

# INDICE

## UNIDAD DIDÁCTICA I: CICLOS FRIGORÍFICOS DE COMPRESIÓN MECÁNICA DE VAPOR

**Tema 1:** Producción de frío

**Tema 2:** Ciclos frigoríficos de compresión mecánica simple de vapor

**Tema 3:** Ciclos frigoríficos de compresión mecánica múltiple de vapor

## UNIDAD DIDÁCTICA II: TECNOLOGÍA

**Tema 4:** Fluidos frigoríficos.

**Tema 5:** Elementos fundamentales

**Tema 6:** Accesorios

**Tema 7:** Instrumentación y control

**Tema 8:** Líneas de refrigerante

## UNIDAD DIDÁCTICA III: OTRAS MÁQUINAS FRIGORÍFICAS

**Tema 9:** Máquina de absorción

**Tema 10:** Bomba de calor

**UNIDAD DIDÁCTICA II: Tecnología**

**Tema 5: Elementos fundamentales**

# Índice

<b>1. EVAPORADOR.....</b>	<b>176</b>
1. 1    RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO.....	177
1. 1.1    Inundado o de expansión indirecta.....	177
1. 1.2    Expansión seca o directa.....	178
1. 2    ASPECTOS CONSTRUCTIVOS.....	179
1. 2.1    Evaporador de superficie primaria.....	180
1. 2.2    Evaporador con aletas.....	184
1. 3    FASE DEL MEDIO A ENFRIAR.....	184
1. 3.1    Enfriamiento de sólidos.....	184
1. 3.2    Enfriamiento de gases.....	185
1. 3.3    Enfriamiento de líquidos.....	186
<b>2. CONDENSADOR.....</b>	<b>188</b>
2. 1    ENFRIADOS POR AIRE.....	189
2. 2    ENFRIADOS POR AGUA.....	191
2. 3    EVAPORATIVO.....	192
<b>3. COMPRESOR.....</b>	<b>193</b>
3. 1    COMPRESORES ALTERNATIVOS.....	197
3. 1.1    Características constructivas.....	197
3. 1.2    Ciclo de compresión.....	199
3. 1.3    Parámetros de selección.....	203
3. 1.3.1    Relación de compresión.....	203
3. 1.3.2    Caudal volumétrico.....	205
3. 1.4    Mecanismos de regulación.....	206
3. 2    COMPRESORES ROTATIVOS.....	207
3. 2.1    Tornillo o helicoidal.....	209
3. 2.1.1    Características constructivas.....	209
3. 2.1.2    Ciclo de compresión.....	210
3. 2.1.3    Mecanismos de regulación.....	211
3. 2.2    Paletas.....	213
3. 2.2.1    Características constructivas.....	213

3. 2.2.2	Ciclo de compresión .....	215
3. 2.3	<i>Excéntrica o pala deslizante.</i> .....	216
3. 2.4	<i>Scroll</i> .....	216
3. 2.4.1	Características constructivas .....	216
3. 2.4.2	Ciclo de compresión .....	219
3. 2.4.3	Mecanismos de regulación.....	220
3. 3	COMPRESORES CENTRÍFUGOS. ....	220
<b>4.</b>	<b>VÁLVULA DE LAMINACIÓN. ....</b>	<b>221</b>
4. 1	TUBO CAPILAR.....	223
4. 2	MANUAL.....	225
4. 3	DE EXPANSIÓN .....	226
4. 3.1	<i>Automática o presostática</i> .....	226
4. 3.2	<i>Termostática</i> .....	229
4. 3.2.1	Termostática o con igualación interna de presiones .....	230
4. 3.2.2	Termostática con igualación externa de presiones. ....	233
4. 3.3	<i>Limitadora de presión</i> .....	234
4. 3.4	<i>Termoeléctrica</i> .....	236
4. 3.5	<i>Inyección múltiple - distribuidor de líquido</i> .....	237
4. 4	V. DE FLOTADOR.....	238
4. 4.1	<i>Inyección directa</i> .....	238
4. 4.1.1	V. de flotador de alta presión. ....	238
4. 4.1.2	V. de flotador de baja presión.....	239
<b>5.</b>	<b>CUESTIONES.....</b>	<b>241</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Características de los compresores, en función del sistema de acoplamiento del motor	.. 195
---	--------

## Índice de figuras

Fig. 1. Esquema de evaporador en régimen inundado.....	177
Fig. 2. Esquema de evaporador en régimen seco.....	179
Fig. 3. Esquema de distribuidor.....	180
Fig. 4. Evaporadores de zig-zag plano y oval de trombón.....	180
Fig. 5. Esquema de evaporador de tubo entre chapas.....	181
Fig. 6. Esquema de evaporador de placas.....	182
Fig. 7. Placas y distribuidor del evaporador da placas.....	182
Fig. 8. Fotografía del evaporador de placas.....	183
Fig. 9. Evaporador de placas desmontables para fluidos agresivos.....	188
Fig. 10. Unidad motocondensadora.....	190
Fig. 11. Unidad condensadora remota.....	191
Fig. 12. Compresor alternativo hermético.....	194
Fig. 13. Compresor alternativo.....	197
Fig. 14. Elementos del compresor alternativo.....	197
Fig. 15. Esquema de plato de válvulas.....	198
Fig. 16. Ciclo de compresión: PMS.....	200
Fig. 17. Ciclo de compresión: Reexpansión.....	200
Fig. 18. Ciclo de compresión: admisión.....	201
Fig. 19. Ciclo de compresión: PMI.....	201
Fig. 20. Ciclo de compresión: compresión.....	202
Fig. 21. Ciclo de compresión: impulsión o barrido.....	202
Fig. 22. Ciclo ideal y real del compresor alternativo.....	203
Fig. 23. Curva caudal - relación de compresión en alternativos.....	204
Fig. 24. Rótor del compresor de tornillo.....	209
Fig. 25. Esquema del compresor de tornillo.....	209
Fig. 26. Diagrama P-V en compresores de tornillo.....	210

Fig. 27. Esquema de la válvula corredera en compresores de tornillo .....	212
Fig. 28. Elementos del compresor de paletas .....	213
Fig. 29. Esquema del compresor de paletas múltiples .....	214
Fig. 30. Esquema de funcionamiento del compresor de paletas.....	215
Fig. 31. Diagrama P-V del compresor de paletas .....	215
Fig. 32. Esquema del compresor de excéntrica o pala deslizante.....	216
Fig. 33. Esquema de los elementos del compresor Scroll.....	217
Fig. 34. Esquema de los perfiles de las espirales en un Scroll .....	217
Fig. 35. Compresor Scroll .....	218
Fig. 36. Esquema de funcionamiento del compresor Scroll.....	219
Fig. 37. Alimentación por tubo capilar .....	224
Fig. 38. Válvula manual .....	225
Fig. 39. Válvula presostática .....	226
Fig. 40. Válvula presostática .....	227
Fig. 41. Válvula termostática.....	230
Fig. 42. Válvula termostática.....	231
Fig. 43. Representación de las pérdidas de presión en el evaporador con v. termostática .....	232
Fig. 44. Válvula termostática igualadora externa de presiones. ....	233
Fig. 45. Válvula limitadora de presión.....	235
Fig. 46. Válvula termoeléctrica .....	236
Fig. 47. Válvula termoeléctrica .....	237
Fig. 48. Válvula flotador de alta presión.....	238
Fig. 49. Válvula flotador de baja presión.....	240

# 5

## ELEMENTOS FUNDAMENTALES

### 1. EVAPORADOR

El Reglamento de Seguridad en Plantas e Instalaciones Frigoríficas, en su instrucción MI.IF-001 punto 19, define el evaporador o enfriador, como un intercambiador de calor dispuesto para que un medio, distinto del fluido refrigerante, ceda calor a éste, provocando su vaporización.

Como ya se expuso en capítulos previos, este elemento es la fuente productora de frío, objetivo final y principal de la instalación.

El evaporador es un intercambiador de calor, y como tal, existen tantos tipos como aquellos. El dimensionado a través de la evaluación matemática es poco práctico, y muchas veces imposible, por lo que en la mayoría de los casos, la capacidad debe determinarse por pruebas efectivas sobre cada evaporador.

La problemática de este elemento se centra en:

- La formación de escarcha sobre su superficie en aplicaciones con temperaturas negativas. Dicho hielo dificulta el paso del aire (u otro frigorífero) y disminuye el coeficiente global de transmisión, reduciendo la eficacia del elemento y obligando a incluir los correspondientes dispositivos para realizar tareas de desescarche.
- La presencia de lubricante, arrastrado por el refrigerante desde el compresor, disminuye la eficacia del dispositivo (a consecuencia del papel aislante de la película formada sobre la superficie del serpentín, se reduce el coeficiente de transmisión).

Además, existe el riesgo de que de la cantidad de aceite en el cárter del compresor se sitúe por debajo del nivel preciso para su correcta lubricación. Para evitar estos problemas podría ser necesario instalar un separador de aceite.

A la hora de seleccionar este elemento habrá que considerar, además de la potencia frigorífica y la diferencia de temperatura en el evaporador (DTE), el régimen de funcionamiento y los aspectos constructivos que mejor se adapten al objeto de refrigeración.

### 1.1 RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO.

En relación al régimen de funcionamiento del evaporador podemos distinguir:

#### 1.1.1 INUNDADO O DE EXPANSIÓN INDIRECTA.

Su interior se encuentra completamente lleno de refrigerante líquido, regulándose la alimentación mediante una válvula de flotador que mantiene constante el nivel de líquido. Precisa de un depósito, cuyo objeto es separar las fases tras la laminación, enviando el líquido al evaporador y el vapor directamente al compresor.

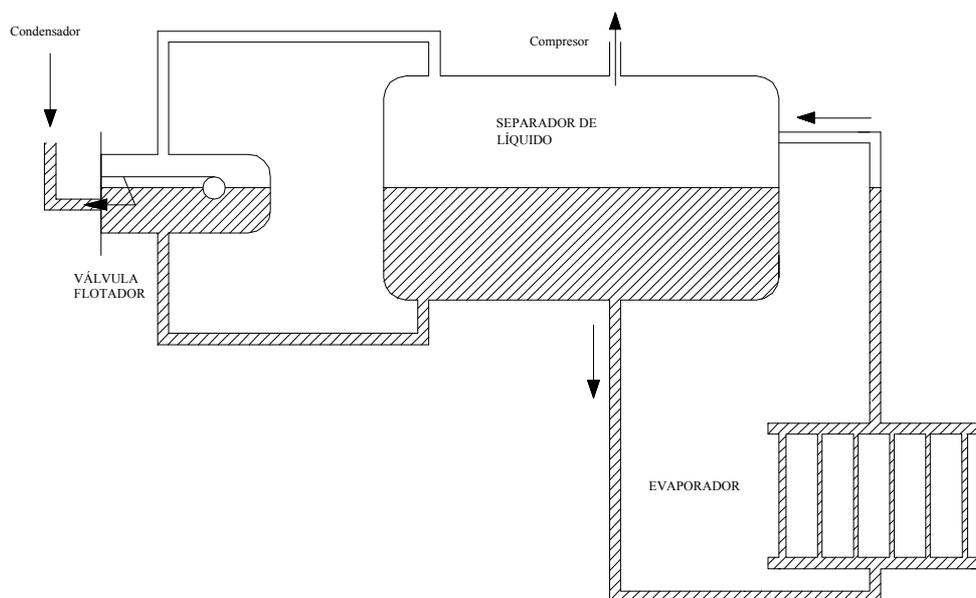


Fig. 1. Esquema de evaporador en régimen inundado.

En el serpentín, el vapor forma burbujas que ascienden por los tubos hasta el depósito alimentador.

Entre sus ventajas fundamentales destaca :

- Su elevado ritmo de transmisión de calor, debido a la mejora del coeficiente global de transmisión.
- Por el evaporador circula un caudal de refrigerante menor, por lo que disminuyen las pérdidas por rozamiento, y por tanto conducen a una menor relación de compresión, que resulta en una mejora del CEE.
- El compresor aspira vapor saturado, sin riesgo de golpe de líquido, lo que en principio, al ser el volumen de aspiración inferior, conduce a compresores de menor tamaño y a inferiores puntas de recalentamiento.

Por contra presenta las siguientes desventajas:

- Precisa de una cantidad de refrigerante elevada en el circuito, para el depósito alimentador e inundar el serpentín.
- La unidad resulta voluminosa, a consecuencia del elemento de alimentación.
- Presenta dificultades de retorno del aceite al compresor, por la baja velocidad del refrigerante (bajo arrastre). Lo que obliga a incluir elementos de recuperación del aceite en la instalación, con el objeto de que éste no pueda alcanzar el evaporador, donde quedaría atrapado.

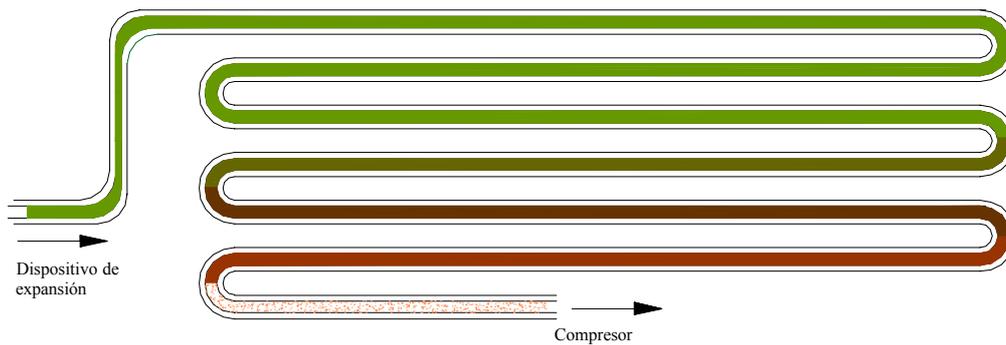
### **1. 1.2 EXPANSIÓN SECA O DIRECTA.**

Un dispositivo de expansión alimenta el serpentín, el refrigerante generalmente abandona el evaporador con un ligero sobrecalentamiento (éste suele situarse en torno a 5°C).

El caudal circulante depende de la carga térmica demandada, correspondiendo la eficiencia máxima, en muchos casos, con la de mayor demanda, al ser máxima la superficie interna mojada por refrigerante líquido.

Entre sus ventajas fundamentales destaca una mayor facilidad de arrastre del aceite que llega hasta él. En el caso de usar refrigerantes no miscibles con aceite, o no miscibles en las condiciones de evaporación, deben utilizarse separadores u otros accesorios que aseguren el retorno de aceite al compresor.

Su desventaja se centra en la mayor pérdida de presión en el elemento, consecuencia de precisar más superficie de serpentín y caudal de refrigerante.



*Fig. 2. Esquema de evaporador en régimen seco*

## 1.2 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Los materiales más empleados en su fabricación son el cobre en evaporadores pequeños (nunca con amoníaco, puesto que ataca al cobre en presencia de humedad) y el acero en las grandes unidades, principalmente por motivos económicos.

En los evaporadores de gran tamaño, a fin de controlar las pérdidas de carga ocasionadas por las largas longitudes de tubo que se precisan si se trabaja con circuito único, es habitual recurrir a la inyección múltiple. En este caso, se trabaja con una única válvula de expansión, provista a su salida de un distribuidor que alimenta a las distintas secciones del evaporador.

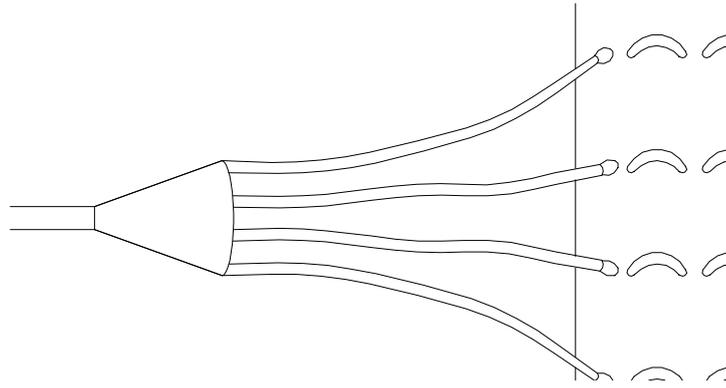


Fig. 3. Esquema de distribuidor

Atendiendo a su configuración podemos distinguir entre evaporadores de superficie primaria y con aletas.

### 1. 2.1 EVAPORADOR DE SUPERFICIE PRIMARIA.

Dominan el campo de aplicación en que la temperatura requerida es inferior a 1°C, por ser menos sensibles al problema de la formación de escarcha sobre su superficie, limpiarse con mayor facilidad y rapidez (sobre todo los de placa).

Se distinguen tres grupos; de tubo desnudo, de placa y de placas desmontables:

Las formas más comunes de los evaporadores denominados de **tubo desnudo** son en zig-zag plano y en vueltas “oval de trombón”.

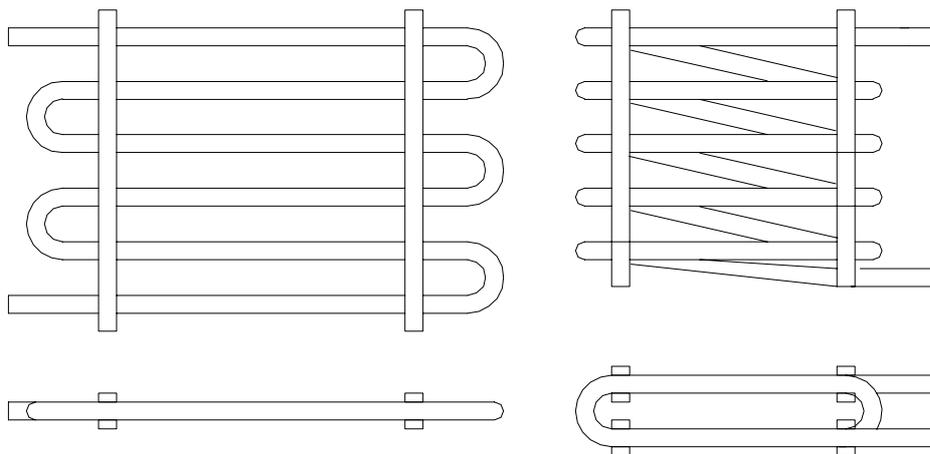


Fig. 4. Evaporadores de zig-zag plano y oval de trombón

Dentro de los denominados evaporadores de placa encontramos los de chapas estampadas y de tubo entre chapas. Ambos se utilizan en enfriamiento de sólidos, por contacto (congeladores, estanterías de exhibición de productos congelados, etc.), y de líquidos, en este último caso esta configuración permite un ahorro de potencia instalada, debido a la formación, durante los períodos de baja carga, de un banco de producto congelado sobre la superficie de las placas, susceptible de usarse en picos de demanda.

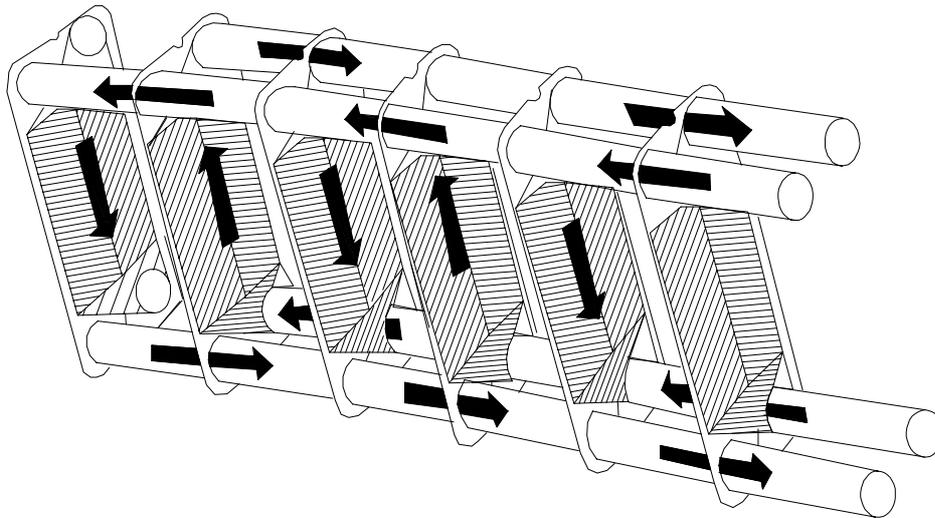
- Los de chapas estampadas están formados por dos chapas metálicas unidas y soldadas, previamente estampadas, de forma que dejan entre ambas el circuito que recorre el refrigerante. Se usan en refrigeradores y congeladores domésticos, de pequeña potencia, ya que son económicos, se limpian con mucha facilidad y puede dársele la forma deseada.
- Los de tubo entre chapas están constituidos por una tubería, normalmente en zig-zag plano, embutida entre dos chapas metálicas soldadas entre sí en los extremos. Esta unidad permite una limpieza más fácil que el anterior, pero resultan más caras. Si el espacio entre la tubería y las chapas se llena con una solución eutéctica, permite una capacidad de reserva. Se utiliza en aplicaciones de elevada carga momentánea, por conducir a un equipo de menor potencia, con ahorro de inversión y de costo de operación. También se utiliza en camiones refrigerados, en este caso la temperatura de la placa se regula por el punto de fusión de la solución.



Fig. 5. Esquema de evaporador de tubo entre chapas

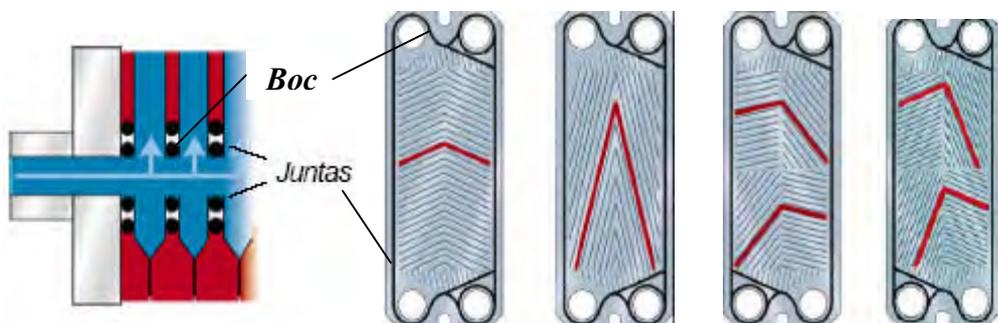
Los denominados ***evaporadores de placas o de placas desmontables***, son especialmente interesantes para el enfriamiento de líquidos.

Están formados por un bastidor (de acero al carbono) y unas placas de transferencia de calor (fabricadas prensando láminas delgadas, 0,6 a 0,9 mm de espesor, de gran variedad de aleaciones y metales, principalmente de acero inoxidable). Esta combinación de materiales (acero al carbono y aluminio) debe realizarse con el debido aislamiento entre ambos, ya que en presencia de agua, el acero al carbono en contacto con el aluminio, sufrirá una rápida degradación por corrosión.



*Fig. 6. Esquema de evaporador de placas*

Una placa típica, de forma rectangular y con bocas en las esquinas para las conexiones con el bastidor, presenta canales de diversas geometrías, con el objeto de aumentar la superficie de transferencia e inducir un alto nivel de turbulencia.



*Fig. 7. Placas y distribuidor del evaporador de placas.*

El sellado de las placas se consigue mediante empaques, o juntas de elastómeros, por el borde de las placas y rodeando completamente las bocas, de manera que el fluido se pueda distribuir de lado a lado de la placa.

El bastidor incluye un cabezal fijo y un extremo de apoyo, conectados por una barra portante (superior ) y otra guía (inferior).

El conjunto de placas de transferencia de calor queda prensado, entre el cabezal fijo y el seguidor, por barras de unión. En sus esquinas el cabezal dispone de conexiones para permitir la entrada y salida de los fluidos de trabajo al intercambiador.

El intercambiador de placas se desmonta fácilmente, destornillando las barras de unión, por lo que las operaciones de mantenimiento y limpieza se pueden efectuar rápidamente.



*Fig. 8. Fotografía del evaporador de placas.*

Presentan la ventaja de sus altos coeficientes globales de transferencia de calor, dos a tres veces mayores que otras unidades, por lo que las áreas de transferencia son mucho menores, resultando unidades de pequeño tamaño, característica muy valiosa cuando la naturaleza agresiva del líquido requiera trabajar con materiales caros.

### **1. 2.2 EVAPORADOR CON ALETAS**

Las aletas añadidas al tubo desnudo aumentan la superficie efectiva total del evaporador, por lo que son recomendables si se dispone de poco espacio.

En enfriamiento de aire a temperaturas inferiores a 1°C, debido a los problemas de formación de escarcha, es preciso instalar mecanismos de desescarche.

Son muy sensibles a la suciedad arrastrada por el aire, polvo y pelusa, que se adhieren a las superficies externas, frecuentemente húmedas, lo que produce una rápida disminución de la velocidad de transmisión y del área efectiva para el paso del fluido a enfriar.

Para el enfriamiento de gases, las aletas se colocan en el exterior de los tubos, lo que además de aumentar la superficie de contacto, permite que el fluido esté mejor guiado, por lo que es frecuente su uso en aplicaciones de enfriamiento de aire.

Para enfriamiento de líquidos se recurre a las aletas exteriores sólo si la velocidad del líquido es muy alta.

Las aletas interiores se emplean en el caso de operar con refrigerantes halogenados (bajo coeficiente de película).

## **1. 3 FASE DEL MEDIO A ENFRIAR.**

### **1. 3.1 ENFRIAMIENTO DE SÓLIDOS.**

En pequeñas unidades se emplean evaporadores de placa, que absorben el calor por conducción y se prestan 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 la formación de zonas de superficies separadas, se mejoran los coeficientes de transmisión).

La congelación, para las grandes potencias, suele realizarse con nitrógeno líquido o por inmersión en solución salina a baja temperatura, generalmente cloruro sódico o azúcar.

Puesto que dicha solución es un buen conductor, y se encuentra en buen contacto térmico con todo el producto, la transferencia de calor es rápida y el producto se congela completamente en poco tiempo.

Otra ventaja de la congelación por inmersión es que el producto se congela en unidades individuales en lugar de aglomerarse.

Su principal desventaja es la contaminación y disminución del rendimiento de la solución congelante, como resultado de la tendencia al escape de los jugos del producto, por ósmosis.

### **1. 3.2 ENFRIAMIENTO DE GASES.**

Su aplicación más importante es el enfriamiento del aire, ya sea en cámaras frigoríficas o en climatización. Dentro de este tipo podemos distinguir entre las unidades de convección natural y forzada, en función del sistema de circulación del aire que se adopte.

- La convección natural se utiliza en aquellas aplicaciones en que se desean bajas velocidades del aire, a fin de obtener una deshidratación mínima del producto, tales como refrigeradores domésticos, vitrinas de exposición de productos refrigerados y cuartos de almacenamientos grandes.

Es especialmente importante cuidar la forma, tamaño y localización del evaporador, ya que determinaran la circulación del aire que se establece en el recinto.

En pequeñas unidades suelen incluirse deflectores para asegurar una buena distribución del aire.

- Los sistemas de convección forzada, denominados habitualmente “unidades enfriadoras”, emplean evaporadores de tubos aleteados dentro de una carcasa metálica y con uno o varios ventiladores para conseguir la circulación del aire.

### 1. 3.3 ENFRIAMIENTO DE LÍQUIDOS.

Existen siete tipos característicos de evaporadores para enfriamiento de líquidos:

- De doble tubo, también denominado tubo en tubo. Consiste en dos tubos concéntricos, donde el refrigerante circula por el espacio anular, en contracorriente. Puede funcionar en régimen inundado o en expansión seca.

Se utiliza fundamentalmente en industrias cervecera y vinícola, y en unidades comerciales, enfriadoras de agua compactas, de pequeña capacidad.

- El enfriador Baudelot consiste en una serie de tubos horizontales (colocados uno debajo del otro) y por cuyo interior circula el refrigerante, mientras que el líquido a enfriar, formando una delgada película, va cayendo por gravedad desde la superficie del tubo superior al inferior, donde se recoge en un canal colector.

Adecuado en aplicaciones en que la aireación del líquido a enfriar sea un factor importante. Tiene la ventaja adicional de permitir temperaturas próximas al punto de congelación sin peligro de que una congelación imprevista pueda dañar el evaporador.

Se utiliza en el enfriamiento de leche, vino, mosto de cerveza y agua, para carbonatación, en plantas embotelladoras.

- El enfriador de tanque, consiste en un serpentín de tubo desnudo (por el que circula el refrigerante), instalado dentro de un gran tanque que contiene el líquido a enfriar, separado por un deflector de la masa principal del líquido, y movido por un agitador motorizado.

La alta inercia que presenta esta configuración, hacen a estas unidades especialmente indicadas en aplicaciones en las que se registren grandes y frecuentes fluctuaciones de la demanda, o cuando el líquido entre en el enfriador a temperaturas relativamente altas.

Se emplea mucho en enfriamiento de agua, salmuera y otros refrigerantes secundarios, y siempre que la sanidad no sea un factor importante, ya que el riesgo de contaminación, por fugas de refrigerante no detectadas, es alto.

- El enfriador de carcasa y serpentín. formado por uno o más serpentines encerrados en una carcasa de acero.

Si se precisa una alta inercia térmica se trabaja en expansión seca, con el refrigerante por el serpentín y el líquido a enfriar por la carcasa.

Si se busca el enfriamiento en el momento de consumo, el refrigerante circula por la carcasa, en régimen inundado, y el líquido a enfriar por el serpentín, unidad denominada “Enfriador Instantáneo de Líquidos”. No puede usarse por debajo de los 3,5°C, por el riesgo de deterioro en caso de congelación. Corresponden a este tipo los empleados, para el enfriamiento, en grifos de cerveza y otras bebidas.

- El enfriador de carcasa y tubos, dispone de una carcasa cilíndrica de acero, en cuyo interior se disponen tubos rectos horizontales, paralelos, fijados en los extremos por placas perforadas.

Es de los más empleados por su alta eficiencia, poco volumen, fácil mantenimiento y adaptabilidad a casi todas las aplicaciones de enfriamiento de líquidos.

En régimen seco (el refrigerante circula por los tubos) se utiliza para pequeñas capacidades de refrigeración.

Los de gran capacidad recurren al régimen inundado (con el refrigerante entre tubos y carcasa).

Para refrigerantes halogenados, por su relativamente bajo coeficiente de película, se emplean tubos aleteados del lado del refrigerante (longitudinales internas para expansión seca y externas en inundado).

- El evaporador de atomizador, de configuración similar al de carcasa y tubos, introduce sobre los tubos superiores unas boquillas de atomización, que lanzan refrigerante líquido sobre los tubos, por cuyo interior circula el líquido a enfriar. El refrigerante no evaporado se bombea desde la parte inferior a las boquillas.  
Son de elevada eficacia y baja carga de refrigerante, pero de alto costo de adquisición y mantenimiento, por requerir de una bomba para la recirculación del refrigerante.