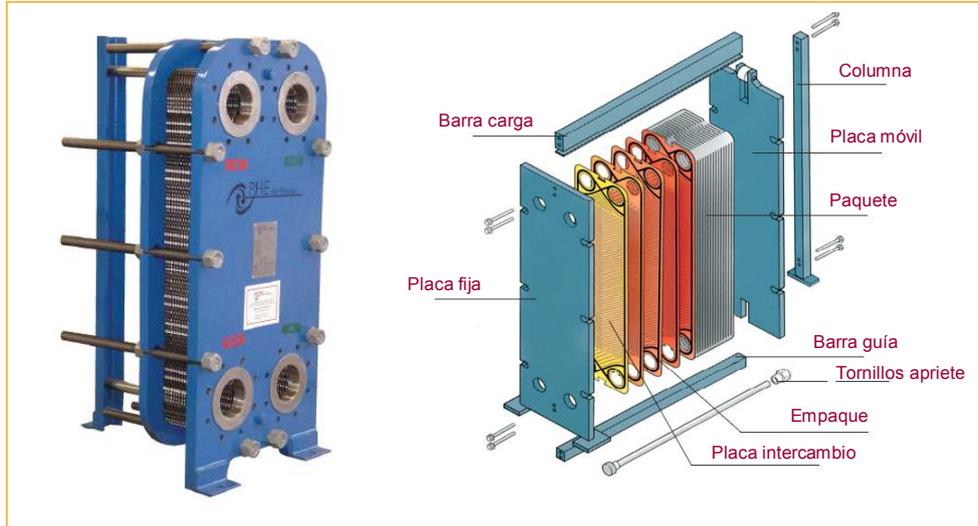


Fig. 59: Partes de un intercambiador de placas (PHE).

Los fluidos entran al intercambiador por medio de las conexiones situadas generalmente sobre la placa fija, formando a través del paquete de placas dos canales de flujo independiente y circulando a contracorriente, tal como aparece en la figura 60.

Las placas tienen distintas corrugaciones según la aplicación y tienen dos funciones básicas: una **mecánica**, para formar un conjunto rígido, y la otra **térmica**, al conseguir una elevada transferencia de calor al circular los flujos por los canales que se forman entre las placas. En aplicaciones de refrigeración suelen emplearse intercambiadores semisoldados (fig. 61), circulando el refrigerante por el canal cerrado por soldadura, al considerarlo un fluido agresivo.

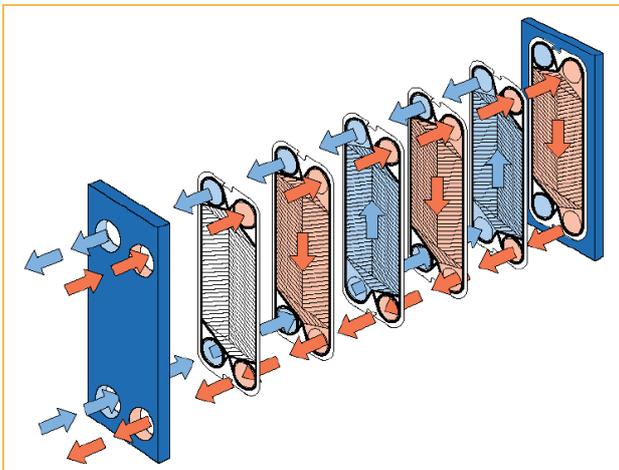


Fig. 60: Circulación de líquido en contracorriente.

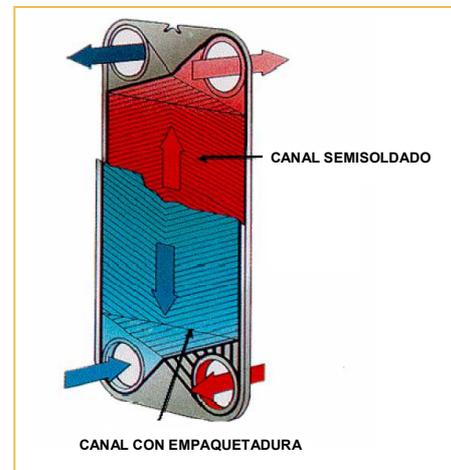


Fig. 61: Placas semisoldadas.

Estos equipos, además de emplearse para enfriar fluidos se utilizan también en **sistemas de recuperación de calor**. En estos casos, el refrigerante, durante el proceso de condensación, cede una cantidad de calor importante al medio de enfriamiento –aire y/o agua–, que generalmente se desaprovecha. Así, el refrigerante tras pasar por el intercambiador de calor continúa hacia el condensador, pero ya habrá cedido una parte de la energía que tenía y que ahora se ha aprovechado.

Existen numerosas instalaciones en las que utilizan un sistema de recuperación de calor, como por ejemplo en los **tanques de enfriamiento de leche**, donde el calor del refrigerante se utiliza para producir agua caliente sanitaria (ACS). En la siguiente imagen aparece este sistema diseñado por Alfa Laval.

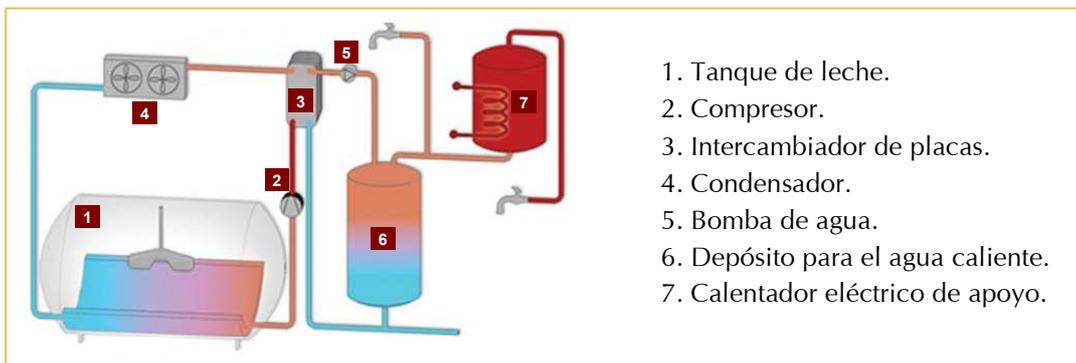


Fig. 62: Circuito de refrigeración con sistema de recuperación de calor (Alfa Laval).

En instalaciones grandes, como por ejemplo **hipermercados y hoteles**, también se emplea el calor contenido en el refrigerante tras la compresión para calentar agua, que posteriormente se almacena en unos termos, disponiendo de esa forma de agua caliente sanitaria (ACS).



Fig. 63: Intercambiadores de calor a la salida del compresor.



Fig. 64: Intercambiador de calor entre el agua de uso y la calentada a la salida del compresor.



Resumen

Evaporador	Define el evaporador como un intercambiador de calor en el cual el refrigerante líquido se vaporiza por absorción del calor procedente del medio a enfriar.
Condensador	Intercambiador de calor en el que el refrigerante en fase de vapor se licua por cesión de calor al medio de enfriamiento.
Intercambiador de placas	Intercambiador de calor destinado a absorber o ceder calor a vapores o líquidos, respectivamente.
Intercambiador multitubular	Condensador o evaporador destinado a intercambiar calor con un vapor o un líquido, constituido por un haz de tubos y una carcasa, llamada virola, en la que se condensa el refrigerante o por la que circula el líquido a enfriar.
Salto de temperatura	Diferencia entre la temperatura del medio a enfriar y la de evaporación o entre la de condensación y la del medio de enfriamiento.
Escarcha	Formación de hielo sobre la superficie del evaporador como consecuencia de una temperatura de evaporación negativa y de la presencia de humedad en el aire. Obviamente no se forma en enfriadoras de agua.
Desescarche por resistencia	La eliminación de escarcha se logra aportando calor con unas resistencias eléctricas colocadas sobre la superficie del evaporador.

Desescarche por gas caliente

Eliminación de la escarcha utilizando los gases de descarga del compresor, derivando una parte de ellos a la entrada del evaporador que se quiere desescarchar.

Desescarche por inversión de ciclo

Desescarche provocado invirtiendo el ciclo de la máquina, descargando los gases sobre el evaporador, donde se condensan, y expansionandolos en el condensador donde se enfrían.

Torre de refrigeración

Dispositivo utilizado para enfriar el agua procedente de un condensador por medio de aire.

Condensador evaporativo

Condensador que enfría el refrigerante con agua y aire.

Relación entre la temperatura del agua y la de condensación

Para cualquier condensador de agua, la temperatura de condensación es aproximadamente igual a la temperatura de salida del agua del condensador incrementada en unos 6 °C:

$$T_{\text{condensación}} (\text{°C}) = T_{\text{salida agua}} + 6 \text{ °C}$$



Autoevaluación

1. Indica si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:

	V	F
a. El salto de temperatura de los evaporadores influye en la humedad relativa del espacio refrigerado.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. En un evaporador para líquidos el refrigerante y el líquido a enfriar circulan en el mismo sentido.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. La presión de condensación disminuye al aumentar la temperatura ambiente.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Si aumenta la presión de condensación aumenta el trabajo del compresor.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. La formación de escarcha sólo se produce en las cámaras de temperatura negativa.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. Para realizar el desescarche por inversión de ciclo es necesario una válvula de cuatro vías.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g. Los intercambiadores de placas a igualdad de potencia son más grandes que los intercambiadores multitubulares.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h. La legionella se produce en condensadores de aire.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i. La presión de condensación aumenta si disminuye el caudal del medio de enfriamiento.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
j. El desescarche en cámaras de temperatura positiva puede realizarse dejando en marcha los ventiladores del evaporador con el compresor parado.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Señala los pasos que se deben seguir para efectuar un desescarche ideal.

3. Dibuja un circuito para el aprovechamiento de la energía del condensador para calentar agua.

4. Dibuja un esquema para el desescarche por inversión de ciclo.



Respuestas Actividades

1. De los dos evaporadores mostrados en las imágenes, el más indicado es el que tiene mayor distancia entre aletas. Si la distancia entre aletas es muy pequeña, la formación de escarcha podría impedir la circulación del flujo de aire.
2. Si la velocidad de giro de los ventiladores aumenta, el caudal de aire aumentará y por tanto aumentará la capacidad de evacuar el calor del refrigerante.

Si la cámara frigorífica donde se va a instalar el evaporador modelo 342 tiene una superficie de 6 m^2 , sí es posible instalar dicho evaporador, ya que la superficie que aparece en el catálogo (160 m^2) hace referencia a la superficie de intercambio de calor formada por la superficie primaria (tubos) más la secundaria (aletas), y no al tamaño del evaporador, que es mucho menor.

3. Al aumentar el salto de temperatura, disminuye la humedad relativa (tal como se puede comprobar en la gráfica de la figura 8 de la unidad), pero el evaporador que instalamos es más pequeño, ya que la temperatura de evaporación resultará ser más baja, y por lo tanto la capacidad de enfriamiento con esa temperatura de evaporación tan baja se puede obtener con un evaporador de menor tamaño (menor potencia).

Podemos comparar la situación con un radiador para la calefacción. El tamaño del radiador es muy pequeño comparado con el tamaño de la habitación porque el agua pasa por su interior a una temperatura muy elevada, obteniendo un salto de temperatura muy alto. Si la temperatura del agua que circula por el interior del radiador fuese más baja, el tamaño del radiador aumentaría y, por tanto, también lo haría su potencia.

4. Cuando en un evaporador la distribución de escarcha no es homogénea y en los tramos finales de tubería no aparece escarcha, puede deberse a que existe un recalentamiento excesivo.

Si la temperatura de evaporación fuese, por ejemplo, $-5 \text{ }^\circ\text{C}$, y el recalentamiento dentro del evaporador alcanzase un valor de 10 K , la temperatura en los tramos finales del evaporador sería $-5 + 10 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$, con lo que no existiría escarcha en esos tramos.

5. Los datos mostrados en el enunciado, correspondientes al catálogo de FRIMETAL, indican que el evaporador lleva resistencia de desescarche en la bandeja de desagüe y sobre la batería (tubos y aletas).

La bandeja de desagüe debe incorporar resistencia de desescarche, ya que de lo contrario se formaría escarcha sobre ella si la temperatura es lo suficientemente baja, e impediría, si no se elimina la escarcha, que el agua procedente del desescarche del evaporador circulase hacia el conducto de desagüe.

6. El serpentín con tubo de cobre tiene la misma función que la resistencia de la bandeja comentada en la actividad anterior.

La toma en forma de T antes del distribuidor de líquido sirve para conectar la conexión de gas caliente procedente de la salida del compresor utilizada para realizar el desescarche.

7. Para calcular la capacidad del condensador aplicaremos la fórmula que nos suministra el fabricante:

$$Q_n = Q_{ev} \cdot \frac{15}{\Delta t} \cdot F_c \cdot F_r \cdot F_a$$

La capacidad del evaporador (Q_{ev}) la obtenemos directamente del enunciado, puesto que nos dice que la potencia del evaporador es de **2 kW**.

La variación de temperatura (Δt) se obtiene de la diferencia entre la temperatura de condensación (T_c) y la temperatura ambiente (T_{am}):

$$\Delta t = T_c - T_{am} = 40 - 25 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

El factor de compresión (F_c) lo sacamos del gráfico, en función de la temperatura de evaporación (T_{ev}), que es $-10 \text{ }^\circ\text{C}$, y la de condensación (T_c), que es $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Con estos datos vemos que el valor de F_c es aproximadamente **1,35**.

El factor refrigerante (F_r) lo obtenemos de una de las tablas en función del tipo de refrigerante. Para el R-22 le corresponde un valor de **1,04**.

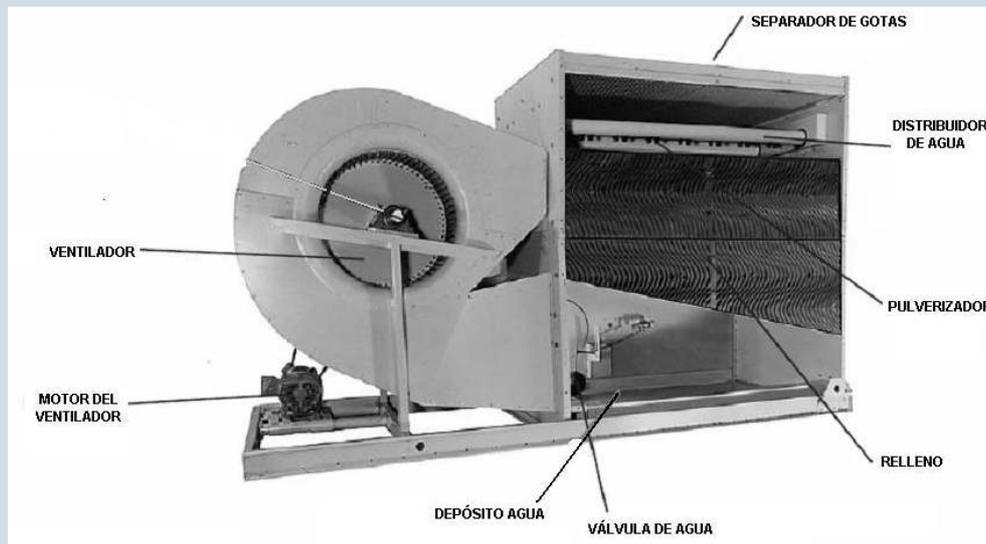
Finalmente, el factor de altitud (F_a) lo obtenemos de la otra tabla. Como el condensador se encuentra a nivel del mar, la altitud es 0 m, por lo que el F_a es **1**.



Con todos estos datos ya podemos obtener la capacidad del condensador:

$$Q_n = 2 \cdot \frac{15}{15} \cdot 1,35 \cdot 1,04 \cdot 1 = 2,808 \text{ kW}$$

8. El dibujo esquemático de una torre de refrigeración puede ser el que se muestra a continuación:



9. La diferencia principal entre una torre de refrigeración y un condensador evaporativo es que el condensador evaporativo incorpora en la carcasa la batería de intercambio de calor con el refrigerante, mientras que la torre sólo enfría el agua procedente del condensador.

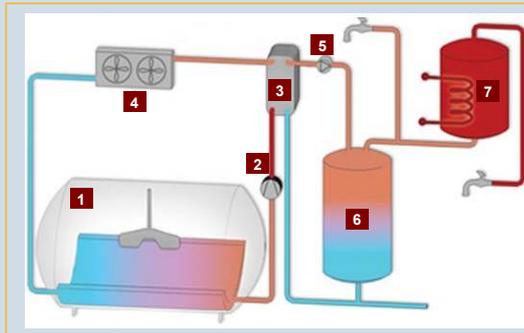
Respuestas Autoevaluación

1. Las respuestas correctas son las siguientes:
 - a. **Verdadera.**
 - b. **Falsa:** en un evaporador para líquidos el refrigerante y el líquido que se quiere refrigerar circulan a contracorriente.
 - c. **Falsa:** la presión de condensación aumenta con la temperatura ambiente en un condensador refrigerado por aire.
 - d. **Verdadera.**
 - e. **Falsa:** la escarcha aparece cuando la temperatura de "evaporación" es negativa.
 - f. **Verdadera.**
 - g. **Falsa:** los intercambiadores de placas tienen la ventaja frente a los multitubulares de que ofrecen un mayor rendimiento ocupando menor volumen, debido a la elevada tasa de transferencia térmica que proporcionan.
 - h. **Falsa:** en los condensadores de aire no se produce la legionella puesto que no utilizan agua, que es el foco propicio para el crecimiento de la bacteria.
 - i. **Verdadera.**
 - j. **Verdadera.**

2. Los pasos necesarios para llevar a cabo un desescarche ideal son:
 1. Parar la inyección de líquido.
 2. Vaciar el evaporador.
 3. Parar los ventiladores.
 4. Realizar el aporte de calor
 5. Fin de desescarche: por tiempo o temperatura.
 6. Retardar la inyección de líquido.
 7. Efectuar el arranque del compresor
 8. Retardar la puesta en marcha de los ventiladores.



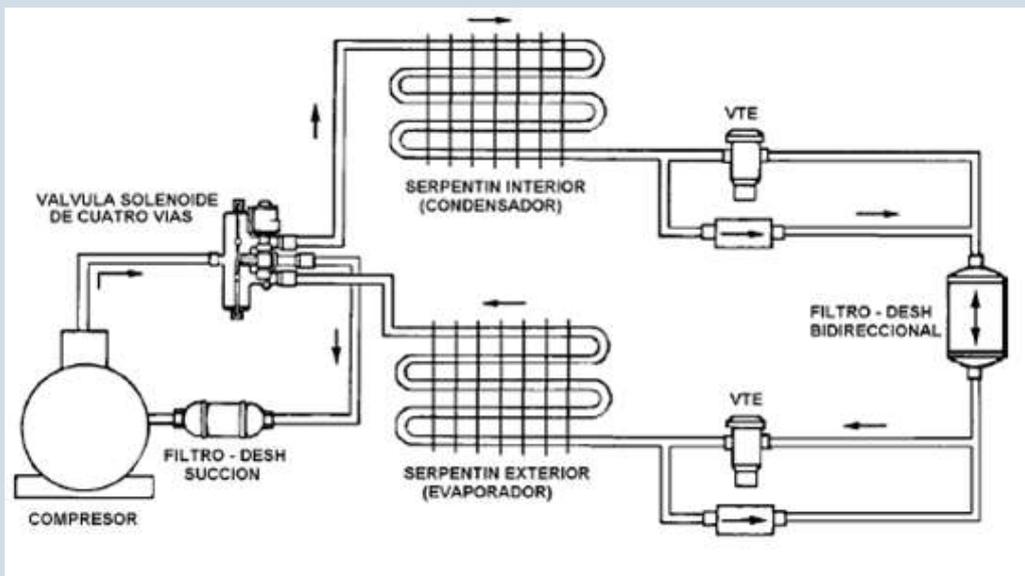
3. El esquema de un circuito para el aprovechamiento de la energía del condensador para calentar agua puede ser como el mostrado a continuación, correspondiente a un tanque de enfriamiento de leche:



1. Tanque de leche.
2. Compresor.
3. Intercambiador de placas.
4. Condensador.
5. Bomba de agua.
6. Depósito para el agua caliente.
7. Calentador eléctrico de apoyo.

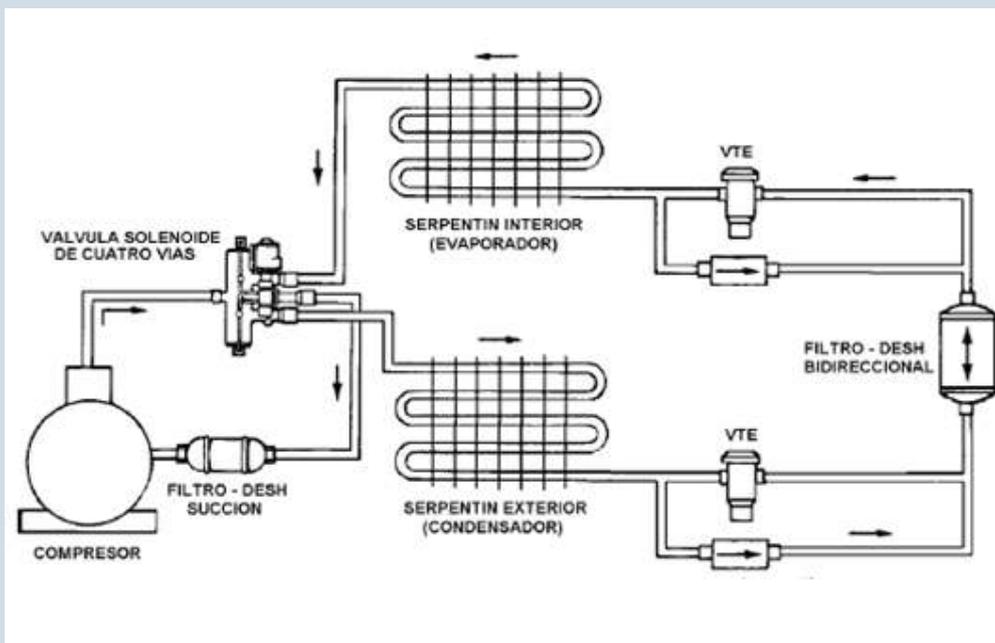
4. Para efectuar el desescarche por inversión de ciclo se necesita incorporar en el circuito de refrigeración una válvula de cuatro vías, así como dos válvulas de expansión y dos antirretornos. En la siguiente figura se muestra cómo sería el montaje del circuito funcionando en la operación de desescarche:

CIRCUITO PARA FUNCIONAMIENTO COMO DESESCARCHE



El mismo circuito pero esta vez funcionando como refrigeración sería como el mostrado a continuación:

CIRCUITO PARA FUNCIONAMIENTO COMO REFRIGERACIÓN



Técnico en Montaje y Mantenimiento de Instalaciones de Frío, Climatización y Producción de Calor

materiales didácticos de aula



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo



GOBIERNO DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS
CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN Y CIENCIA



FORMACIÓN PROFESIONAL
Principado de Asturias