

T4.- Elementos de Instalaciones Frigoríficas

Las transparencias son el material de apoyo del profesor para impartir la clase. No son apuntes de la asignatura. Al alumno le pueden servir como guía para recopilar información (libros, ...) y elaborar sus propios apuntes

Departamento: Ingeniería Eléctrica y Energética
Area: Máquinas y Motores Térmicos

CARLOS J RENEDO renedoc@unican.es

Despachos: ETSN 236 / ETSIIT S-3 28

<http://www.diee.unican.es/cjre.htm>

Tlfn: ETSN 942 20 13 44 / ETSIIT 942 20 13 82

1

T4.- Elementos de Instalaciones Frigoríficas

- 1.- Introducción
- 2.- Compresores
- 3.- Elementos Auxiliares del Compresor
- 4.- Condensadores
- 5.- Dispositivos de Expansión
- 6.- Evaporadores
- 7.- Tuberías
- 8.- Otros Elementos

1.- Introducción

En este tema se hace referencia a los principales elementos y dispositivos de las enfriadoras y bombas de calor

2

2.- Compresores

El componente más importante del equipo

- Partes móviles (mantenimiento, ruido)
- Mayor consumo energético
- Costoso

Recibe el freón proveniente del evaporador (vapor a baja presión y temperatura) por la tubería de aspiración. Lo comprime (elevando su presión y temperatura), expulsándolo por la tubería de descarga hacia el condensador

La compresión requiere energía mecánica \Rightarrow consumo energético

Son aptos para un fluido refrigerante (indicado en su placa característica)

Han de ser estancos al aire (humedad)

Fabricantes: Copeland, L'Unite Hermetique Danfoss, Bitzer, Tecumseh, Carlyle...

2.- Compresores: Clasificación (I)

Por el modo de accionamiento

- Eléctricos (habitual)
- Gas (cías de gas)
- Motor diesel
- Turbina ...



Por la separación entre compresor y accionamiento

- Herméticos (eléctricos, pequeña potencia)
- Semiherméticos
- Abiertos (sin interacción de averías)

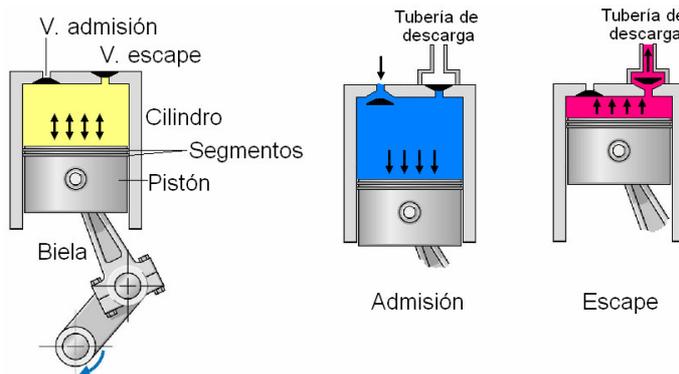


2.- Compresores: Clasificación (II)

Por el modo de compresión (I)

• Alternativos (reciprocantes) (I)

- La presión se ajusta
- Vibraciones
- 2 válvulas
- Flujo pulsante
- Comportamiento conocido

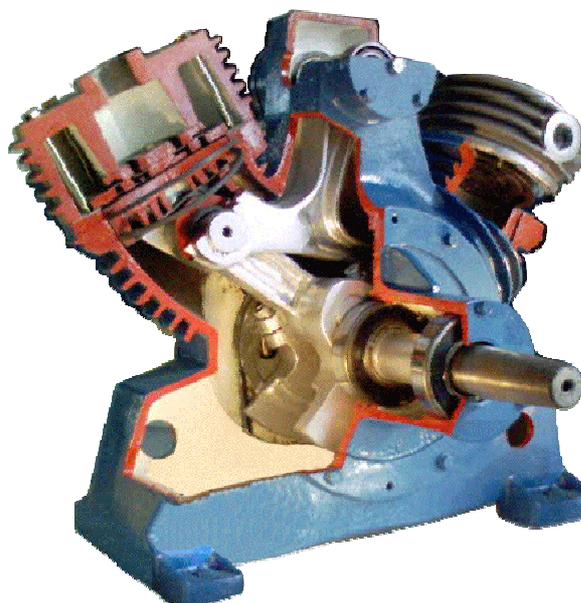


2.- Compresores: Clasificación (III)

Por el modo de compresión (II)

• Alternativos (reciprocantes) (II)

- La presión se ajusta
- Vibraciones
- 2 válvulas
- Flujo pulsante
- Comportamiento conocido

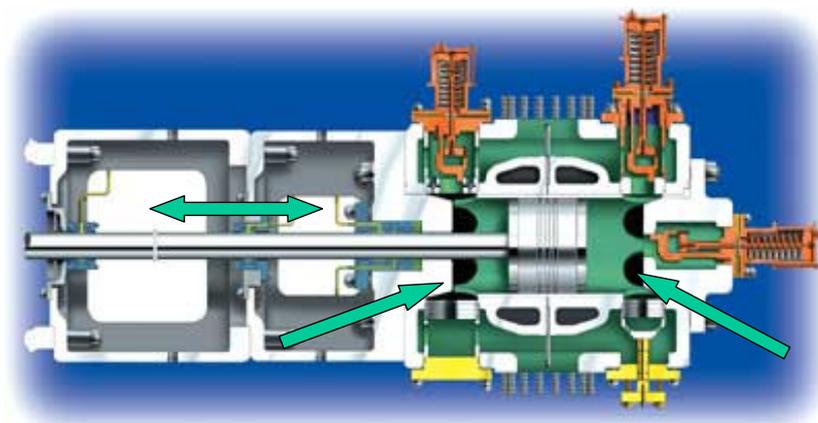
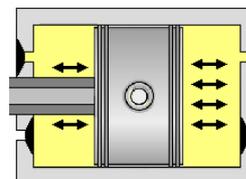


La capacidad se puede regular descargando algún cilindro

2.- Compresores: Clasificación (IV)

Por el modo de compresión (III)

- Alternativos lineales (con dos cámaras)

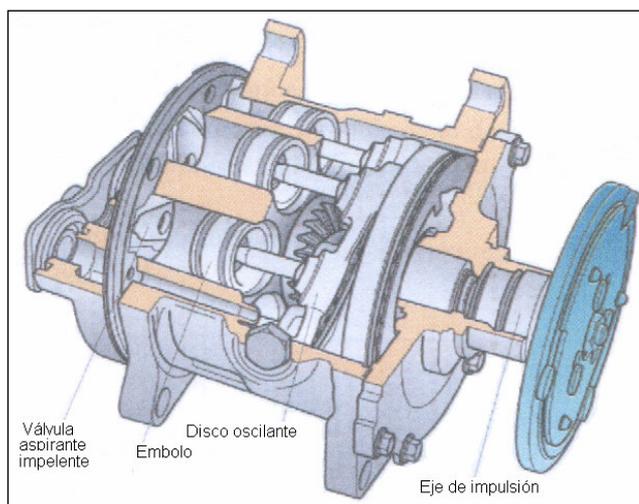


7

2.- Compresores: Clasificación (V)

Por el modo de compresión (IV)

- Alternativos de pistones radiales

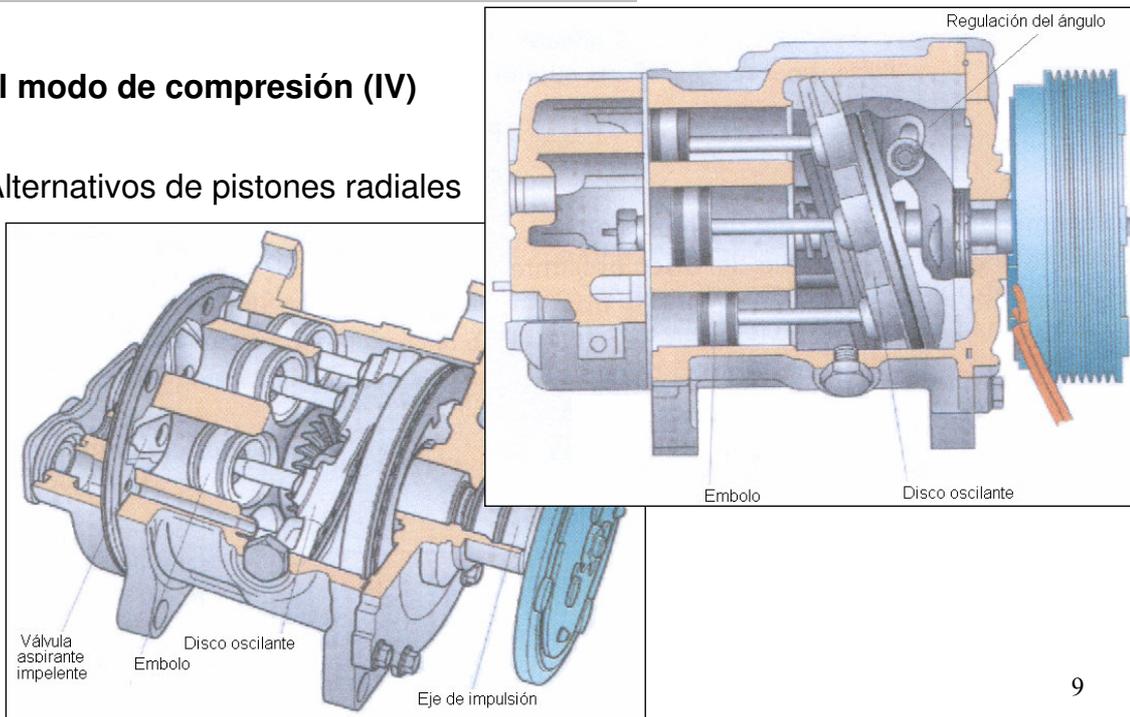


8

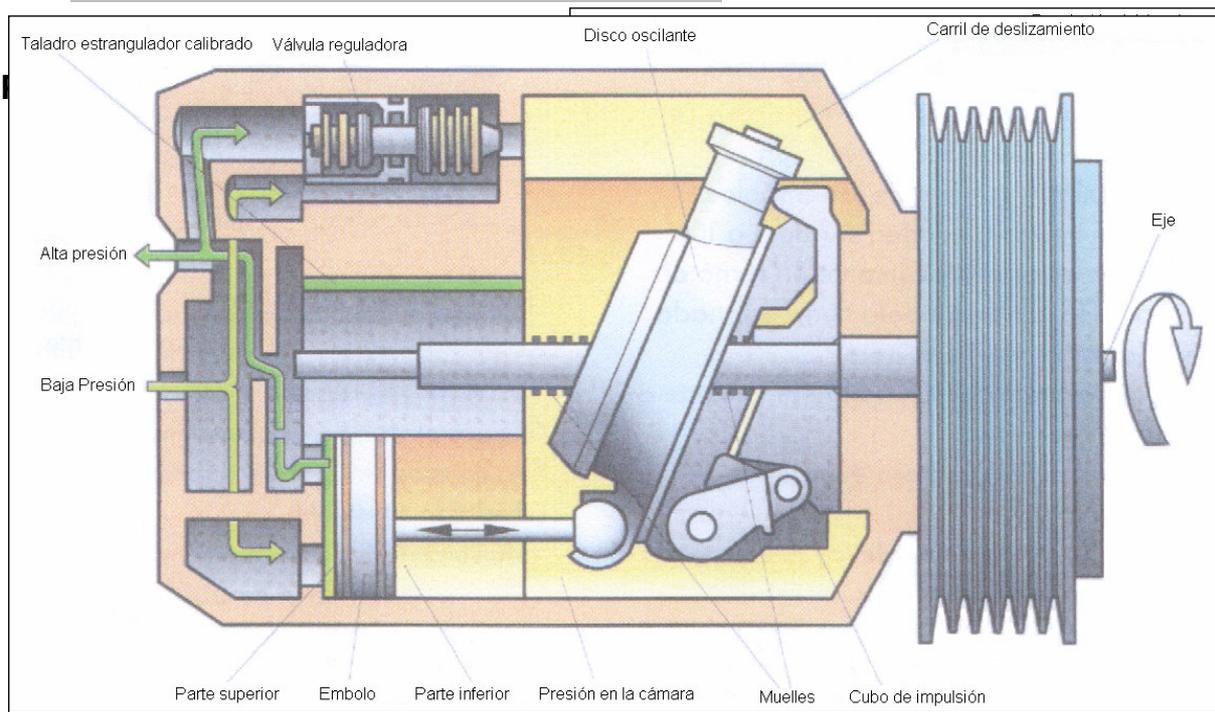
2.- Compresores: Clasificación (V)

Por el modo de compresión (IV)

- Alternativos de pistones radiales



2.- Compresores: Clasificación (V)

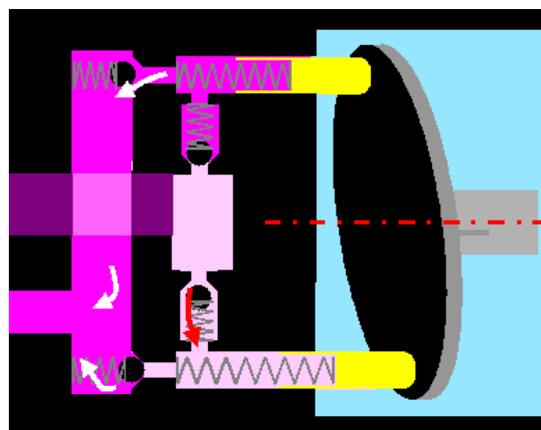
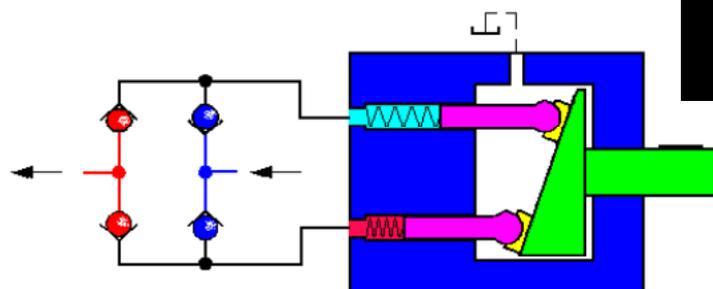


2.- Compresores: Clasificación (VI)

Por el modo de compresión (V)

- Alternativos de pistones radiales

Con una única entrada/salida por pistón



11

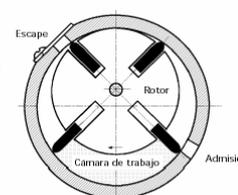
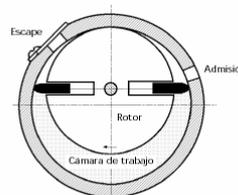
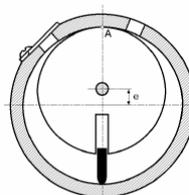
2.- Compresores: Clasificación (VII)

Por el modo de compresión (VI)

- Rotativos (I)

- De paletas:

- Silenciosos
- Sin válvula de admisión
- Sensibles golpe de líquido
- Débil estanqueidad
- (bajas relaciones de compresión)



12

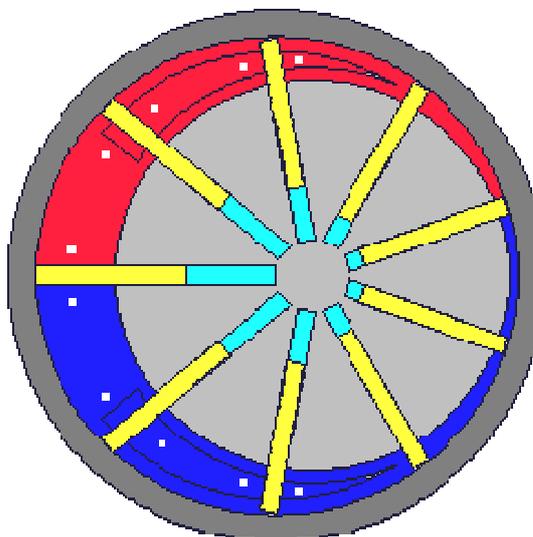
2.- Compresores: Clasificación (VII)

Por el modo de compresión (VI)

• Rotativos (I)

- De paletas:

- Silenciosos
- Sin válvula de admisión
- Sensibles golpe de líquido
- Débil estanqueidad
- (bajas relaciones de compresión)



13

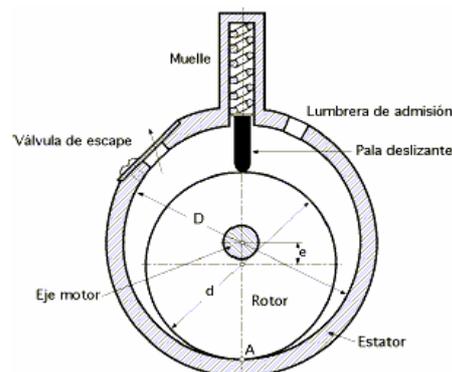
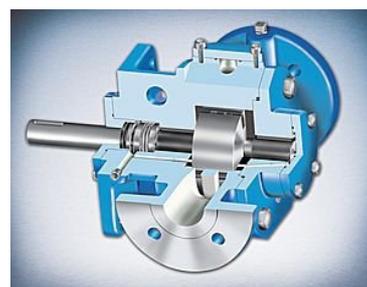
2.- Compresores: Clasificación (VIII)

Por el modo de compresión (VII)

• Rotativos (II)

- De rodillo:

- Silenciosos
- Sin válvula de admisión
- Sensibles golpe de líquido
- Débil estanqueidad
- (bajas relaciones de compresión)



$$V = (\pi \times (R^2 - r^2) - (e \times L_p \times N_p)) \times L_r \times n \times 60 \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

R y r los radios del estator y el rotor
 L_r y L_p longitudes del rotor y de la paleta
 e el espesor de la paleta
 N_p el número de paletas
 n la velocidad de giro

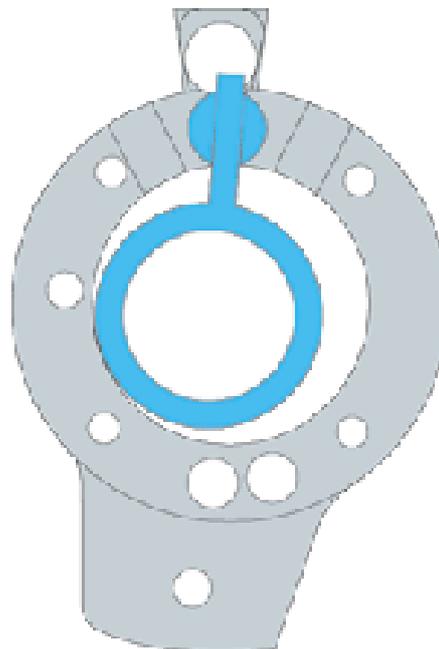
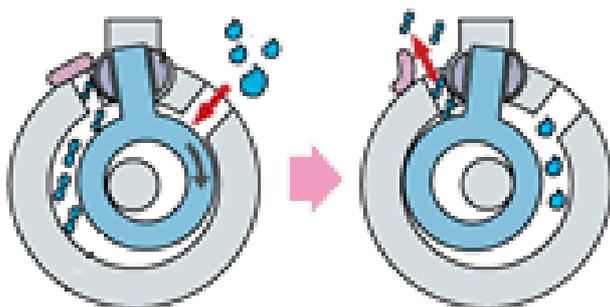
14

2.- Compresores: Clasificación (IX)

Por el modo de compresión (VIII)

- Rotativos (III)

- *Swing*:



15

2.- Compresores: Clasificación (X)

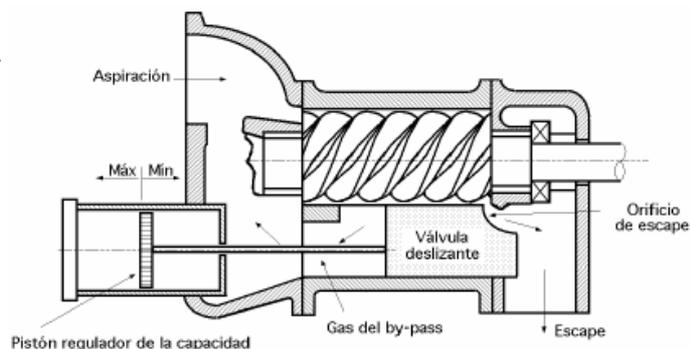
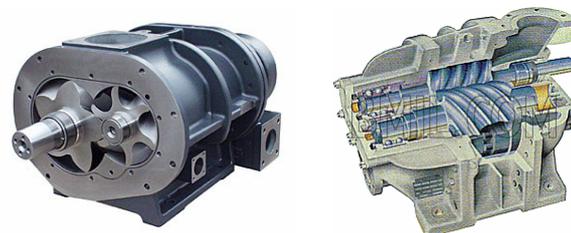
Por el modo de compresión (IX)

- Rotativos (IV)

- *De tornillo* (I):

De doble tornillo

- Macho-hembra
- Sellado con aceite
- Sin válvulas
- Relación de compresión fija
- Regulación de capacidad
- Inyección de vapor frío



2.- Compresores: Clasificación (X)

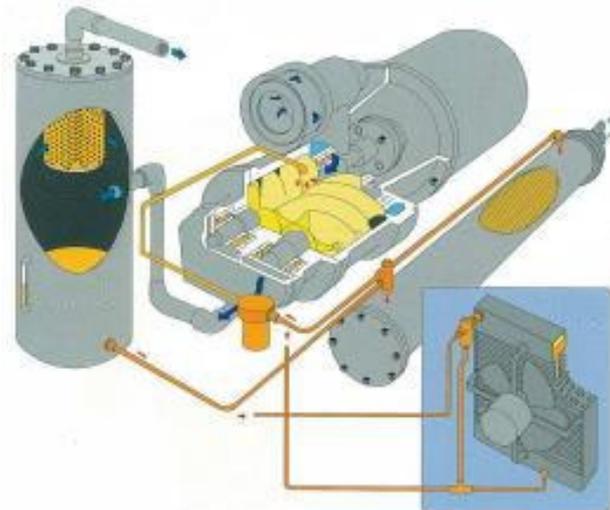
Por el modo de compresión (IX)

• Rotativos (IV)

- *De tornillo (I):*

De doble tornillo

- Macho-hembra
- Sellado con aceite
- Sin válvulas
- Relación de compresión fija
- Regulación de capacidad
- Inyección de vapor frío



17

2.- Compresores: Clasificación (X)

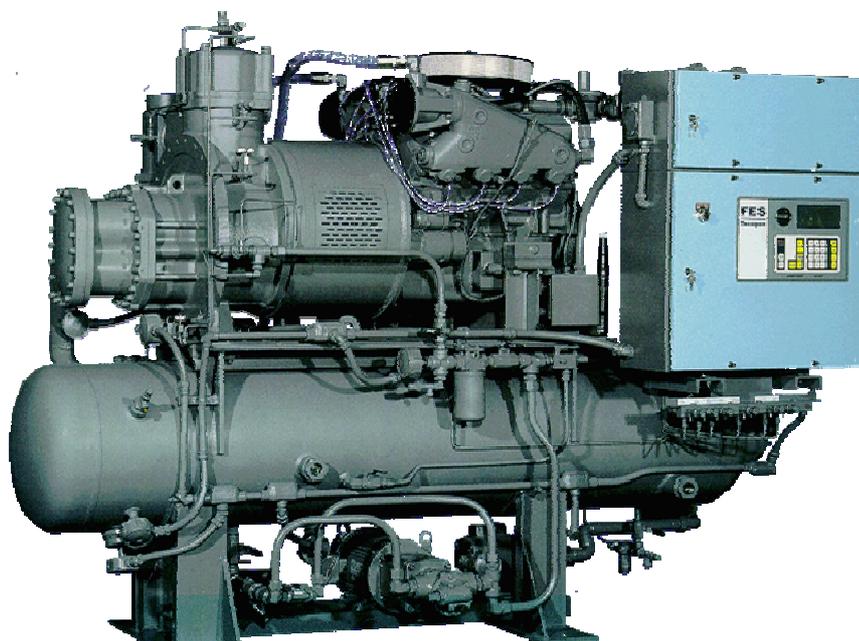
Por el modo de compresión (IX)

• Rotativos (IV)

- *De tornillo (I)*

De doble tornillo

- Macho-hembra
- Sellado con aceite
- Sin válvulas
- Relación de compresión fija
- Regulación de capacidad
- Inyección de vapor frío



18

2.- Compresores: Clasificación (X)

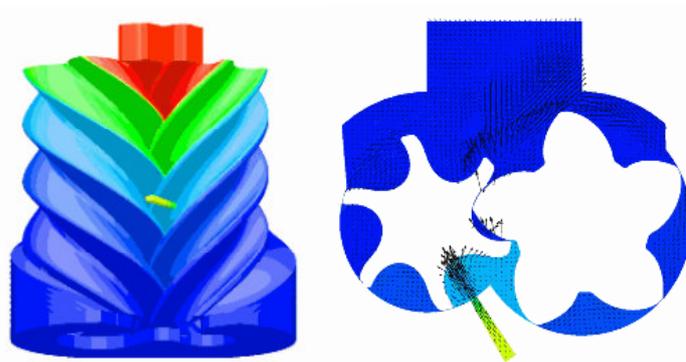
Por el modo de compresión (IX)

• Rotativos (IV)

- De tornillo (I):

De doble tornillo

- Macho-hembra
- Sellado con aceite
- Sin válvulas
- Relación de compresión fija
- Regulación de capacidad
- Inyección de vapor frío



19

2.- Compresores: Clasificación (XI)

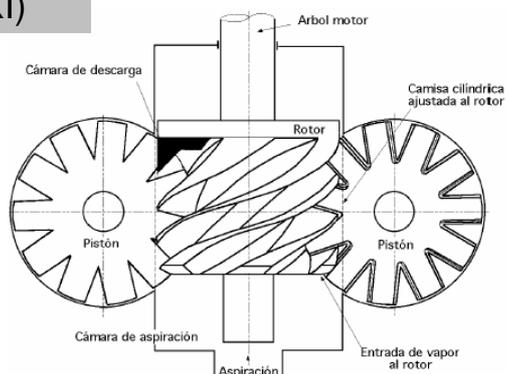
Por el modo de compresión (X)

• Rotativos (V)

- De tornillo (II):

De tornillo simple

- (triple tornillo)
- Tornillo y dos satélites
- Control de capacidad (anillo)

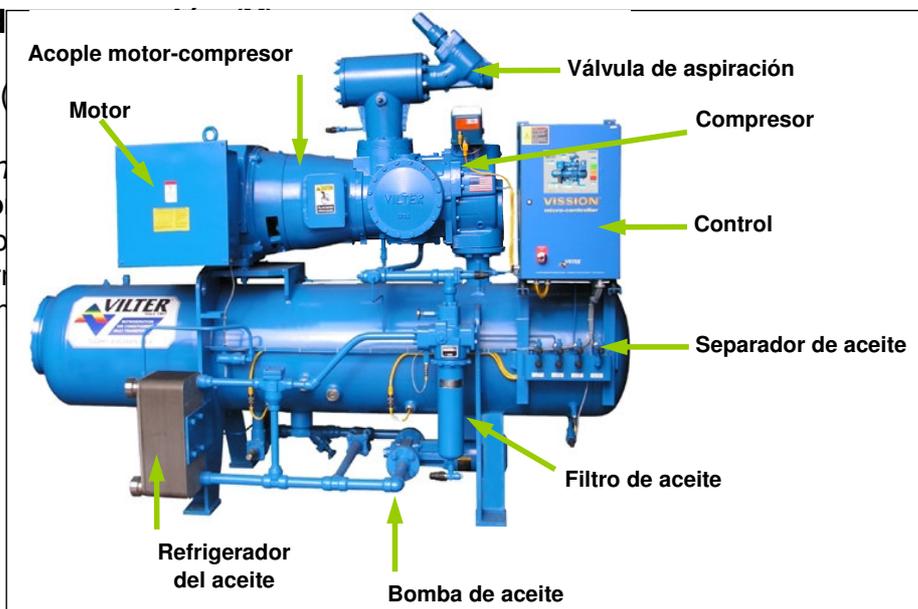


20

2.- Compresores: Clasificación (XI)

Por el modo de

- Rotativos (V)
- De tornillo
- De tornillo
- (triplicado)
- Tornillo
- Comprimido

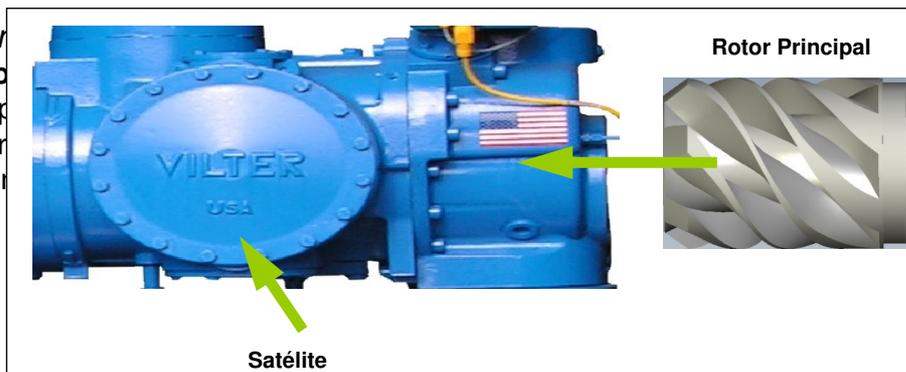


21

2.- Compresores: Clasificación (XI)

Por el modo de compresión (X)

- Rotativos (V)
- De tornillo
- De tornillo
- (triplicado)
- Tornillo
- Comprimido



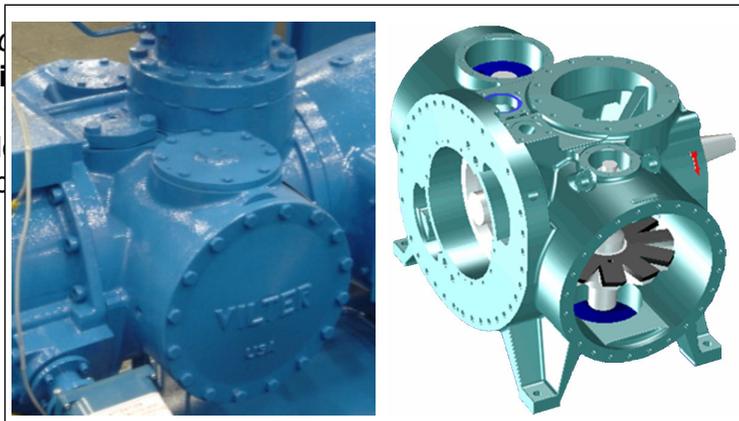
22

2.- Compresores: Clasificación (XI)

Por el modo de compresión (X)

- Rotativos (V)

- *De tornillo*
De tornillo
(triple
Tornillo
Controlado)

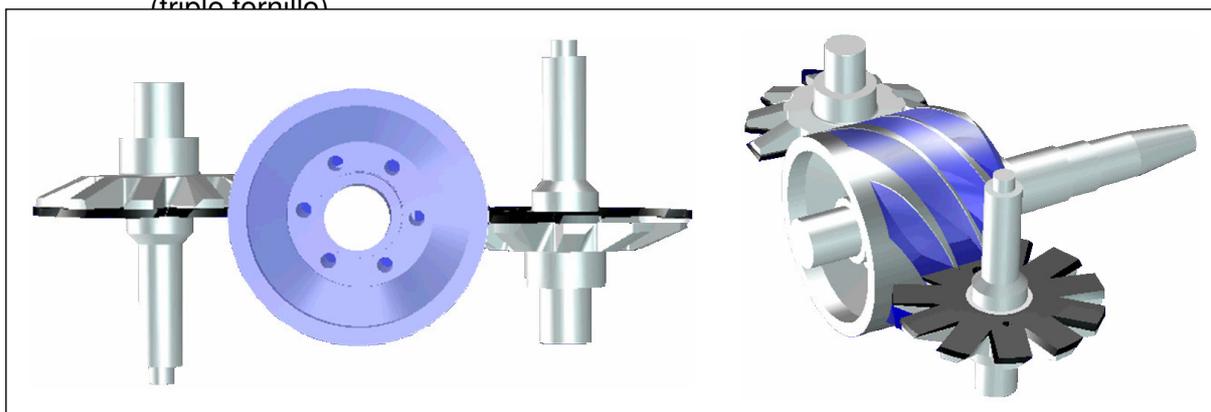
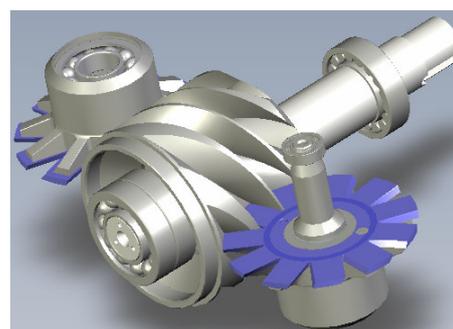


2.- Compresores: Clasificación (XI)

Por el modo de compresión (X)

- Rotativos (V)

- *De tornillo (II):*
De tornillo simple
(triple tornillo)



2.- Compresores

Por el modo de compresión

- Rotativos (V)
 - *De tornillo (II)*
 - De tornillo simple**
(triple tornillo)
Tornillo y
Control de



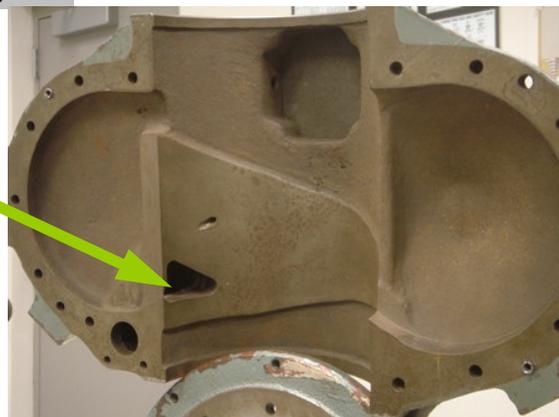
2.- Compresores: Clasificación (XI)

Por el modo de compresión (X)

- Rotativos (V)
 - *De tornillo (II):*
 - De tornillo simple**
(triple tornillo)



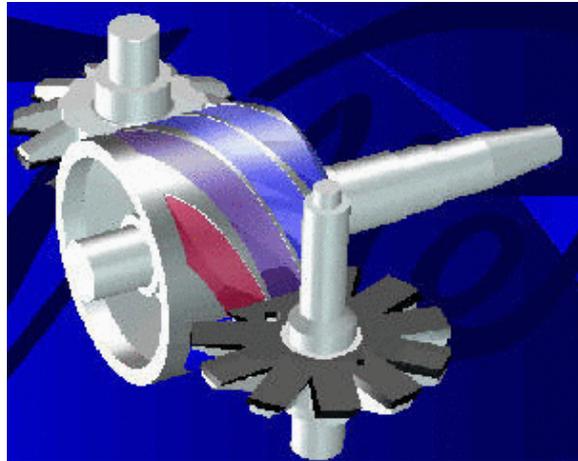
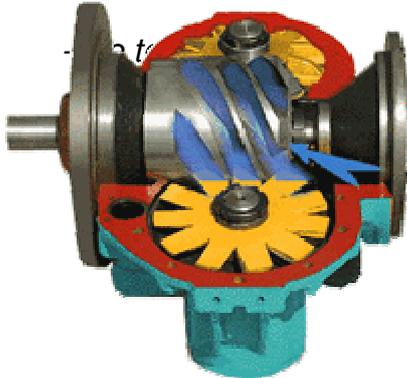
Entrada de vapor
al compresor



2.- Compresores: Clasificación (XI)

Por el modo de compresión (X)

- Rotativos (V)



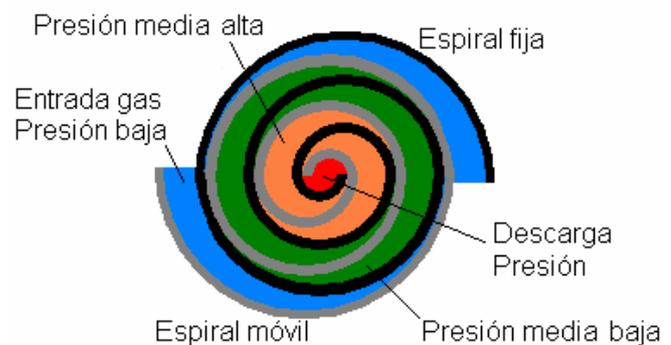
2.- Compresores: Clasificación (XII)

Por el modo de compresión (XI)

- Rotativos (VI)

- Scroll (I):

- Dos volutas en forma de espiral
- Varias cámaras enfrentadas
- Flujo continuo
- Sin válvulas
- Relación de compresión fija
- Regulación de capacidad con varias lumbreras de descarga
- Necesita válvula antirretorno
- El sellado no soporta toda la diferencia de presión
- Resistente a la entrada de líquido

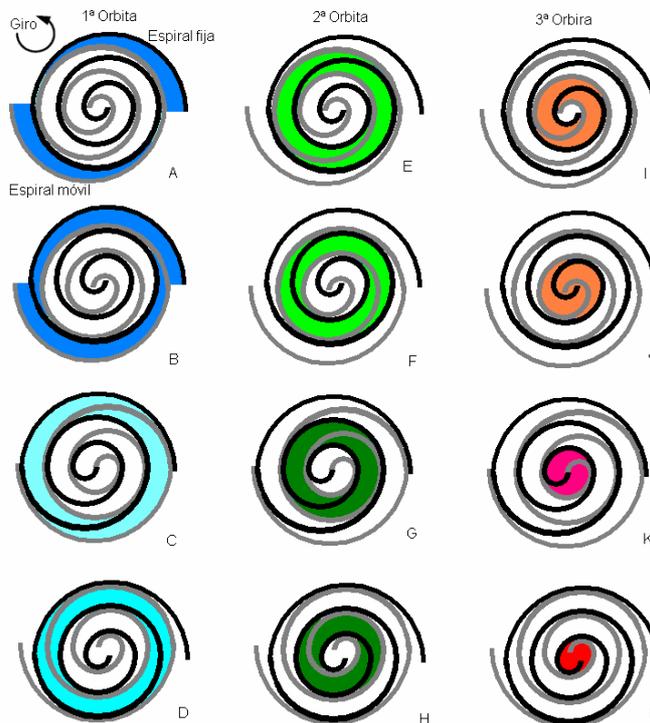
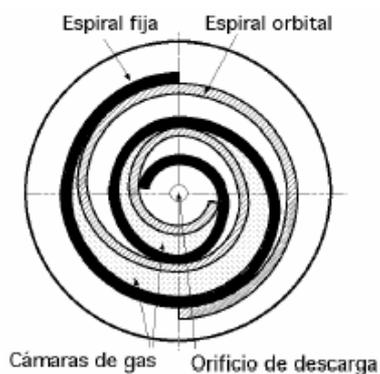


2.- Compresores: Clasificación (XII)

Por el modo de compresión (XI)

- Rotativos (VI)

- *Scroll* (II):

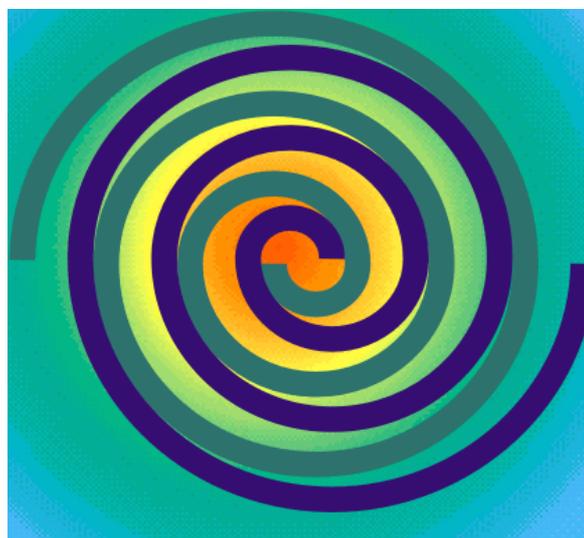
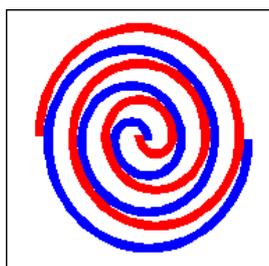


2.- Compresores: Clasificación (XII)

Por el modo de compresión (XI)

- Rotativos (VI)

- *Scroll* (III):



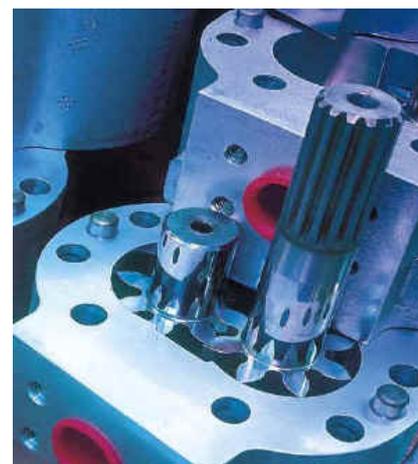
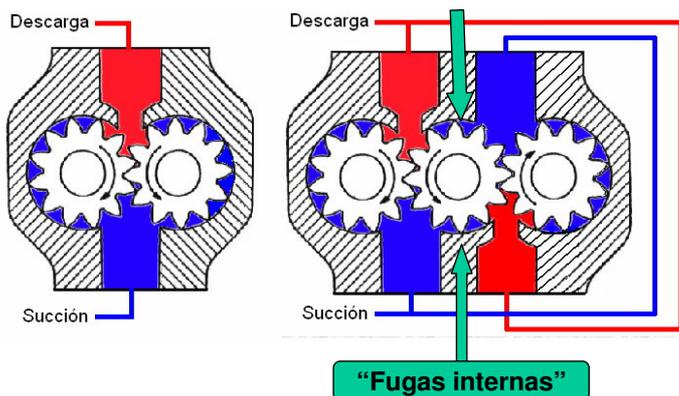
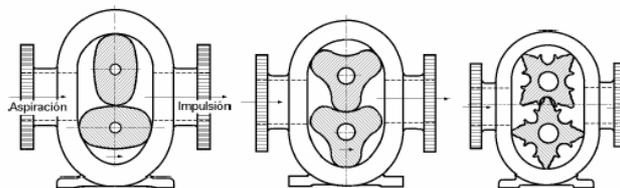
2.- Compresores: Clasificación (XIII)

Por el modo de compresión (XII)

- Rotativos (VII)

- *Engranajes:*

Dos engranajes, uno accionado



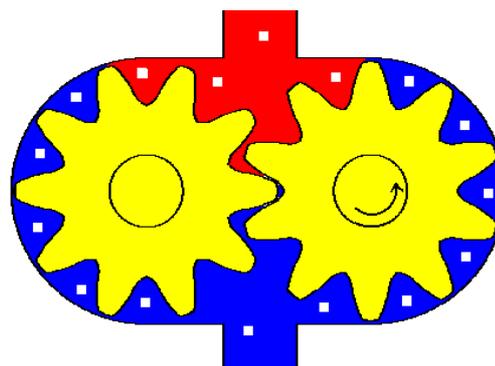
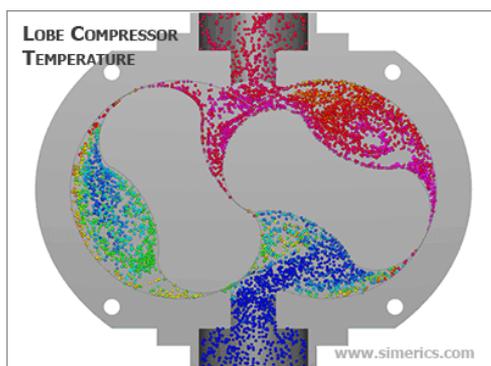
2.- Compresores: Clasificación (XIII)

Por el modo de compresión (XII)

- Rotativos (VII)

- *Engranajes:*

Dos engranajes, uno accionado



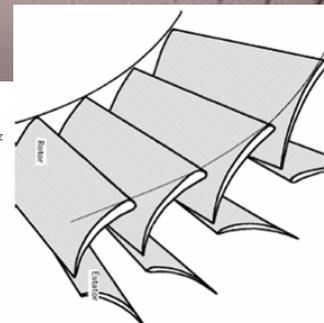
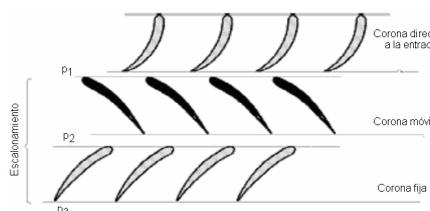
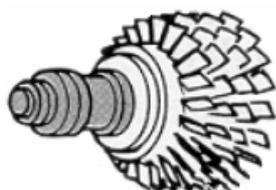
2.- Compresores: Clasificación (XIII)

Por el modo de compresión (XII)

- Rotativos (VII)

- *Axiales:*

Baja relación de compresión
Grandes volúmenes



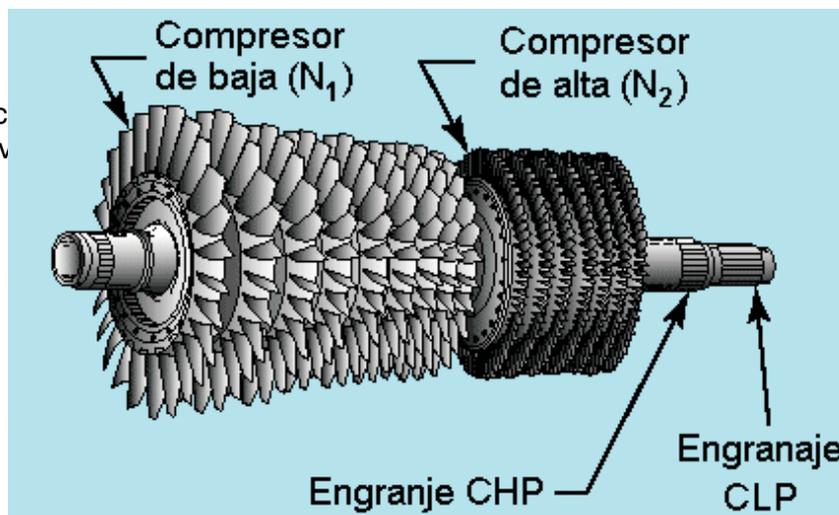
2.- Compresores: Clasificación (XIII)

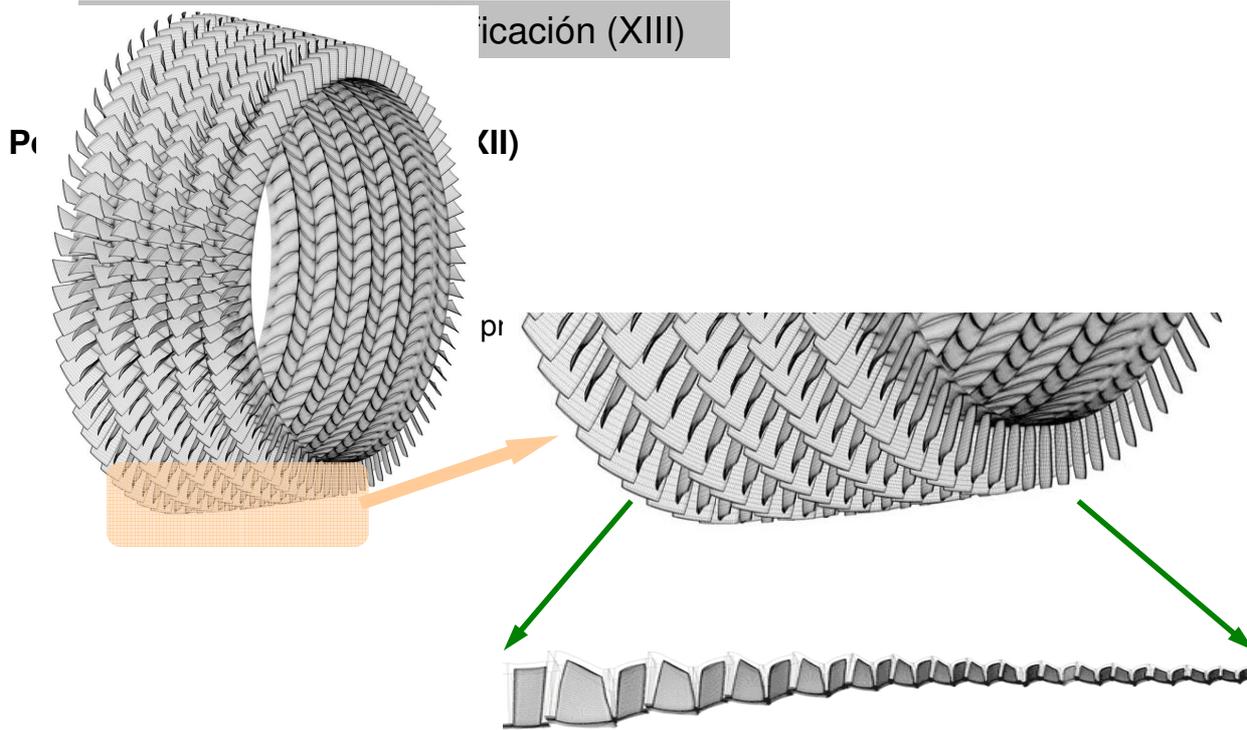
Por el modo de compresión (XII)

- Rotativos (VII)

- *Axiales:*

Baja relación de compresión
Grandes volúmenes

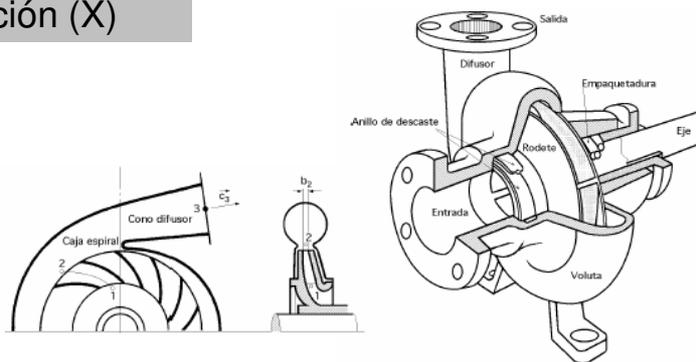




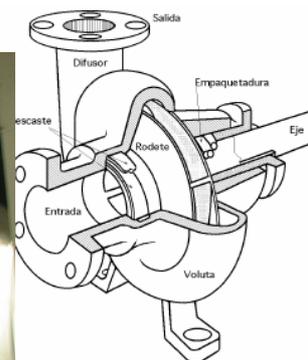
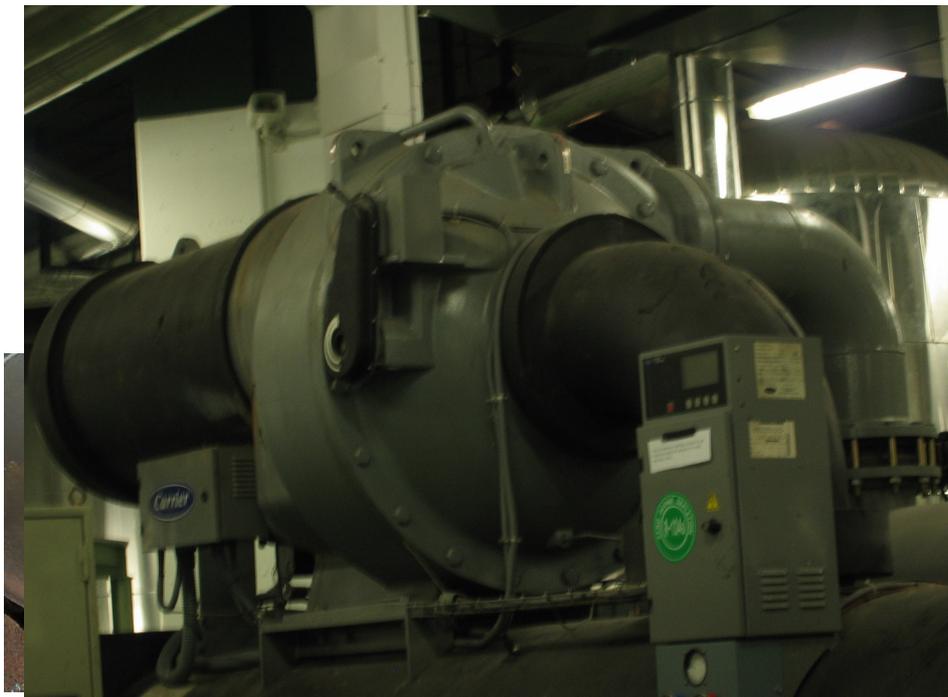
2.- Compresores: Clasificación (X)

Por el modo de compresión (IX)

- Rotativos (VIII)
 - *Centrífugos:*
Baja relación de compresión
Grandes volúmenes



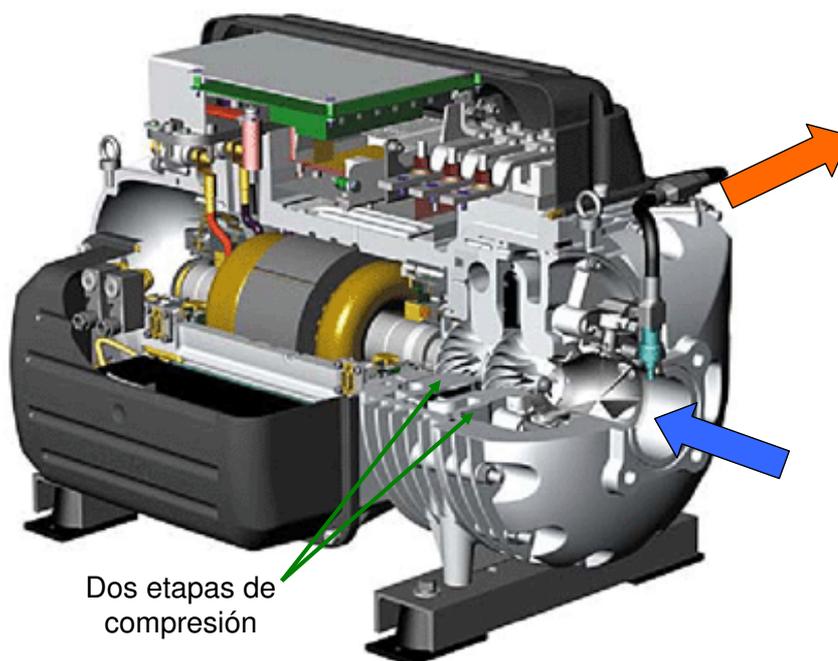
2.- Compresores: Clasificación (X)



2.- Compresores: Clasificación (X)

Por el modo de

- Rotativos (V)
 - Centrífugos
 - Baja refrigeración
 - Grande

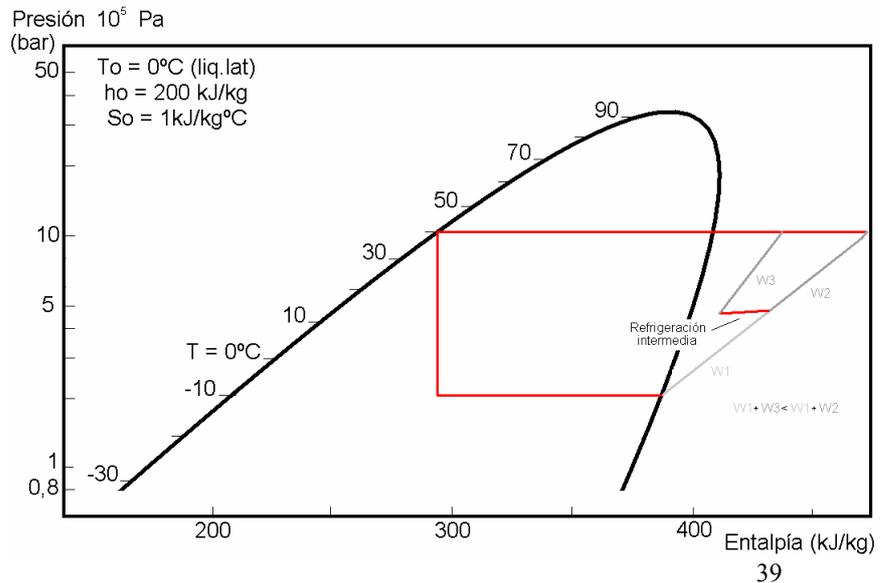
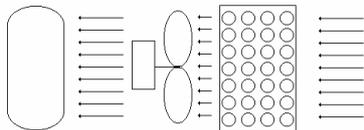


3.- Elementos Auxiliares del Compresor (I)

La refrigeración del compresor

Con la aspiración
Dos etapas
Refrigeración externa

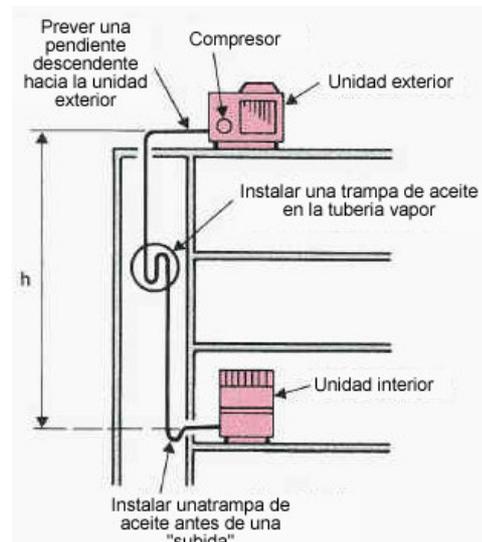
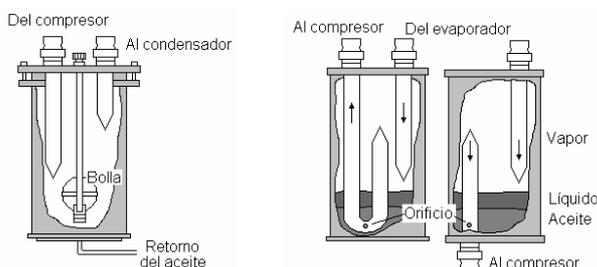
$$p_{int} = \sqrt{p_{max} \times p_{min}}$$



3.- Elementos Auxiliares del Compresor (II)

La lubricación del compresor

Carcasa es el cárter, visor
Mezcla aceite-refrigerante
 $\eta \downarrow$ al $\uparrow T$
Resistencia eléctrica
Pendientes descendentes
Sifones
Filtros y separadores
Botella antigolpe de líquido
Posición original



3.- Elementos Auxiliares del Compresor (III)

Vibraciones y ruidos

- Dispositivos internos
- Dispositivos externos
- Silenciadores
- Uniones flexibles
- Amortiguadores
- Bancadas

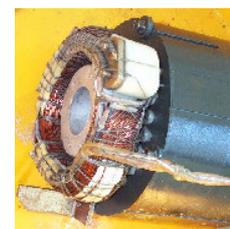


41

3.- Elementos Auxiliares del Compresor (IV)

Sistemas de seguridad

- Presostato de máxima
- Presostato de mínima
- Válvula de seguridad interna
- Válvula de seguridad externa
- Fusible (de presión)
- Presostato de aceite
- Nivel de aceite
- Protector térmico



Protecciones externas

42

3.- Elementos Auxiliares del Compresor (V)

Control de la capacidad del compresor
(ajustar la producción del compresor a las necesidades)

- Control todo-nada
- Capacidad regulable: en escalones o en continuo

Utilidades:

- Alimentar varias instalaciones
- Cuando existen diferentes solicitaciones a lo largo del día
- Facilitar la puesta en marcha al reducir la carga en el arranque

En los **multicilíndrico** se puede descargar uno o más cilindros, desplazando la válvula de aspiración

En los **compresores de tornillo y los scroll**, la regulación en continuo, (10%-100%), variando el punto donde comienza la compresión

Un modo adaptable es accionar con un **motor de velocidad variable**

Un modo en escalones es utilizando **varios compresores en paralelo** (tándem), aumenta la fiabilidad

3.- Elementos Auxiliares del Compresor (VI)

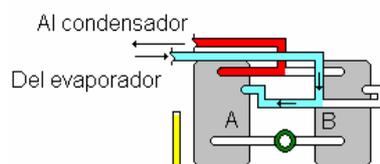
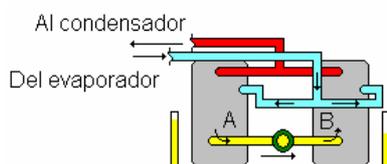
Centrales Frigoríficas:

Instalación de varios **compresores en paralelo**

- Aumenta la fiabilidad.
- Disminuye la potencia instalada
(factor simultaneidad)

Preferible combinar equipos de distintas capacidades (1-2-4-8, etc).

Hay que tener especial **cuidado con el aceite de lubricación**, ya que **el retorno** no se reparte por igual, requiere de tubería de equilibrado



3.- Elementos Auxiliares del Compresor (VII)

Selección del los compresores

Estudiar el **número y tamaño idóneos** de las unidades compresoras

(la parcialización de la carga de un compresor siempre supone pérdida de C.O.P)

Selección de **equipos de alto rendimiento**, haciéndoles funcionar en su punto **óptimo** o próximo a este, estudiando las cargas parciales

Compresor	400 kW	250 kW	150 kW
Rendimiento nominal	93%	92%	91%
Rend. Al 60% de la carga	90%	89%	88%
Rend. Al 30% de la carga	88%	87%	86%

En **cada régimen de trabajo** estudiar **la relación de compresión**. Cuanto menor sea más eficientemente es el sistema

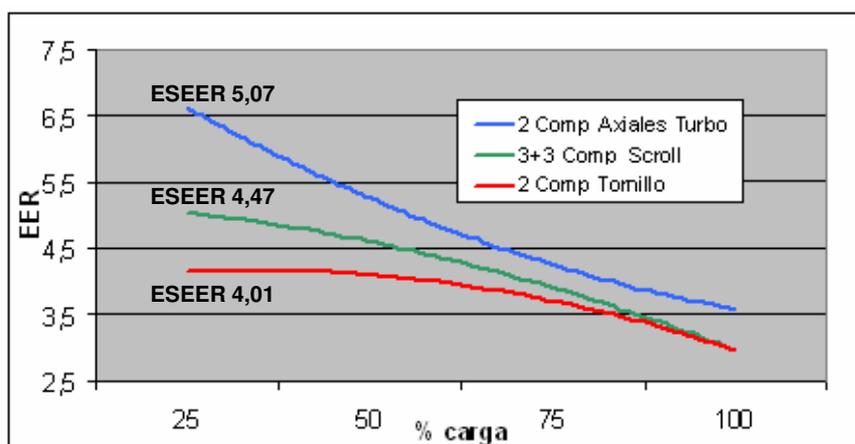
La combinación de **equipos de diferente tecnología** puede producir unos rendimientos energéticos muy altos

3.- Elementos Auxiliares del Compresor (VIII)

Selección del los compresores

Estudiar el **número y tamaño idóneos** de las unidades compresoras

(la parcialización de la carga de un compresor siempre supone pérdida de C.O.P)



4.- Condensadores (I)

Intercambiador de calor en el que el refrigerante, vapor a alta presión y temperatura, se licua, liberando calor a un medio exterior más frío (aire o agua)

- Sin pérdida de presión (teoría)
- Tamaño suficiente

Para el buen funcionamiento es preciso:

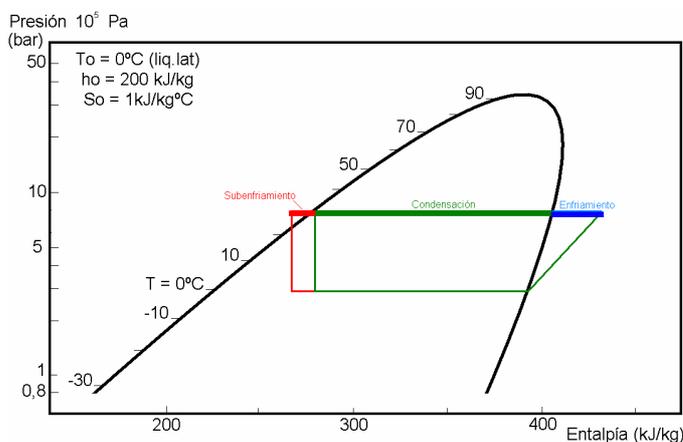
- Que esté limpio
- Colocación de filtros de aire o agua para impedir que se ensucie
- La temperatura del aire o agua ha de ser lo más baja posible

La **colocación** física del condensador es generalmente **junto al compresor**, unidad condensadora, se puede aprovechar la refrigeración del condensador para refrigerar también el compresor.

47

4.- Condensadores (II)

Subenfriamiento: asegurar la completa condensación del refrigerante (mejora la etapa de expansión, evita ruidos y desgastes)



Si es excesivo disminuye el aprovechamiento del condensador (calor latente > calor sensible)

48

4.- Condensadores (III)

Clasificación según el medio que absorbe el calor del refrigerante (I)

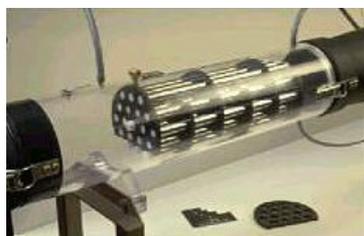
–**Condensadores de aire:**

- Tubo, aletas, ventilador en flujo cruzado
- Compacto (tamaño)
- Varios en paralelo (limitar pérdidas de carga)
- Transposición (idénticas condiciones a la salida)



–**Condensador de agua,** el tamaño necesitado es menor

- Intercambiador (en contracorriente, válvula presostática)
- De inmersión (acumulador)
- Evaporativo (pulverizar agua)



49

4.- Condensadores (IV)

Clasificación según el medio que absorbe el calor del refrigerante (II)

–**Condensador mixto,** combinando los dos anteriores

- Menor consumo de agua
- Aire o agua en función de la demanda

El **agua calentada** en la condensación se puede:

- **Almacenarse** para su posterior utilización (desescarche del evaporador)
- **Utilizarse** directamente en duchas, grifos,...
- **Verterse a la red,** agua perdida (válvula presostática de agua).
- **Enfriarse en una torre de refrigeración** para utilizar en circuito cerrado

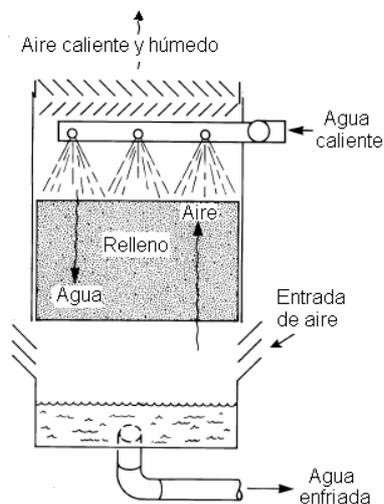
$P < 300 \text{ kW}$ es recomendable condensación por aire

$P > 300 \text{ kW}$ es recomendable condensación por agua

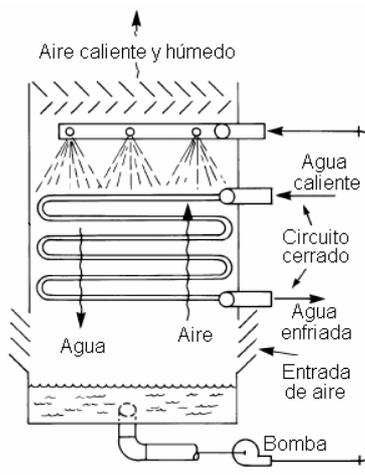
50

4.- Condensadores (V)

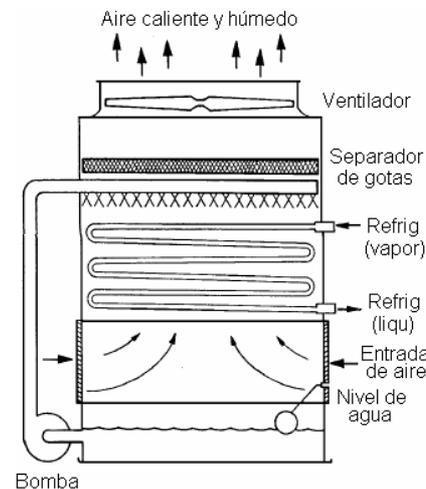
Torres de refrigeración (I)



Circuito abierto



Circuito cerrado

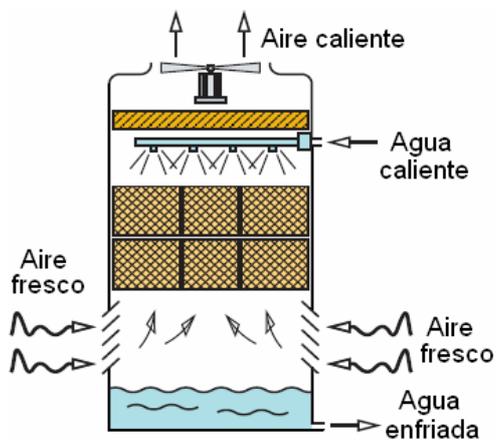


Condensador evaporativo

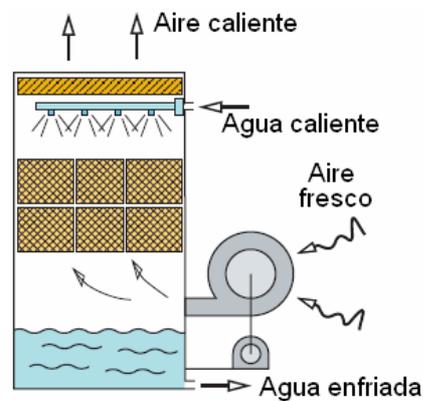
51

4.- Condensadores (VI)

Torres de refrigeración abiertas (I)



Tiro inducido



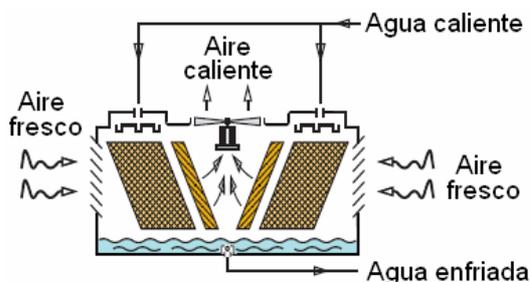
Tiro forzado

Tiro inducido consume menos energía en ventiladores, pero el ventilador trabaja con aire casi saturado (alta HR)

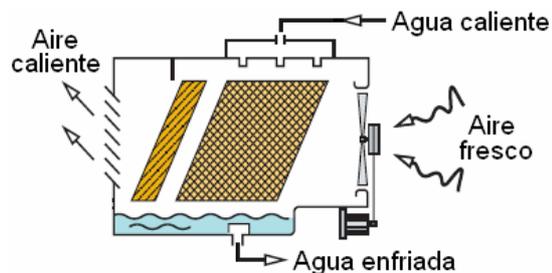
52

4.- Condensadores (VII)

Torres de refrigeración abiertas (II)



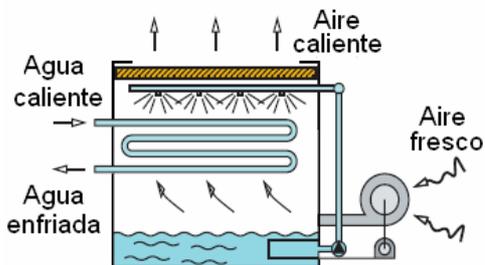
Flujo cruzado y tiro inducido



Flujo cruzado y tiro forzado

4.- Condensadores (VIII)

Torres de refrigeración cerradas

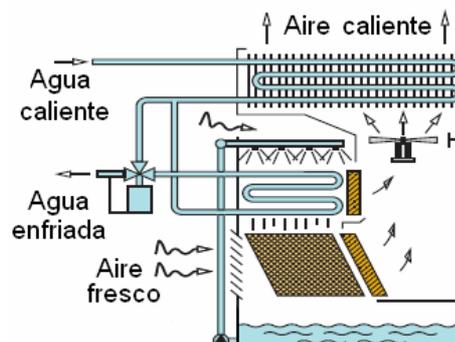


Tiro forzado

...

Purgas en torres húmedas para mantener la concentración de sales

Torres de refrigeración híbridas (parte seca y otra evaporativa)



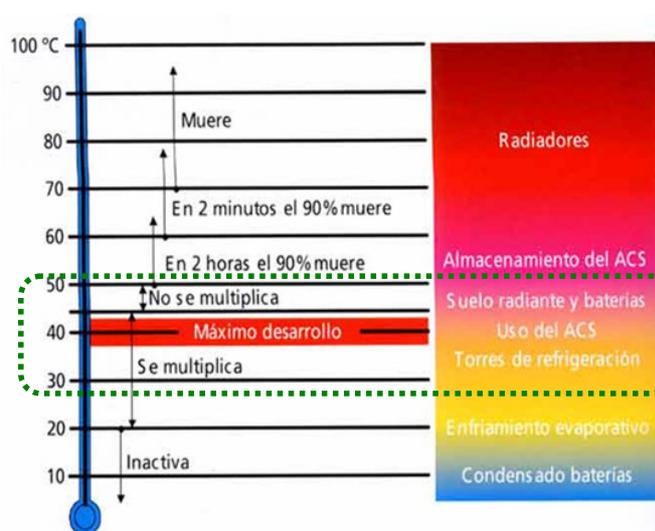
De circuito cerrado

...

4.- Condensadores (IX)

La **Legionella** (I)

- Bacteria dotada de flagelo ⇒ gran movilidad
- Presente en el agua dulce
- La proliferación se favorece por:
 - Temperatura
 - Corrosiones y oxidaciones
 - Estancamientos
 - Materia orgánica

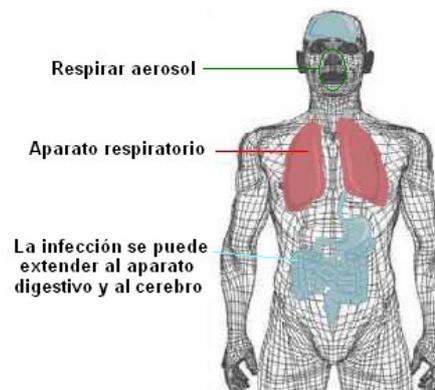


4.- Condensadores (X)

La **Legionella** (II)

Para ser infectado, se tienen que dar las condiciones:

- Penetración de las bacterias en el circuito de agua
- Multiplicación de las bacterias en el agua
- Dispersión de las bacterias en el aire (aerosol)
- Respirar las bacterias



Legionelosis (grave)

Neumonía causada al entrar la bacteria en los alveolos
 Fiebre alta, tos seca e inapetencias; posible: diarreas, vómitos, delirios
 Más propensos los, ancianos, fumadores, drogadictos ...
 De 1.000 expuestos entre 20 y 30 serían afectados y morirían 3 o 4

Fiebre de Pontiac

Fiebre y dolores musculares pero no neumonía
 Recuperación entre 2 y 5 días

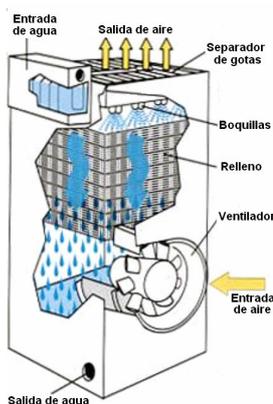
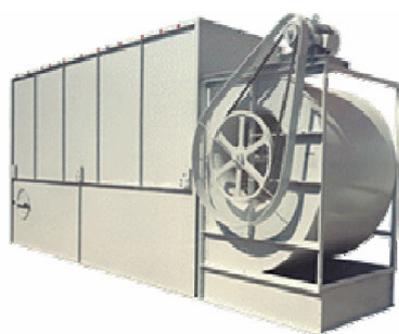
4.- Condensadores (XI)

La Legionella (III)

Las Instalaciones con mayor peligro de cara a un brote de legionelosis son:

- Torres de refrigeración
- Condensadores evaporativos
- A.C.S. con retorno (duchas y grifos)
- Humidificadores industriales
- Piscinas, balnearios, ...

- Pulverización de agua en aire
- Altas temperaturas
- Suciedad
- Corrosión e incrustaciones
- Materiales inadecuados



57

4.- Condensadores (XII)

La Legionella (IV)

Guía UNE EN 100.030

Guía para la prevención, control de proliferación y diseminación de la legionelosis (en diseño y explotación de sistemas)

- Colocar separadores de gotas de alta eficacia
- Instalar bandejas de recogida de agua con un desnivel apreciable (plástico)
- Utilizar válvulas de drenaje en todos los puntos bajos
- Emplear elementos desmontables que facilitan la limpieza
- Evitar situar las tomas de aire exterior cerca las torres de refrigeración

Real Decreto 865/2003

Criterios Higiénico-Sanitarios para la Prevención y Control de la Legionelosis (establece la probabilidad de proliferación y dispersión según la instalación)

RITE (e ITCs)

Mantenimiento de instalaciones

58

4.- Condensadores (XIII)

La Legionella (V)

En el mantenimiento preventivo:

- Físicos: reduciendo la presencia de materia orgánica e inorgánica
- Químicos: acondicionando con productos
- Controlando la calidad del agua (PH, dureza, alcalinidad, ...)

Se deben inspeccionar y limpiar eliminando sedimentos: torres de refrigeración, condensadores evaporativos, ...

Los procesos de desinfección son :

- Térmica; calentando el agua temporalmente por encima de los 70°C
- Química: añadiendo al agua cloro, ozono o peróxido de hidrógeno
- Radiación ultravioleta



Iones



Cl



Ozono

5.- Dispositivos de Expansión (I)

Asegurar la alimentación de refrigerante al evaporador en las condiciones de temperatura y presión apropiadas, de modo que se aproveche la totalidad del evaporador (recalentamiento justo)

Produce una gran pérdida de presión \Rightarrow una evaporación de parte del líquido

No existe intercambio térmico (no hay área) \Rightarrow Descenso de temperatura

Dispositivos de expansión (I)

• **Válvula de expansión fija:**

- Son un orificio de tamaño fijo
- Sin posibilidad de regulación
- Pequeñas instalaciones de funcionamiento conocido

5.- Dispositivos de Expansión (II)

Dispositivos de expansión (II)

• **Válvula de expansión automática:**

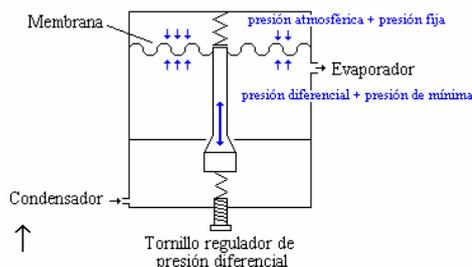
Son un orificio (regulable) que separa dos cámaras
Tienen un juego de presiones en una membrana
entre un muelle y la presión de mínima
Logran una presión de mínima cte

$$p_{\text{atmosférica}} + p_{\text{fija}} = p_{\text{regulable}} + p_{\text{mínima}}$$

p.ej: $1 + 5 = 4 + p_{\text{mínima}} \Rightarrow p_{\text{mínima}} = 2$

p.ej si $p_{\text{mínima}} \downarrow$: $1 + 5 < 4 + 1,5 \Rightarrow$ válvula abre $\Rightarrow p_{\text{mínima}} \uparrow$

p.ej si $p_{\text{mínima}} \uparrow$: $1 + 5 < 4 + 2,5 \Rightarrow$ válvula cierra $\Rightarrow p_{\text{mínima}} \downarrow$



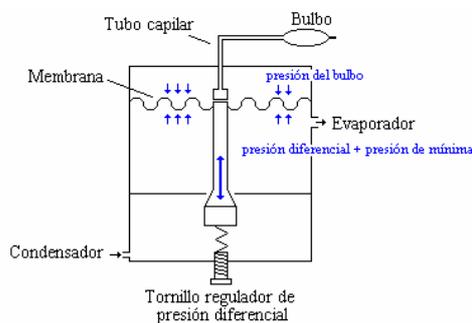
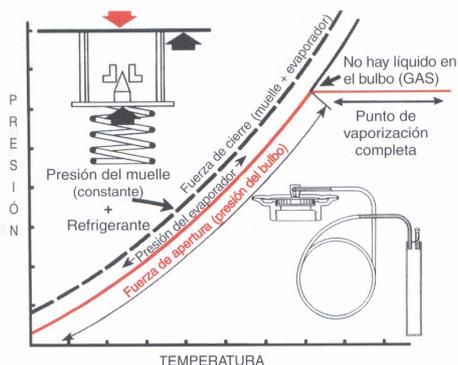
Con el compresor parado provocan un cierre

5.- Dispositivos de Expansión (III)

Dispositivos de expansión (III)

• **Válvula de expansión termostática (I):**

Añaden un bulbo, que realimenta en presión la
temperatura de salida del evaporador
(recalentamiento)



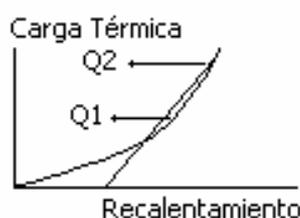
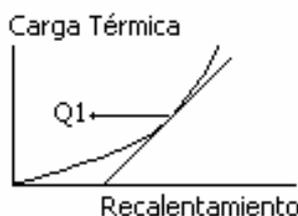
El bulbo en íntimo contacto con salida evaporador

5.- Dispositivos de Expansión (IV)

Dispositivos de expansión (IV)

• **Válvula de expansión termostática:**

- Pueden tener varias salidas
(evaporadores de aire en paralelo)
- Compensador de presiones
(grandes evaporadores)



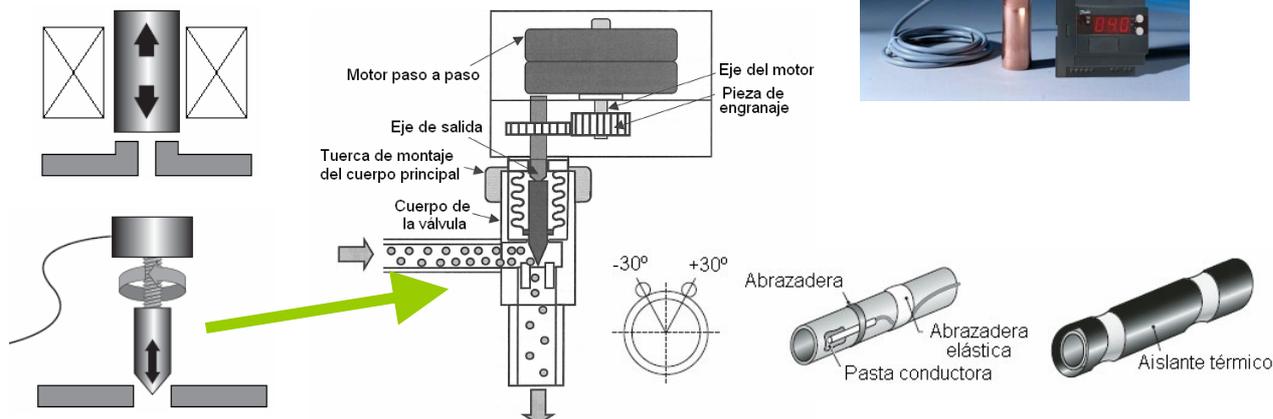
Punto de funcionamiento: corte de la válvula con el evaporador
(evitar inestabilidades)

5.- Dispositivos de Expansión (V)

Dispositivos de expansión (V)

• **Válvula de expansión electrónicas:**

- Sensores de p y T
- de pulsos
- modulantes



5.- Dispositivos de Expansión (VI)

Dispositivos de expansión (VI)

• **Tubos capilares:**

Longitud de 0,5 a 5 m

ϕ de 0,6 a 2,3 mm

Selección con experiencia y prueba y error

Pequeñas máquinas de funcionamiento fijo y conocido

Bajo coste

No cierran en las paradas



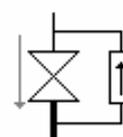
5.- Dispositivos de Expansión (VII)

Doble sentido de circulación

(compatibilizar el funcionamiento en verano con el de invierno)

VERANO

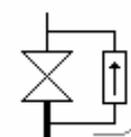
Ud exterior



Ud Interior

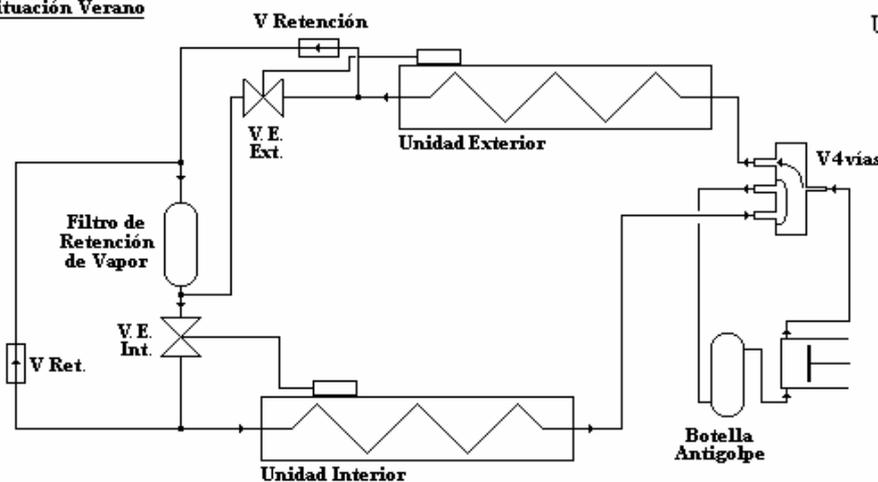
INVIERNO

Ud exterior



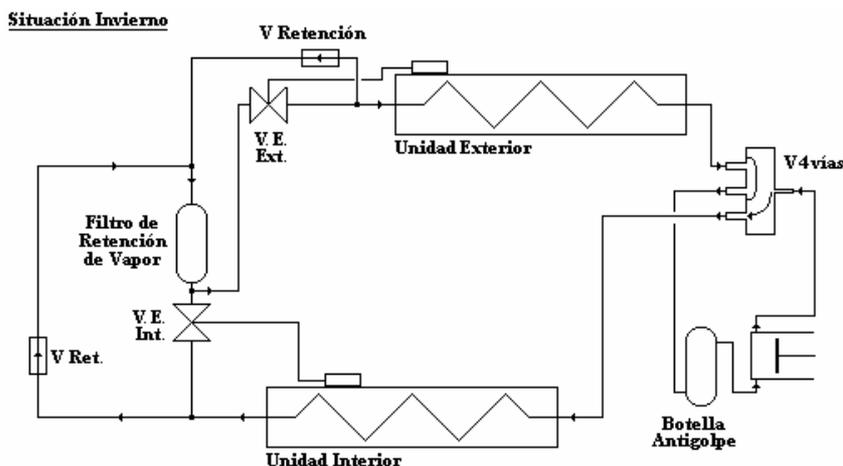
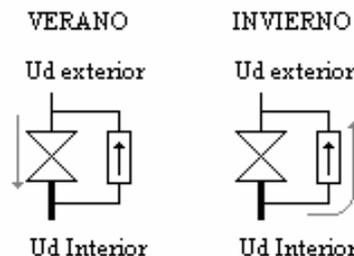
Ud Interior

Situación Verano



5.- Dispositivos de Expansión (VIII)

Doble sentido de circulación
(compatibilizar el funcionamiento en verano con el de invierno)



Una sola válvula \Rightarrow bulbo en la tubería de aspiración

67

6.- Evaporadores (I)

Intercambiador de calor, en él refrigerante, "líquido" a baja presión y temperatura, se evapora absorbiendo calor de un medio exterior más caliente (aire o agua)

Debe tener tamaño suficiente y provocar la mínima pérdida de presión posible

Siendo extenso el campo de aplicaciones del frío existen **multitud de tipos** de evaporadores, variando por su forma, construcción y aplicación.

Se clasifican en tres grandes grupos, que corresponden a los **sistemas de funcionamiento** del evaporador, y son:

- Sistema húmedo o inundado, el evaporador casi totalmente lleno de líquido
- Sistema seco, contiene la cantidad de refrigerante líquido absolutamente necesaria, reduciendo al mínimo la cantidad de refrigerante en el sistema, es el sistema más empleado
- Sistema semi-inundado, una variante del seco, son tubos conectados en paralelo a unos colectores distribuidores.

La entrada de refrigerante debe dosificarse al ritmo en que lo aspira el compresor

68

6.- Evaporadores (II)

Entre las **aplicaciones** más comunes están:

- Enfriamiento de aire: tubo con aletas
- Enfriamiento de agua: intercambiador de placas o de tubos (peligro de congelación)
- Serpentin sumergido en un tanque
- Para formación de hielo (placa sobre la que se rocía agua, y luego se desprende)



≈ Condensador

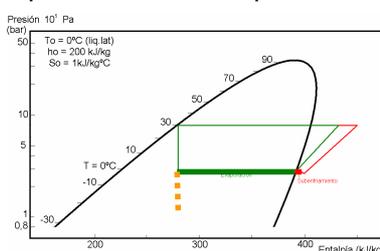
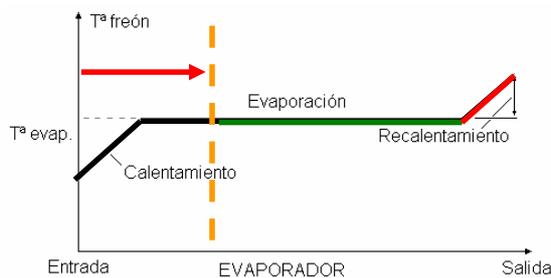
Asegurar la completa evaporación del refrigerante: Recalentamiento

(evita líquido en el compresor)

Si es excesivo aumenta el consumo del compresor

(aumenta el volumen del vapor)

(isoentrópicas con menor pendiente)

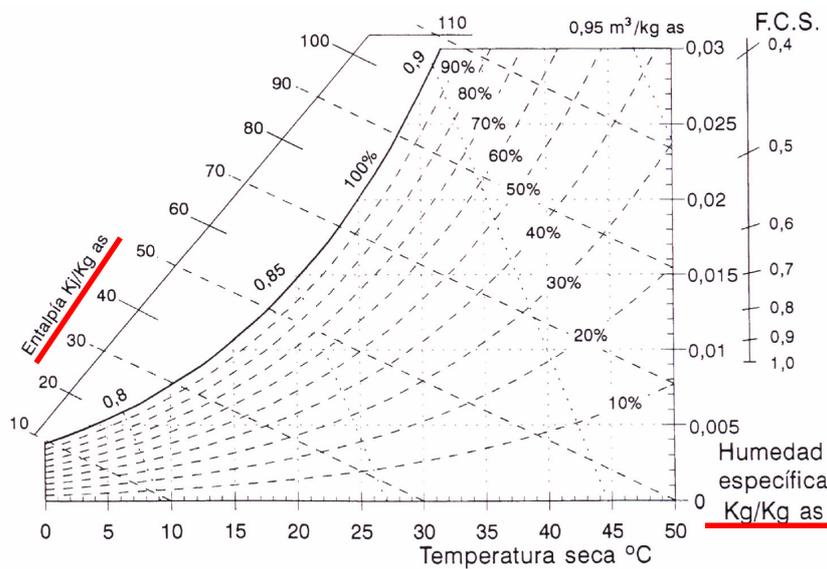


6.- Evaporadores (IV)

El Diagrama Psicrométrico repreenta las propiedades del aire húmedo

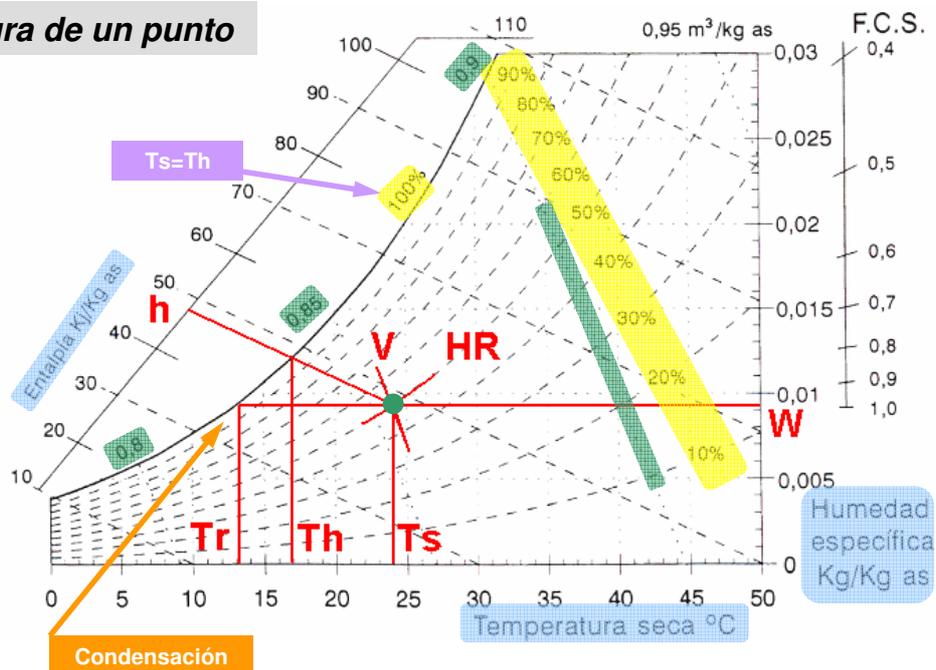
Hay que considerar la presión (altitud)

Existen diferentes tipos



6.- Evaporadores (V)

Lectura de un punto



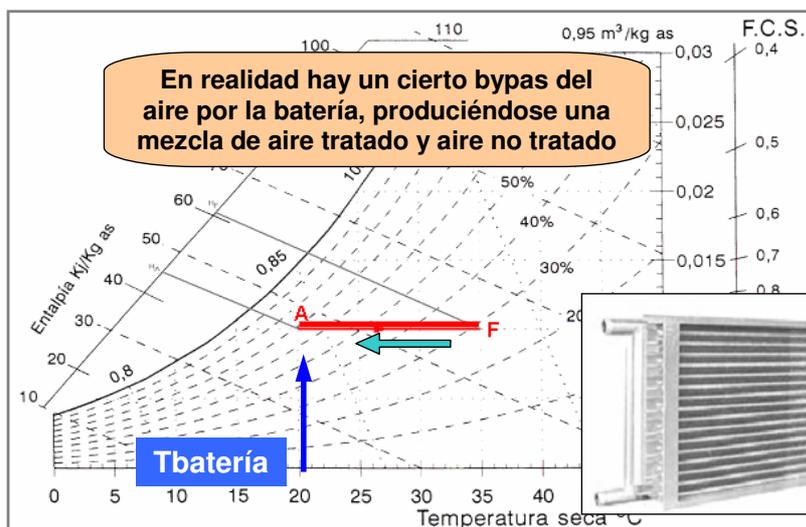
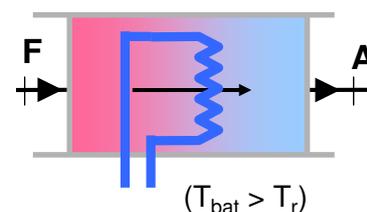
71

6.- Evaporadores (VI)

Enfriamiento sensible, sin deshumidificación

Paso por una batería fría a $T_{bat} > T_r$

No varía la humedad absoluta (W)



Q calor aportado (kCal / h)

$$Q = 0,24 M_{aire} (T_F - T_A)$$

$$Q = M_{aire} (h_A - h_F)$$

$$FB = \frac{M_{aire \text{ no tratada}}}{M_{aire \text{ total}}}$$

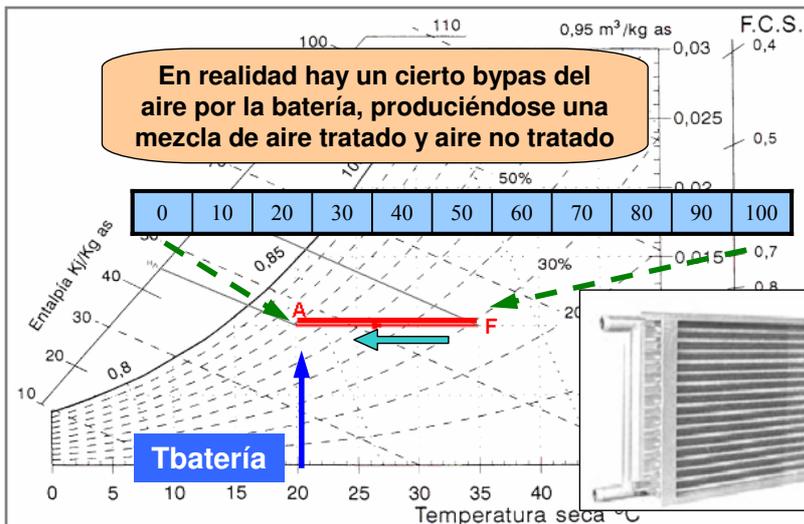
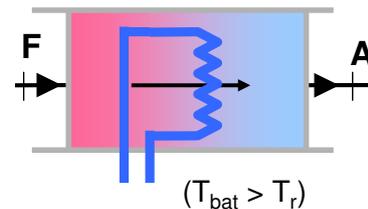
- nº filas
- Aletas
- Separación entre filas
- Separación entre aletas
- Velocidad del aire v_2

6.- Evaporadores (VI)

Enfriamiento sensible, sin deshumidificación

Paso por una batería fría a $T_{bat} > T_r$

No varía la humedad absoluta (W)



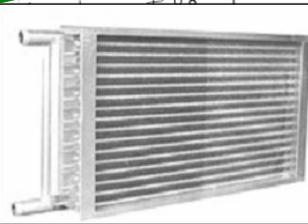
Q calor aportado (kCal / h)

$$Q = 0,24 M_{aire} (T_F - T_A)$$

$$Q = M_{aire} (h_A - h_F)$$

$$FB = \frac{M_{aire\ no\ tratada}}{M_{aire\ total}}$$

- nº filas
- Aletas
- Separación entre filas
- Separación entre aletas
- Velocidad del aire v_3

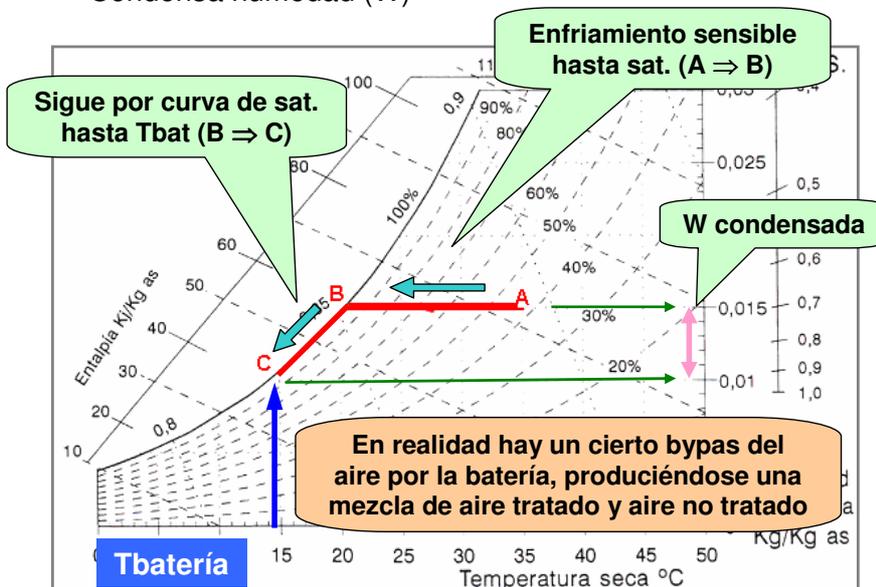
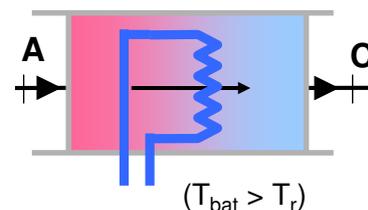


6.- Evaporadores (VII)

Enfriamiento con deshumidificación

Paso por una batería fría a $T_{bat} < T_r$

Condensa humedad (W)



$$FB = \frac{M_{aire\ no\ tratada}}{M_{aire\ total}}$$

- nº filas
- Aletas
- Separación entre filas
- Separación entre aletas
- Velocidad del aire

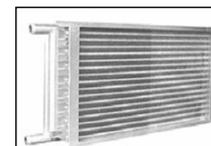
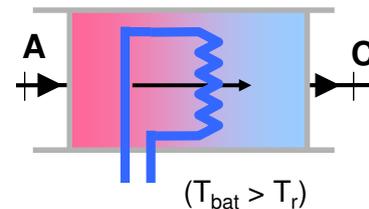


6.- Evaporadores (VII)

Enfriamiento con deshumidificación

Paso por una batería fría a $T_{bat} < T_r$

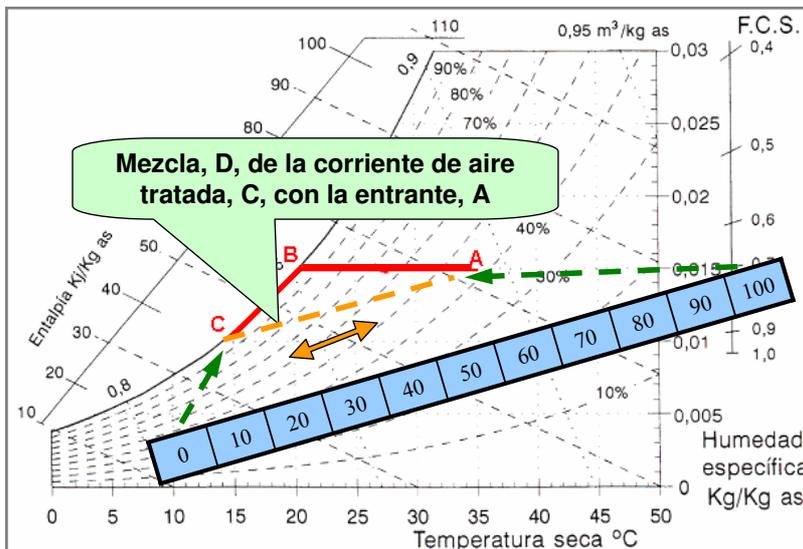
Condensa humedad (W)



$$FB = \frac{M_{\text{aire no tratada}}}{M_{\text{aire total}}}$$

- nº filas
- Aletas
- Separación entre filas
- Separación entre aletas
- Velocidad del aire

75

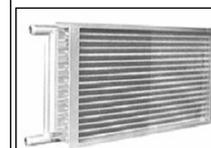
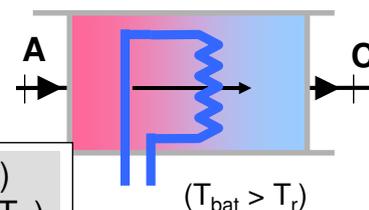


6.- Evaporadores (VII)

Enfriamiento con deshumidificación

Paso por una batería fría a $T_{bat} < T_r$

Condensa humedad (W)



$$Q_{\text{sustraido}} = M_{\text{aire}} (h_A - h_D)$$

$$Q_{\text{sensible}} = 0,24 M_{\text{aire}} (T_A - T_D)$$

$$Q_{\text{sustraido}} = Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latente}}$$

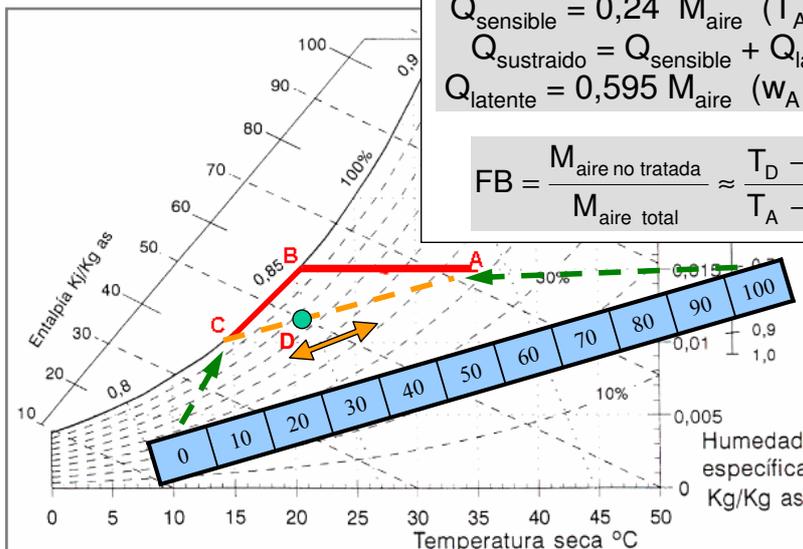
$$Q_{\text{latente}} = 0,595 M_{\text{aire}} (w_A - w_D)$$

$$FB = \frac{M_{\text{aire no tratada}}}{M_{\text{aire total}}} \approx \frac{T_D - T_C}{T_A - T_C}$$

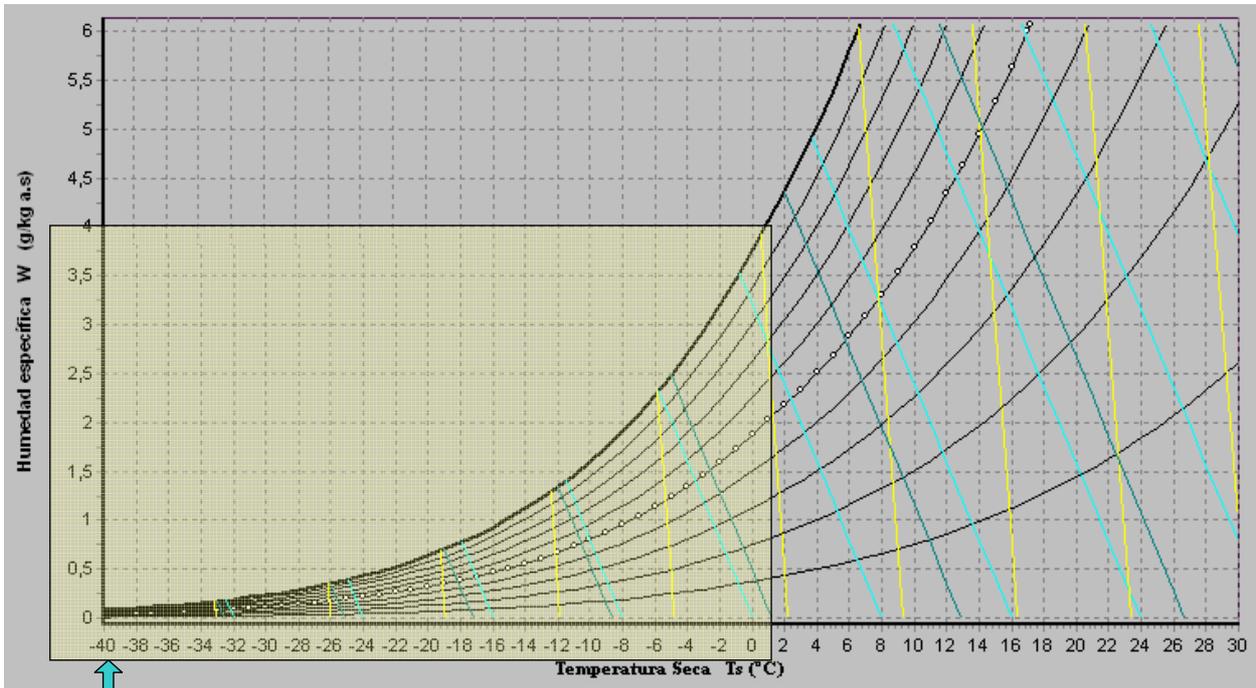
$$FB = \frac{M_{\text{aire no tratada}}}{M_{\text{aire total}}}$$

- nº filas
- Aletas
- Separación entre filas
- Separación entre aletas
- Velocidad del aire

76

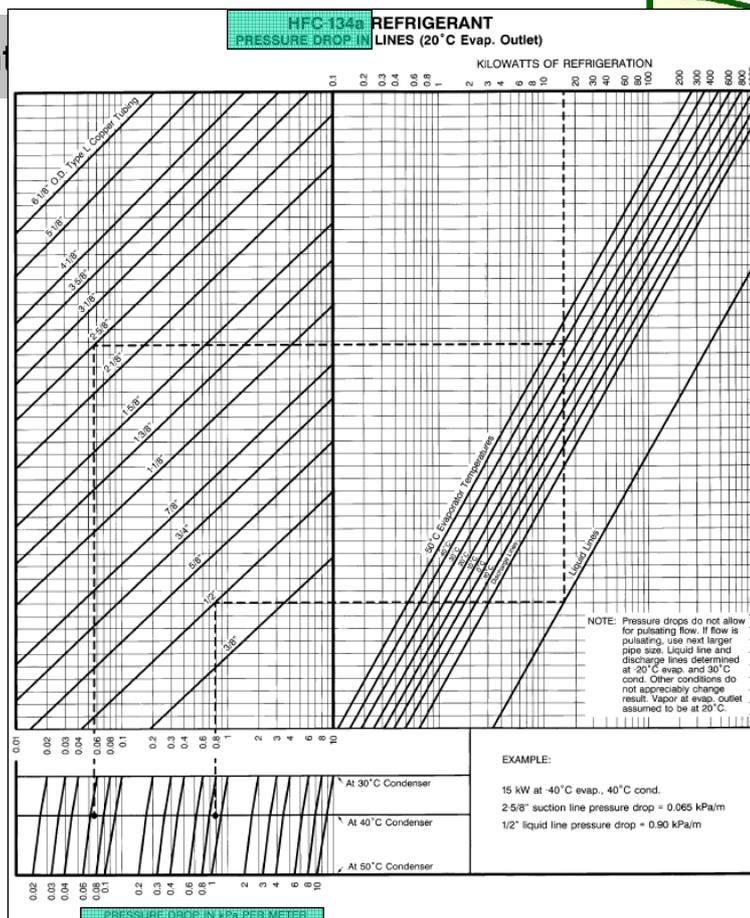


6.- Evaporadores (VIII)



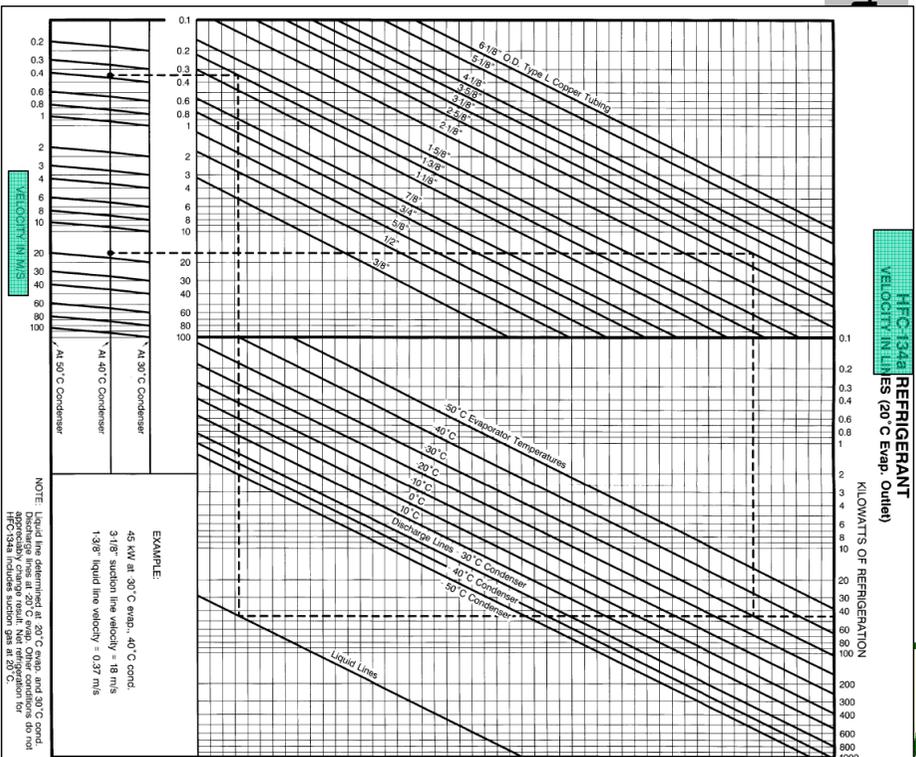
7.- Tuberías (I)

ASHRAE REFRIGERATION HANDBOOK, Ch 2
System Practices for Halocarbon Refrigerants



7.- Tuberías (II)

ASHRAE REFRIGERATION HANDBOOK, Ch 2 System Practices for Halocarbon Refrigerants



7.- Tuberías

ASHRAE REFRIGERATION HANDBOOK, Ch 2 System Practices for Halocarbon Refrigerants

Table 5 Suction, Discharge, and Liquid Line Capacities in Kilowatts for Single- or High-Stage Applications

Nominal Line OD, mm	Saturated Suction Temperature, °C			Saturated Discharge Temperature, °C			Liquid Line Capacity, kW
	-10	-5	0	-10	0	10	
318	0.62	0.76	0.92	1.11	1.33	1.69	6.51
368	1.18	1.45	1.76	2.12	2.54	3.23	10.60
425	2.06	2.52	3.60	3.69	4.42	5.61	16.00
487	3.64	4.45	5.40	6.50	7.77	9.87	24.50
555	7.19	8.80	10.70	12.80	15.30	19.50	41.00
	13.20	16.10	19.50	23.50	28.10	35.60	64.90
	21.90	26.80	32.40	39.00	46.50	59.00	95.20
	43.60	53.20	64.40	77.30	92.20	117.00	160.00
	77.70	94.60	115.00	138.00	164.00	208.00	248.00
	120.00	147.00	175.00	213.00	253.00	321.00	349.00
	257.00	313.00	379.00	454.00	541.00	686.00	744.00

STEEL LINE		TYPE L COPPER LINE	
Nominal Line OD, mm	Capacity, kW	Nominal Line OD, mm	Capacity, kW
10	0.87	1.06	1.37
15	1.62	1.96	2.36
20	3.41	4.13	4.97
25	6.45	7.81	9.37
32	13.30	16.10	19.40
40	20.00	24.20	29.10
50	38.60	46.70	56.00
65	61.50	74.30	89.30
80	109.00	131.00	158.00
100	222.00	268.00	322.00

Notes:
 1. Table capacities are in kilowatts of refrigeration.
 ΔP = pressure drop per equivalent line length, Pa/m
 ΔT = corresponding change in saturation temperature, K/m
 2. Line capacity for other saturation temperatures ΔT and equivalent lengths L_e

$$\text{Line capacity} = \text{Table capacity} \left(\frac{\text{Actual } L_e}{\text{Table } L_e} \right)^{0.555} \times \left(\frac{\text{Actual } \Delta T}{\text{Table } \Delta T} \right)^{0.555}$$

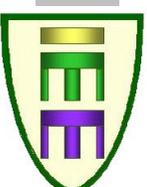
 3. Saturation temperature ΔT for other capacities and equivalent lengths L_e

$$\Delta T = \text{Table } \Delta T \left(\frac{\text{Actual } L_e}{\text{Table } L_e} \right)^{0.555} \times \left(\frac{\text{Actual } \Delta P}{\text{Table } \Delta P} \right)^{0.555}$$

 4. Values in the table are based on 40°C condensing temperature. Multiply table capacities by the following factors for other condensing temperatures.

Condensing Temperature, °C	Suction Line	Discharge Line
20	1.230	0.682
30	1.120	0.836
40	1.0	1.0
50	0.888	1.110

*The sizing shown is recommended where any gas generated in the receiver must return up the condense line to the condenser without restricting condense flow. Water-cooled condensers, where the receiver ambient temperature may be higher than the refrigerant condensing temperature, fall into this category.
 †The line pressure drop ΔP is conservative; if subcooling is substantial or the line is short, a smaller size line may be used. Applications with very little subcooling or very long lines may require a larger line.



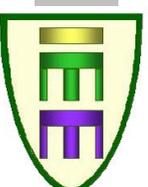
7.- Tuberías (IV)

ASHRAE REFRIGERATION HANDBOOK, Ch 2
System Practices for **Halocarbon** Refrigerants

Table 16
(Screwed, Welded, Flare, and Brazed Connections)

Nominal Pipe or Tube Size, mm	Smooth Bend Elbows						Flow Through Branch	Smooth Bend Tees		
	90° Sid ^a	90° Long-Radius ^b	Street ^c	45° Sid ^a	Street ^c	180° Sid ^a		Straight-Through Flow		
								No Reduction	Reduced 1/4	Reduced 1/2
10	0.4	0.3	0.7	0.2	0.3	0.7	0.8	0.3	0.4	0.4
15	0.5	0.3	0.8	0.2	0.4	0.8	0.9	0.3	0.4	0.5
20	0.6	0.4	1.0	0.3	0.5	1.0	1.2	0.4	0.6	0.6
25	0.8	0.5	1.2	0.4	0.6	1.2	1.5	0.5	0.7	0.8
32	1.0	0.7	1.7	0.5	0.9	1.7	2.1	0.7	0.9	1.0
40	1.2	0.8	1.9	0.6	1.0	1.9	2.4	0.8	1.1	1.2
50	1.5	1.0	2.3	0.8	1.4	2.3	3.0	1.0	1.4	1.5
65	1.8	1.2	3.0	1.0	1.6	3.0	3.7	1.2	1.7	1.8
80	2.3	1.5	3.7	1.2	2.0	3.7	4.6	1.5	2.1	2.3
90	2.7	1.8	4.6	1.4	2.2	4.6	5.5	1.8	2.4	2.7
100	3.0	2.0	5.2	1.6	2.6	5.2	6.4	2.0	2.7	3.0
125	4.0	2.5	6.4	2.0	3.4	6.4	7.6	2.5	3.7	4.0
150	4.9	3.0	7.6	2.4	4.0	7.6	9	3.0	4.3	4.9
200	6.1	4.0	9.1	3.0	5.0	9.1	12	4.0	5.5	6.1
250	7.6	4.9	11.3	4.0	6.1	11.3	15	4.9	7.0	7.6
300	9.1	5.8	13.3	4.9	7.1	13.3	18	5.8	7.9	9.1
350	10	7.0	15.3	5.5	8.1	15.3	21	7.0	9.1	10
400	12	8.1	17.3	6.1	9.1	17.3	24	8.1	10	12
450	13	8.8	18.3	7.0	9.9	18.3	26	8.8	11	13
500	15	10	20.3	7.9	10.9	20.3	29	10	12	15
600	18	12	24.3	9.1	12.9	24.3	35	12	13	18

^aR/D approximately equal to 1.5. ^bR/D approximately equal to 1.5. ^cR/D approximately equal to 1.5.



7.- Tuberías (IV)

Table 1
Suction Line Capacities in Kilowatts for **Ammonia** with Pressure Drops of 0.005 and 0.01 K/m Equivalent

Steel Nominal Line Size, mm	Saturated Suction Temperature, °C					
	-20		-10		-5	
	$\Delta P = 0.005$ K/m	$\Delta P = 0.01$ K/m	$\Delta P = 0.005$ K/m	$\Delta P = 0.01$ K/m	$\Delta P = 0.005$ K/m	$\Delta P = 0.01$ K/m
	$\Delta P = 42.2$ Pa/m	$\Delta P = 84.4$ Pa/m	$\Delta P = 69.2$ Pa/m	$\Delta P = 138.3$ Pa/m	$\Delta P = 92.6$ Pa/m	$\Delta P = 185.3$ Pa/m
10	0.19	0.29	0.35	0.51	0.58	0.85
15	0.37	0.55	0.65	0.97	1.09	1.60
20	0.80	1.18	1.41	2.08	2.34	3.41
25	1.35	2.28	2.72	3.97	4.48	6.51
32	3.27	4.80	5.71	8.32	9.36	13.58
40	4.97	7.27	8.64	12.57	14.15	20.49
50	9.74	14.22	16.89	24.50	27.57	39.82
65	15.67	22.83	27.13	39.27	44.17	63.77
80	28.08	40.81	48.36	69.99	78.68	113.30
100	57.95	84.10	99.50	143.84	161.77	232.26
125	105.71	153.05	181.16	261.22	293.12	420.83
150	172.28	248.91	294.74	424.51	476.47	683.18
200	356.67	514.55	609.20	874.62	981.85	1402.03
250	649.99	937.58	1107.64	1589.51	1782.31	2545.46
300	1045.27	1504.96	1777.96	2550.49	2859.98	4081.54

Note: Capacities are in kilowatts of refrigeration resulting in a line friction loss per unit equivalent pipe length (ΔP in Pa/m), with corresponding change in saturation temperature per unit length (ΔT in K/m).

ASHRAE REFRIGERATION HANDBOOK, Ch 3
System Practices for **Ammonia** Refrigerant

7.- Tuberías (IV)

ASHRAE REFRIGERATION HANDBOOK, Ch 3
System Practices for Ammonia Refrigerant

Table 2 Suction, Discharge Line, and Liquid Capacities in Kilowatts for Ammonia (Single- or High-Stage Applications)

Steel Nominal Line Size, mm	Suction Lines, $\Delta t = 0.02$ K/m					Discharge Lines, $\Delta t = 0.02$ K/m, $\Delta p = 684.0$ Pa/m			Steel Nominal Line Size, mm	Liquid Lines	
	Saturated Suction Temperature, °C					Saturated Suction Temp., °C				Velocity = 0.5 m/s	$\Delta p = 450.0$
	-40 $\Delta p = 76.9$	-30 $\Delta p = 116.3$	-20 $\Delta p = 168.8$	-5 $\Delta p = 276.6$	+5 $\Delta p = 370.5$	-40	-20	+5			
10	0.8	1.2	1.9	3.5	4.9	8.0	8.3	8.5	10	3.9	63.8
15	1.4	2.3	3.6	6.5	9.1	14.9	15.3	15.7	15	63.2	118.4
20	3.0	4.9	7.7	13.7	19.3	31.4	32.3	33.2	20	110.9	250.2
25	5.8	9.4	14.6	25.9	36.4	59.4	61.0	62.6	25	179.4	473.4
32	12.1	19.6	30.2	53.7	75.4	122.7	126.0	129.4	32	311.0	978.0
40	18.2	29.5	45.5	80.6	113.3	184.4	189.4	194.5	40	423.4	1469.4
50	35.4	57.2	88.1	155.7	218.6	355.2	364.9	374.7	50	697.8	2840.5
65	56.7	91.6	140.6	248.6	348.9	565.9	581.4	597.0	65	994.8	4524.8
80	101.0	162.4	249.0	439.8	616.9	1001.9	1029.3	1056.9	80	1536.3	8008.8
100	206.9	332.6	509.2	897.8	1258.6	2042.2	2098.2	2154.3	—	—	—
125	375.2	601.8	902.6	1622.0	2271.4	3682.1	3783.0	3884.2	—	—	—
150	608.7	975.6	1491.4	2625.4	3672.5	5954.2	6117.4	6281.0	—	—	—
200	1252.3	2003.3	3056.0	5382.5	7530.4	12195.3	12529.7	12864.8	—	—	—
250	2271.0	3625.9	5539.9	9733.7	13619.6	22028.2	22632.2	23237.5	—	—	—
300	3640.5	5813.5	8873.4	15568.9	21787.1	35239.7	36206.0	37174.3	—	—	—

Notes:
 1. Table capacities are in kilowatts of refrigeration.
 Δp = pressure drop due to line friction, Pa/m
 Δt = corresponding change in saturation temperature, K/m
 2. Line capacity for other saturation temperatures Δt and equivalent lengths L_e

$$\text{Line capacity} = \text{Table capacity} \left(\frac{\text{Table } L_e}{\text{Actual } L_e} \times \frac{\text{Actual } \Delta t^{0.55}}{\text{Table } \Delta t} \right)$$

 3. Saturation temperature Δt for other capacities and equivalent lengths L_e

$$\Delta t = \text{Table } \Delta t \left(\frac{\text{Actual } L_e}{\text{Table } L_e} \right) \left(\frac{\text{Actual capacity}}{\text{Table capacity}} \right)^{1.8}$$

 4. Values in the table are based on 30°C condensing temperature. Multiply table capacities by the following factors for other condensing temperatures:

Condensing Temperature, °C	Suction Lines	Discharge Lines
20	1.04	0.86
30	1.00	1.00
40	0.96	1.24
50	0.91	1.43

 5. Liquid line capacities are based on -5°C suction.

6.- Evaporadores (VIII)

La escarcha es un aislante térmico, disminuye el rendimiento del equipo

Necesidad de desescarchado

- Natural (larga duración)
- Goteo de agua caliente (calentada en el condensador)
- Resistencia eléctrica (fácil instalación)
- Bomba de calor
- Gas caliente...

Paro de los ventiladores

Temporizado
Detector de escarcha

Bandeja de condensados
Desagües



8.- Otros Dispositivos (I)

Válvula de 4 vías

Se encarga de invertir el flujo del refrigerante

Conexión de las tuberías:

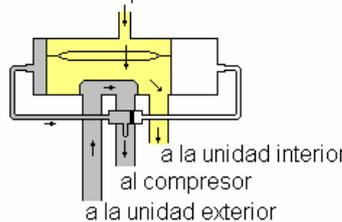
- Superior: descarga
- Enfrentada: aspiración
- Otras: las dos unidades



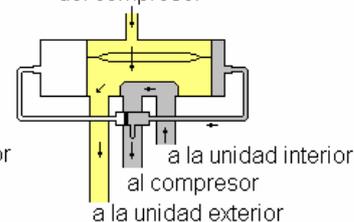
Pilotada eléctricamente

Acc. por la presión del refriger.

Situación de invierno del compresor



Situación de verano del compresor



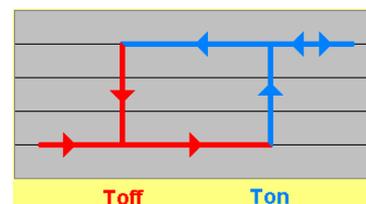
8.- Otros Dispositivos (II)

Termostatos

Control de encendido y apagado por temperatura
(banda de regulación, histéresis)



- T. diferencial



- T. ambiente



- T. Anticongelación



- T. Ambiente con desescarche semiautomático



8.- Otros Dispositivos (III)

Presostatos

- De máxima
- De mínima
- Conjunto



Otros dispositivos de seguridad

- Válvulas de seguridad
- De las instalaciones auxiliares (eléctricas, gas, agua, ...)

8.- Otros Dispositivos (IV)

Elementos de medida

- Termómetros
- Manómetros
- Consumos (eléctricos)



Visor de líquido-indicador de humedad



Filtro deshidratador

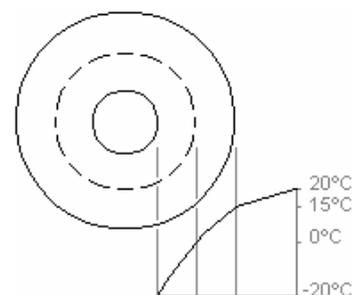
8.- Otros Dispositivos (V)

Válvulas



Aislamiento

Pérdidas térmicas
Quemaduras
Condensaciones



8.- Otros Dispositivos (VI)

The screenshot shows the ISCool Solutions software interface for a refrigerant cycle analysis using R417A. The main window displays a pressure-enthalpy (p-h) diagram on the left, a schematic diagram of the cycle on the right, and a detailed parameter table at the bottom.

Caídas de Presión (Pressure Drops):

- Linea líquida + Condensador: 0.00
- Evaporador: 0.00
- Linea de succión: 0.00

Recal. y Subenf. (Subcooling and Superheating):

- Subenfriamiento [K]: 5.0
- Sobrecalentamiento [E.vap.] [K]: 10.0
- Sobrecalentamiento [L.d.s.] [K]: 10.0

Other Parameters:

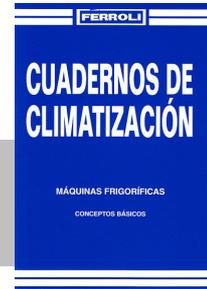
- Condensación t_c [°C]: 40.0
- Temperatura media [°C]: 38.7
- Presión de condensación p_c [bar]: 13.4814
- Evaporación t_e [°C]: -10.0
- Temperatura media [°C]: -11.4
- Presión de evaporación p_0 [bar]: 2.9756
- Capacidad frigor. Q_0 [kW]: 1.00
- Potencia del Compresor P [kW]: 0.355
- Potencia calorífica Q_c [kW]: 1.42
- Caudal [kg/s]: 0.0078
- Volumen desplazado [m³/h]: 1.95
- Capacidad volumétrica [kJ/m³]: 1849.2

Bibliografía del Tema (I)



Refrigeración Comercial
D Wirz

Cuadernos de Climatización
Máquinas Frigoríficas
FERROLI



Tecnología de la Refrigeración y Aire Acondicionado (T II)
W.C. Whitman, W.M. Johnson

Manual Técnico Valycontrol
http://www.valycontrol.com.mx/literatura_mt.htm



Bibliografía del Tema (II)



Guía Técnica: Torres de Refrigeración
IDAE

Guía para Mantenimiento
EUROVENT



STANDAR, Minimización
Riesgo de Legionela
ASHRAE

Bibliografía del Tema (III)

Revistas nacionales:

- El Instalador
- Montajes e Instalaciones

<http://www.carel.com/>
<http://www.danfoss.com/spain>
<http://www.emersonclimate.com/>



<http://www.bitzer.com/>
<http://www.carlylecompressor.com/>
<http://www.emersonclimate.com/>
<http://www.tecumseh.com/homepage.htm>

<http://www.salvadorescoda.com/>

<http://www.e-nergias.com/www/monograficos/guiaCOMadrid.htm>

