

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

CARLOS J RENEDO renedoc@unican.es

Despachos: ETSN 236 / ETSIIT S-3 28

<http://personales.unican.es/renedoc/index.htm>

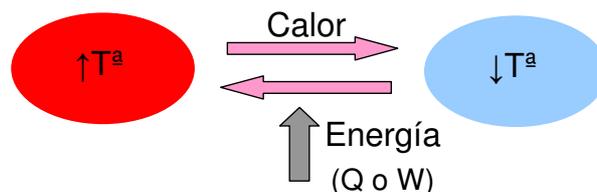
Tlfn: ETSN 942 20 13 44 / ETSIIT 942 20 13 82

- 1.- Producción de Frío
- 2.- Bomba de Calor
- 3.- Instalaciones de Aire Acondicionado
- 4.- Recuperación de Calor
- 5.- Acumulación de Hielo

Producción de Frío

- 1.- Introducción
- 2.- Refrigeración por Compresión
- 3.- Refrigeración por Absorción
- 4.- Refrigeración Evaporativa
- 5.- Bibliografía

1.- Introducción



Interviene un fluido (refrigerante, comportamiento conocido)
Sufre una serie de transformaciones termodinámicas

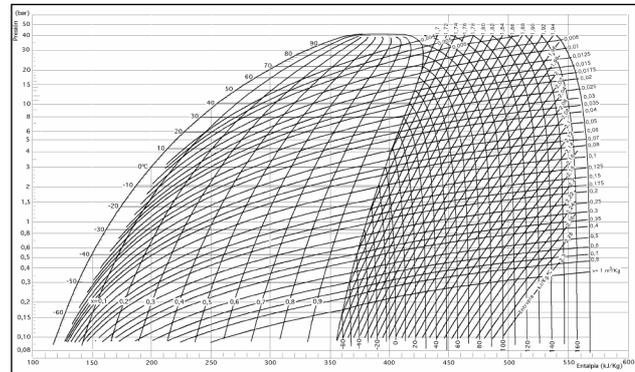
Refrigeración evaporativa, torres de refrigeración

2.- Refrigeración por Compresión (I)

Basado en los cambios de estado (líquido-vapor y vapor-líquido) de un fluido refrigerante

T de cambio de estado = $f(p)$
(si $p \downarrow$ la $T \downarrow$, si $p \uparrow$ la $T \uparrow$)

Q latente \gg Q sensibles
(\downarrow cant. refig y tamaño maq.)



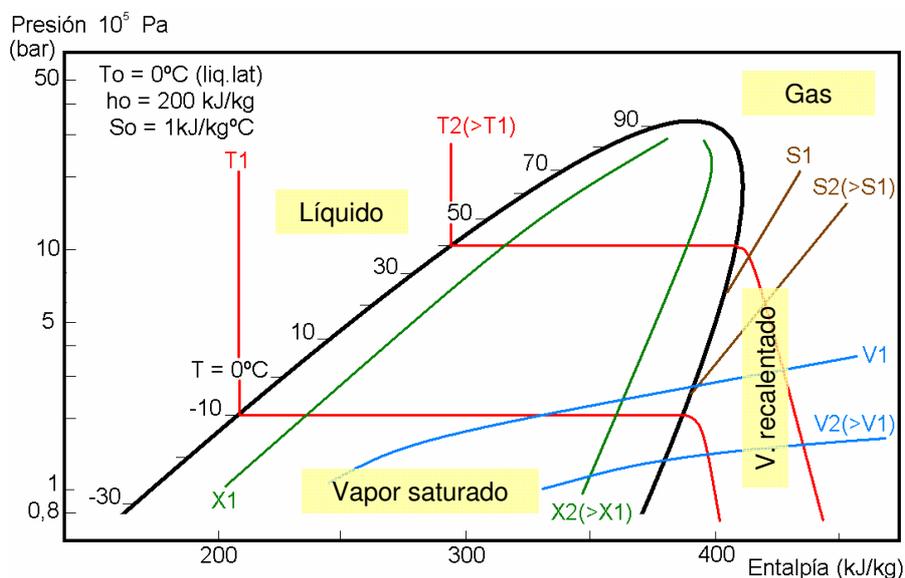
Su busca tener un líquido a baja p y T para evaporarlo

El calor requerido lo toma de los alrededores (los enfría)

En un sistema abierto el refrigerante se perdería en la atmósfera; lo normal es trabajar con ciclos de refrigeración

2.- Refrigeración por Compresión (II)

Diagrama de un fluido refrigerante

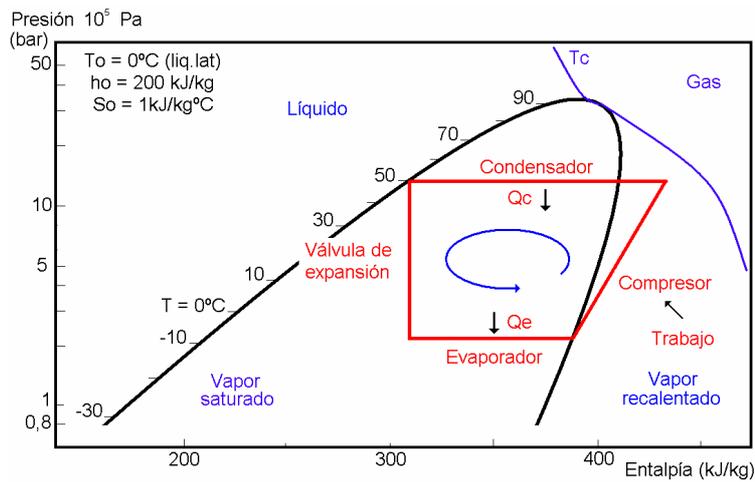


2.- Refrigeración por Compresión (III)

Ciclo de compresión

Los elementos requeridos son:

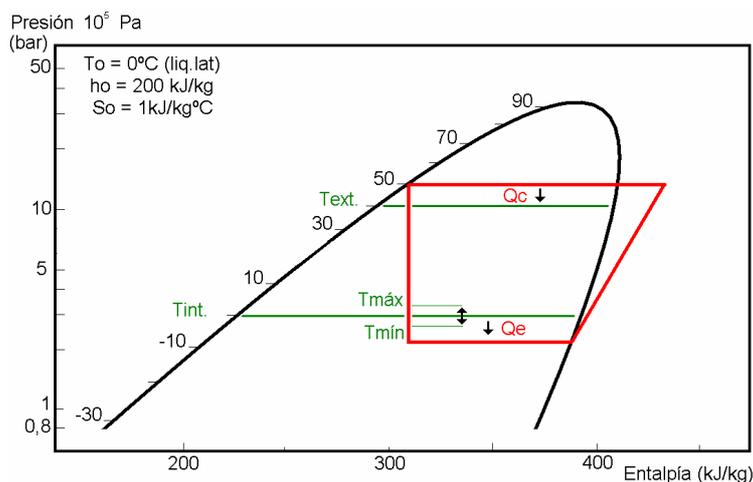
- evaporador
- compresor
- condensador
- expansión



2.- Refrigeración por Compresión (IV)

Límites de Funcionamiento

- En el evaporador: la T de la cámara > T del refigrig
- En el condensador: la T ambiente < T del refigrig



2.- Refrigeración por Compresión (V)

Rendimiento

Hay que conocer las energías y los calores;

- El calor extraído de la cámara es: $(h_3 - h_2)$ (kJ/kg)
- El calor cedido al exterior es: $(h_4 - h_1)$ (kJ/kg)
- El trabajo útil del compresor es: $(h_4 - h_3)$ (kJ/kg)

estos valores se obtienen del diagrama, ó acudiendo a las tablas

COP (coefficient of performance)

En función de las temperaturas del ciclo

Puede ser superior a 3

$$\text{COP} = \frac{\text{Calor Extraído } (h_3 - h_2)}{\text{Trabajo Compresor } (h_4 - h_3)}$$

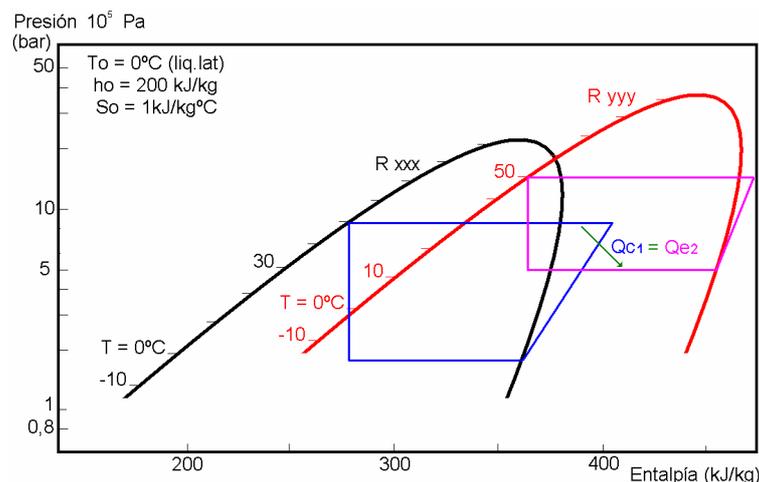
2.- Refrigeración por Compresión (VI)

Ciclos en Cascada

Un evaporador refrigera un condensador

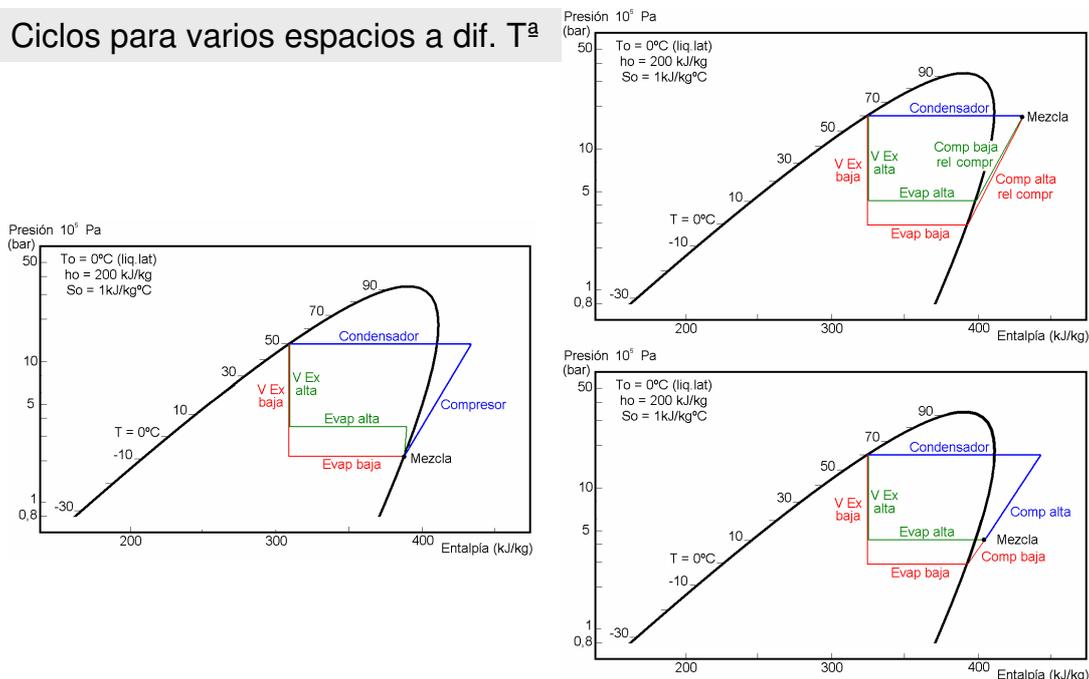
Con el mismo u otro refrigerante

Para $\downarrow T^a$



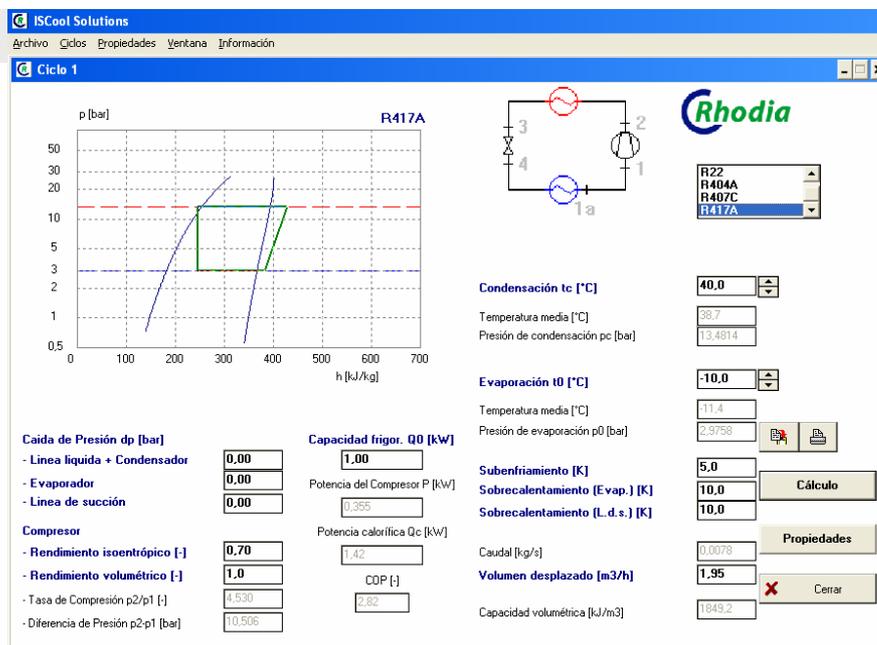
2.- Refrigeración por Compresión (VII)

Ciclos para varios espacios a dif. T^a



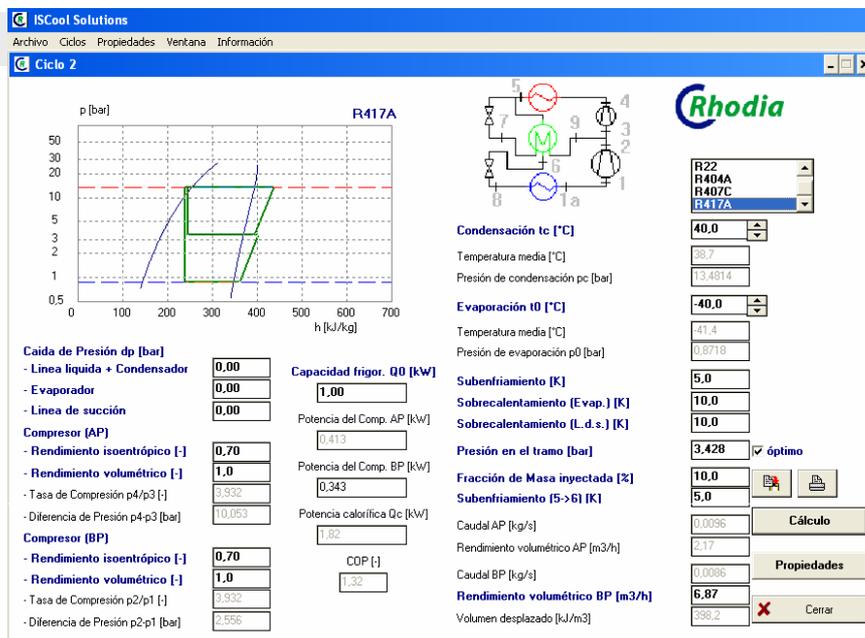
2.- Refrigeración por Compresión (VIII)

ISCOOL



2.- Refrigeración por Compresión (IX)

ISCOOL



2.- Refrigeración por Compresión (X)

ISCOOL

Tabla

R134a
R22
R404A
R407C
R417A

Estado:
 Saturado
 Sobrecalentado

Parámetro:
 Temperatura [°C]
 Presión [bar]

Parámetro:
Inicio: 10,00
Fin: 50,00
Incremento: 5,00

Tabla de cálculo Cancelar

t [°C]	p' [bar]	p'' [bar]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]	v' [dm3/kg]	v'' [dm3/kg]
10,00	6,489	5,826	213,59	378,59	1,0483	1,6316	0,8255	32,8840
15,00	7,493	6,789	220,59	381,43	1,0726	1,6313	0,8386	28,1966
20,00	8,609	7,866	227,74	384,16	1,0969	1,6311	0,8527	24,2589
25,00	9,847	9,066	235,07	386,78	1,1213	1,6308	0,8680	20,9334
30,00	11,212	10,398	242,59	389,26	1,1459	1,6304	0,8845	18,1102
35,00	12,712	11,867	250,31	391,59	1,1707	1,6299	0,9026	15,7016
40,00	14,356	13,481	258,26	393,75	1,1958	1,6293	0,9226	13,6364
45,00	16,150	15,248	266,49	395,70	1,2213	1,6283	0,9448	11,8573
50,00	18,103	17,172	275,02	397,43	1,2474	1,6271	0,9697	10,3173

2.- Refrigeración por Compresión (XI)

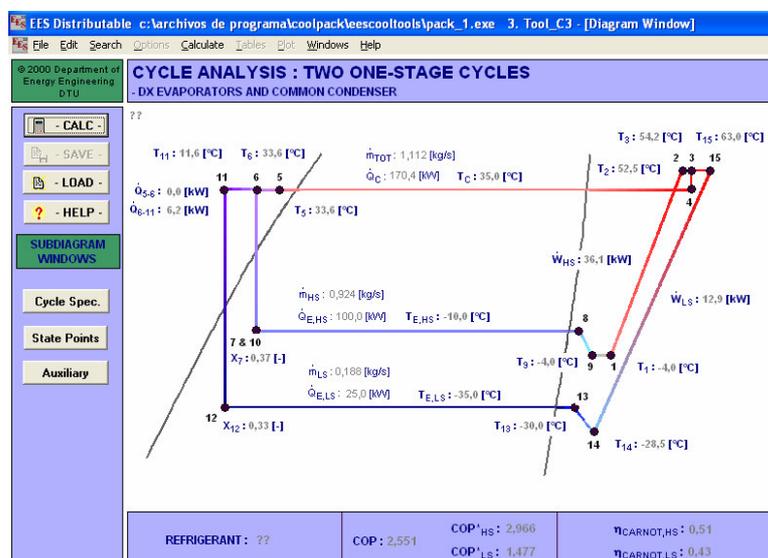
COOLPACK

Cycle analysis

- ONE-STAGE cycle - Dry expansion evaporators
- ONE-STAGE cycle - Liquid overfeed evaporators
- ONE-STAGE cycle - Two cycles with common condenser
- ONE-STAGE cycle - Two separate cycles
- Subcooling of liquid for low temperature system
- TWO-STAGE cycle - Cooling of high stage suction gas by liquid injection**
- TWO-STAGE cycle - Open intercooler (flash gas removal)
- TWO-STAGE cycle - Closed intercooler (with subcooling coil)
- ONE-STAGE Transcritical cycle with CO₂
- Two ONE-STAGE cycles in cascade

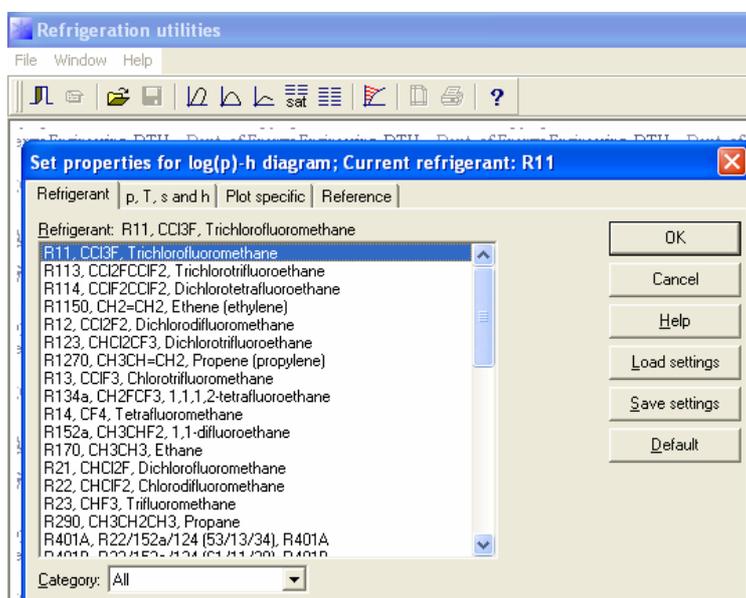
2.- Refrigeración por Compresión (XII)

COOLPACK



2.- Refrigeración por Compresión (XIII)

COOLPACK



...

2.- Refrigeración por Compresión (XIV)



3.- Refrigeración por Absorción (I)

El ciclo necesita calor a $\uparrow T$ (generador), para obtener efecto refrigerante a $\downarrow T$ (evaporador); como residuo se ha de extraer calor a media T (absorbedor y condensador)

Su coste de operación es bajo si el calor es residual. Apenas tienen partes móviles, no genera vibraciones ni ruidos, y tiene mantenimiento reducido

Se usa una **mezcla de dos componentes**: refrigerante y absorbente. Las mezclas más utilizadas son: $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ y $\text{LiBr-H}_2\text{O}$

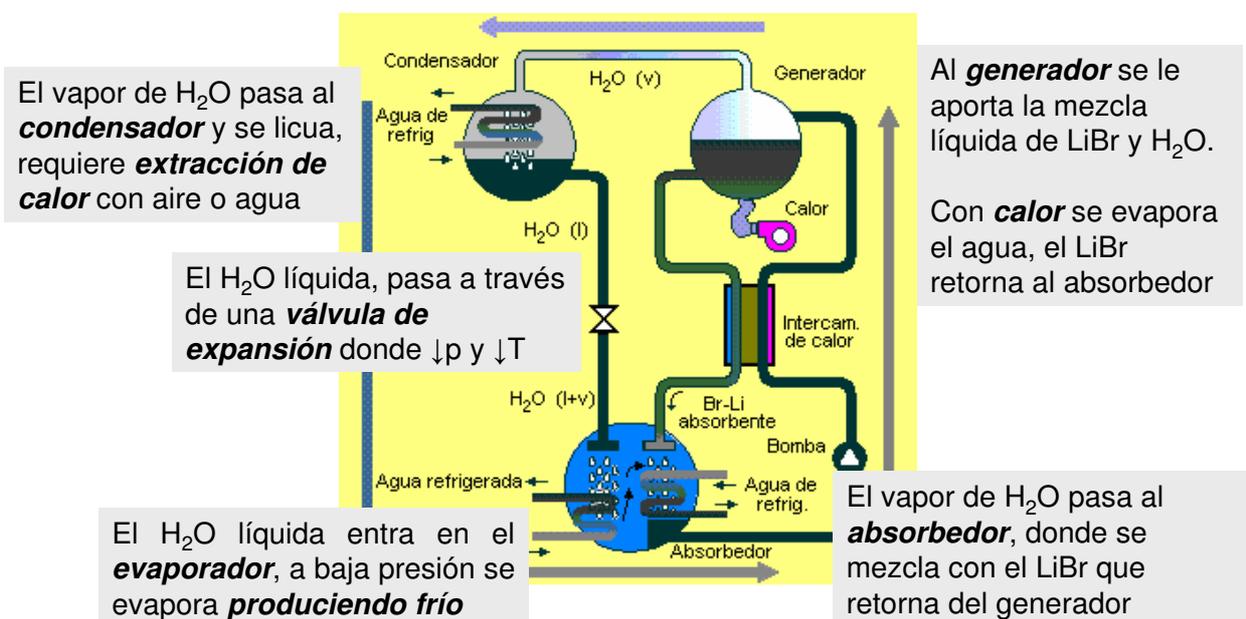
- El NH_3 es el refrigerante y el H_2O el absorbente
- El H_2O es el refrigerante, y el LiBr el absorbente ($T > 0^\circ\text{C}$, entre 5 y 10°C)

La **tensión de vapor** del refrigerante **se ve alterada por** la presencia del **absorbente** (\downarrow al \uparrow la cantidad de absorbente).

Con la concentración de la mezcla, se controla la T de evaporación. Se debe mantener la solución en una temperatura y concentración necesaria, para que la tensión de vapor sea inferior a la del refrigerante en el evaporador

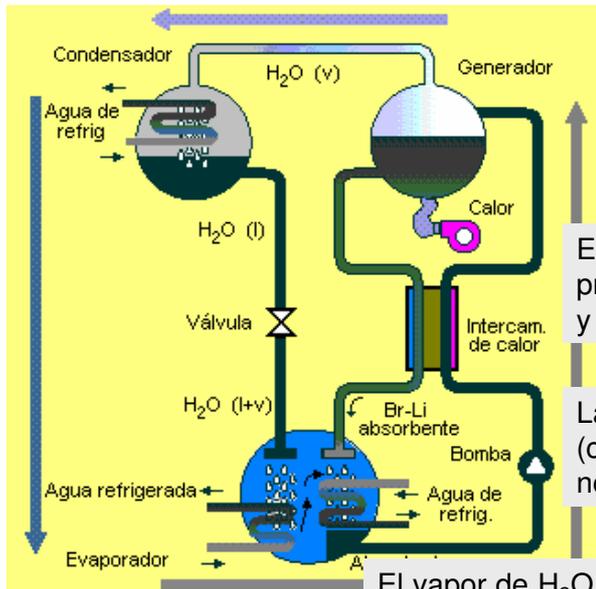
3.- Refrigeración por Absorción (II)

Una máquina de absorción de **efecto simple**, de $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ (I)



3.- Refrigeración por Absorción (III)

Una máquina de absorción de **efecto simple**, de LiBr-H₂O (II)



El paso de la mezcla desde el absorbedor al generador requiere aumentar la presión, esto requiere **una bomba**, que es la única parte móvil del sistema

En un **intercambiador de calor** se precalienta la mezcla que va al generador y se enfría el LiBr que va al absorbedor

La reacción es exotérmica, refrigerarse, (conjuntamente con el condensador), de no ser así $\uparrow p$, dificultando la absorción

El vapor de H₂O pasa al **absorbedor**, donde se mezcla con el LiBr que retorna del generador

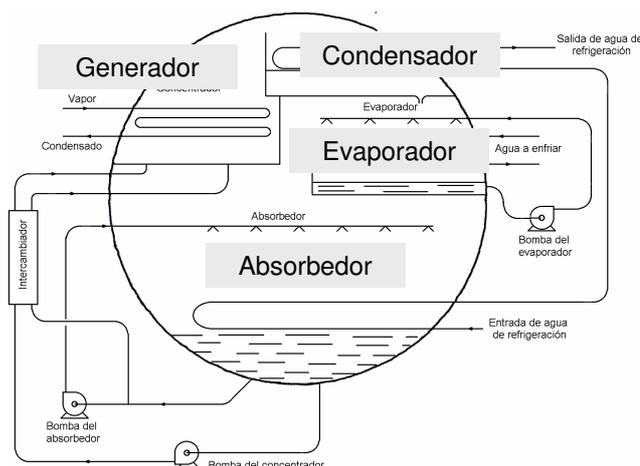
3.- Refrigeración por Absorción (IV)

El calor que se debe eliminar ($Q_{abs} + Q_{cond}$) es grande, ($Q_{gen} + Q_{evap}$)

En máquinas de absorción: ($Q_{abs} + Q_{cond}$) \cong 2,6 Potencia maquina

En máquinas de compresión: (Q_{cond}) \cong 1,25 Potencia maquina

Q eliminado en absorción \cong 2 Q eliminado en compresión



Las máquinas suelen tener dos partes:
• el generador y el condensador
• el evaporador y el absorbedor

Hay fabricantes que colocan toda la máquina en una única carcasa

3.- Refrigeración por Absorción (V)

El suministro térmico en los arranques debe ser mayor que en régimen

La capacidad se controla con la concentración el absorbedor:

- Estrangulando la alimentación de calor en el generador
- Disminuyendo la refrigeración del condensador
- Regulando el caudal que le llega al hervidor
- Bypassando la solución con una válvula de tres vías en el hervidor (las dos conexiones con el absorbedor)

Sistema bromuro de litio-agua (BrLi-H₂O), en el generador T^a de 100 °C

Sistema amoniaco-agua (NH₃-H₂O), en el generador de 120-150 °C
El NH₃ es tóxico y además ataca el cobre

3.- Refrigeración por Absorción (VI)

En el **rendimiento del ciclo** hay que considerar el aporte de calor en el generador, la energía mecánica (bombas y ventiladores) se desprecia

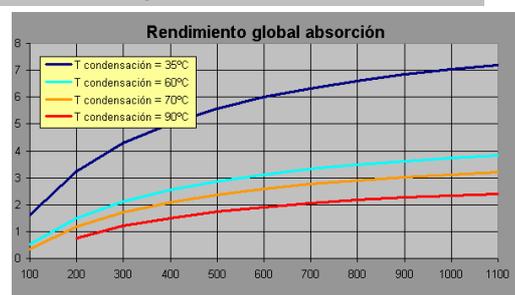
$$\text{COP}_{\text{Ciclo Abs}} = \frac{T_{\text{evaporador}}}{T_{\text{condensador}} - T_{\text{evaporador}}} = \frac{\text{Efecto Refrigerante}}{\text{Entrada Calor}}$$

El *COP* típico de las máquinas comerciales de LiBr-H₂O, es de 0,7
El rendimiento total es el de la producción del frío por el de la de calor

$$\eta_{\text{Frío Abs}} = \eta_{\text{abs}} \eta_{\text{carnot}} = \frac{T_{\text{evaporador}}}{T_{\text{condensador}} - T_{\text{evaporador}}} \frac{T_{\text{generador}} - T_{\text{condensación}}}{T_{\text{generador}}} \quad \text{con T en K}$$

η ↑ al ↑ T en el generador

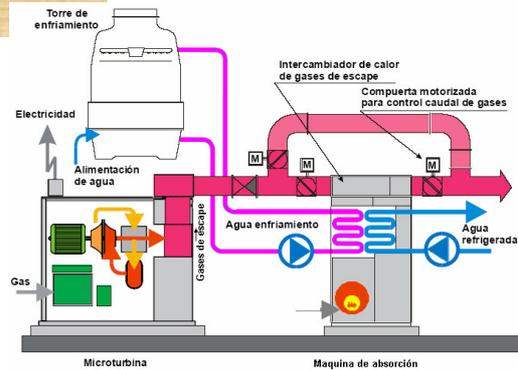
η ↓ al ↑ T en el condensador/absorbedor



3.- Refrigeración por Absorción (VII)

Las **máquinas** son **voluminosas y caras**, especialmente si funcionan con T bajas en el generador

Sólo son rentables cuando el calor muy barato, y las horas de funcionamiento anual a plena carga son elevadas



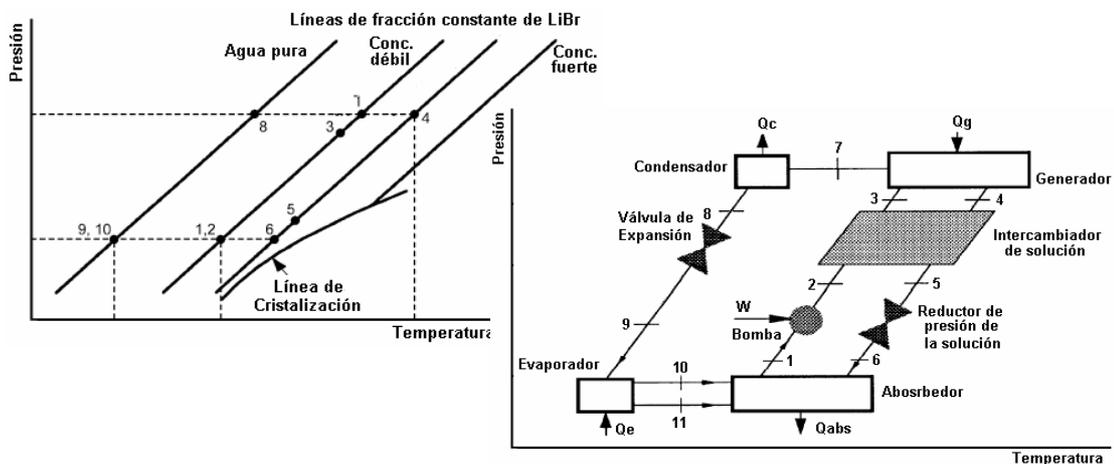
En los sistemas solares la disponibilidad de calor con la necesidad de refrigeración

La intermitencia del Sol hace necesario un sistema de almacenamiento térmico

No son rentables

3.- Refrigeración por Absorción (VIII)

El diagrama que representa la mezcla de trabajo es el **Dühring (P-T)**

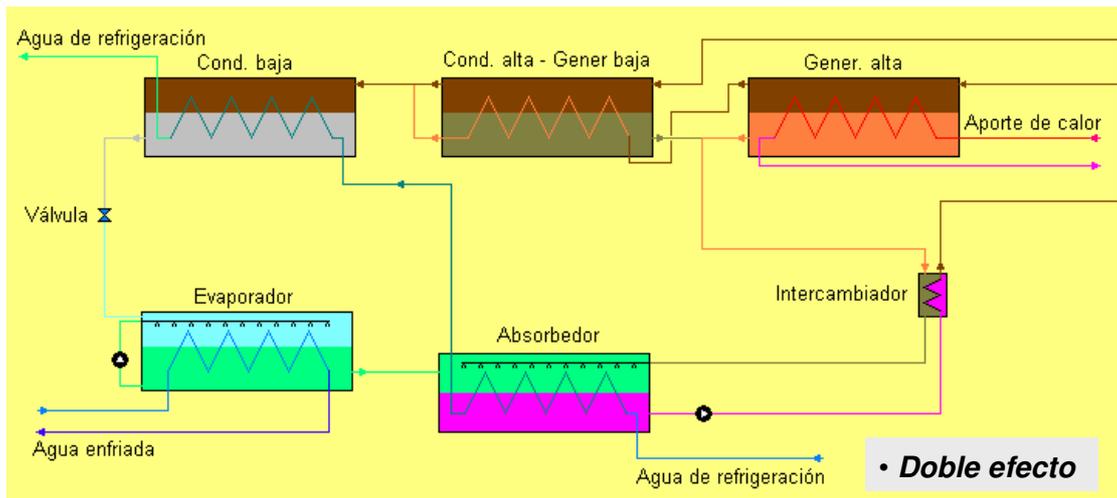
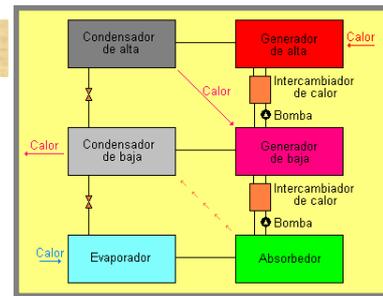


Se debe evitar la **cristalización** de la sal, que depende de la presión, y es peligroso en el arranque de la máquina, cuando la T es baja

3.- Refrigeración por Absorción (IX)

Otros ciclos de absorción (I)

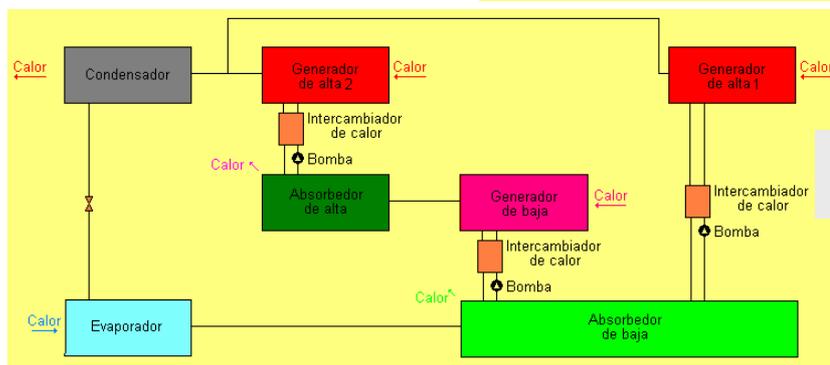
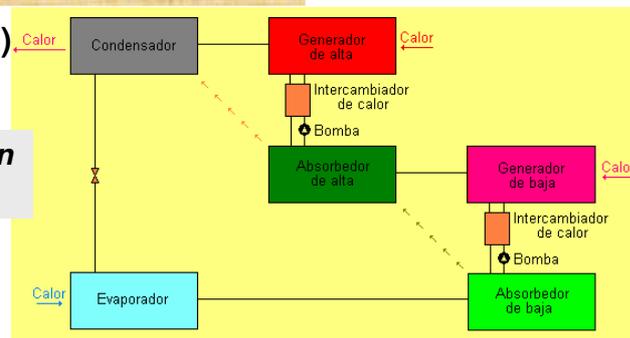
Buscan aumentar la capacidad frigorífica, el rendimiento, o poder realizar el suministro térmico a temperaturas reducidas



3.- Refrigeración por Absorción (X)

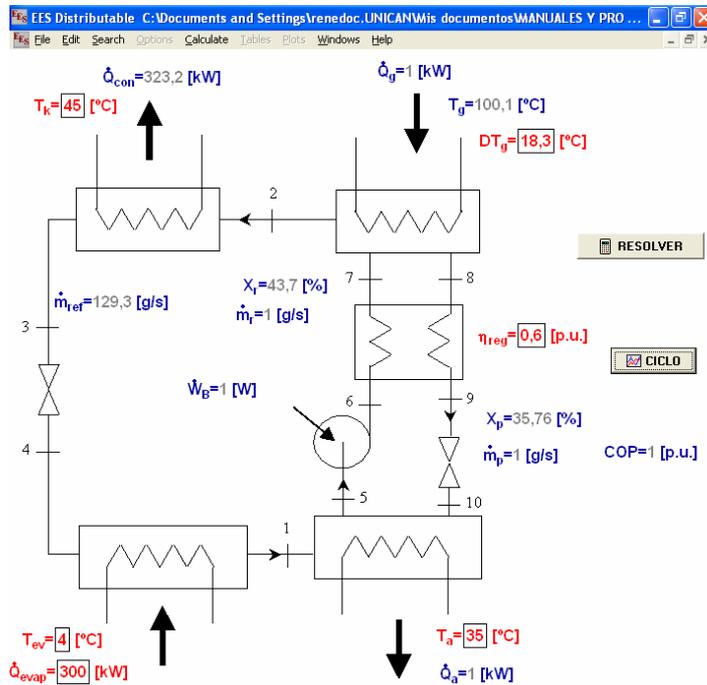
Otros ciclos de absorción (II)

• Medio efecto con dos escalones

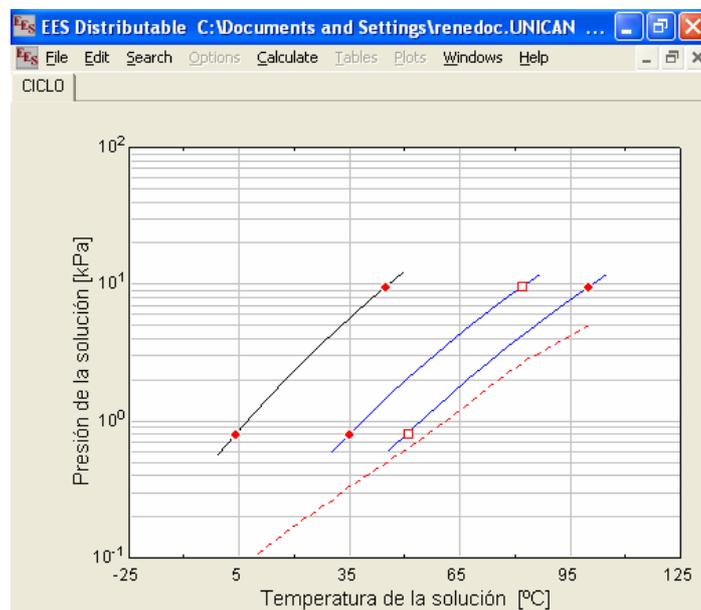


• Efecto simple en dos escalones

3.- Refrigeración por Absorción (XI)



3.- Refrigeración por Absorción (XII)



4.- Refrigeración Evaporativa (I)

Transferencia de calor y masa de agua $Q_{\text{SENSIBLE}} \Rightarrow Q_{\text{LATENTE}}$:

el aire no saturado es enfriado por la exposición al agua más fría en condiciones de aislamiento térmico, h cte, hasta la saturación adiabática

La **clasificación de los sistemas evaporativos** :

- **Directos**: el agua se evapora en la corriente de aire que se desea enfriar, aumentando la humedad
- **Indirectos**: la evaporación se efectúa en una corriente secundaria de aire, la cual intercambia calor sensible con la corriente primaria, que de este modo no recibe ninguna humedad
- **Mixtos**: mezcla de los dos anteriores

4.- Refrigeración Evaporativa (II)

Psicrometría

La **psicrometría** estudia la mezcla aire-vapor

Aire saturado: $p_v = p_{\text{sat}}(T)$

Temperatura de rocío: $T \Rightarrow p_{\text{actual}} = p_{\text{sat}}$

Humedad específica (x): es la cantidad de vapor de agua por masa de aire, [kg vapor agua / kg aire seco]

$$x = 0,622 \frac{p_v}{p - p_v}$$

Humedad relativa (ϕ , HR): la relación entre p_v y p_{sat} en %

$$\phi = \text{HR} = \frac{p_v}{p_{\text{sat}}} 100$$

Saturación adiabática: aporte de agua hasta la sat. en una cámara térmicamente aislada

$$h_s = h_0 + (w_s - w_0) h'_1$$

h'_1 (del ag. aportada)

Temperatura de bulbo húmedo: es la $T_{\text{sat adiabática}}$

4.- Refrigeración Evaporativa (III)

Psicrometría

Temperatura de bulbo seco, T_{BS} (T_{aire})

Temperatura de bulbo húmedo, T_{BH} (T_{agua})

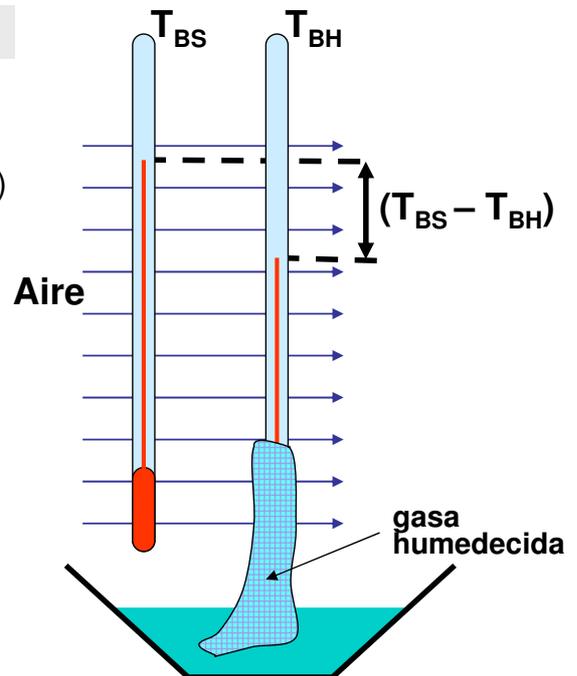
$T_{BS} = T_{BH} \Rightarrow$ aire saturado

$T_{BS} > T_{BH} \Rightarrow$ aire no saturado

$(T_{BS} - T_{BH})$ en tablas \rightarrow HR

Si $(T_{BS} \gg T_{BH}) \Rightarrow$ HR baja

Si $(T_{BS} \approx T_{BH}) \Rightarrow$ HR alta



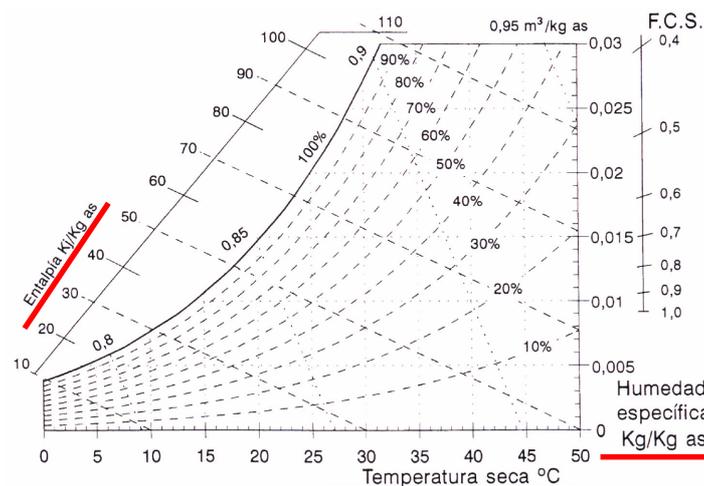
4.- Refrigeración Evaporativa (IV)

El Diagrama Psicrométrico

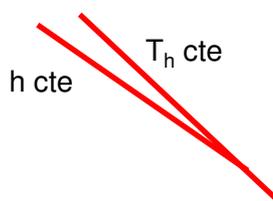
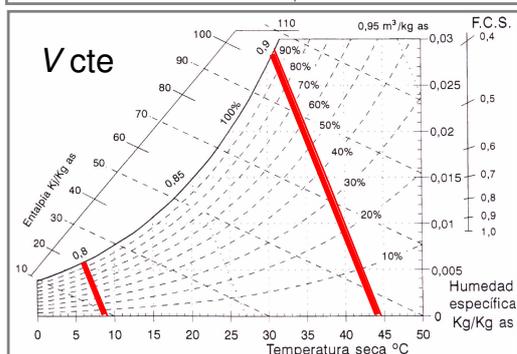
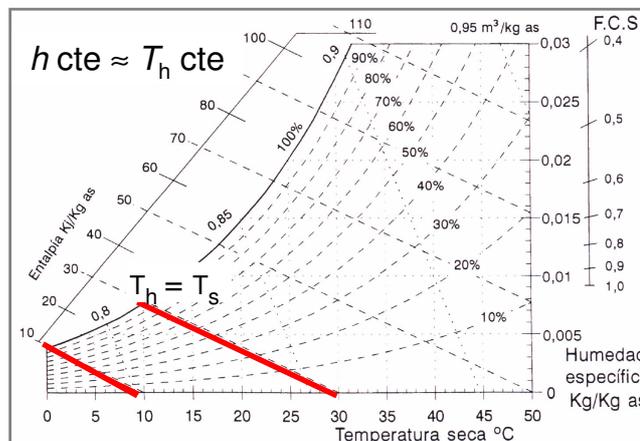
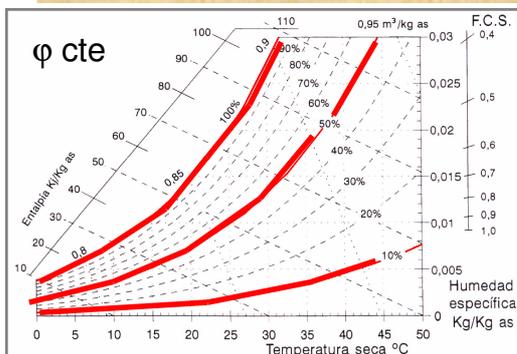
Es el empleado para resolver los problemas del aire húmedo

Hay que considerar la presión (altitud)

Existen diferentes tipos

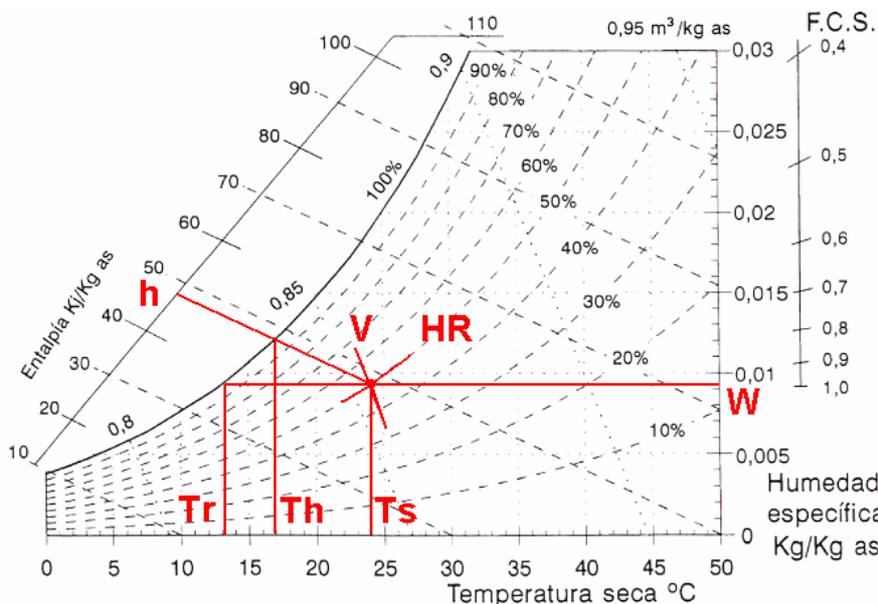


4.- Refrigeración Evaporativa (V)



4.- Refrigeración Evaporativa (VI)

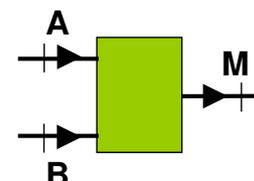
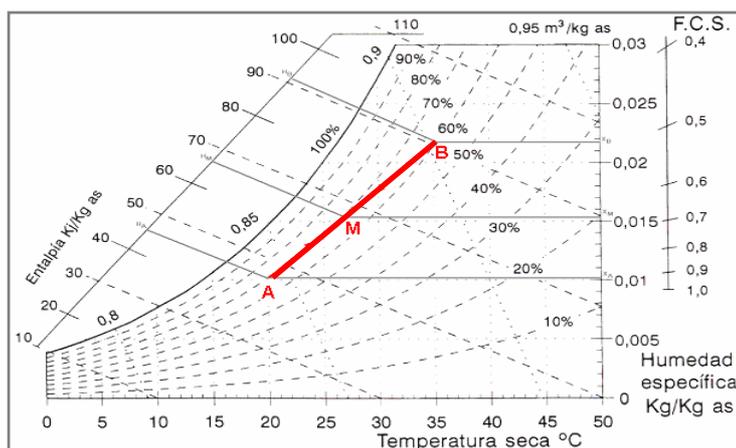
Lectura de un Pto



4.- Refrigeración Evaporativa (VII)

Transformaciones Psicrométricas

Mezcla adiabática de dos masas de aire (A y B) con distinta humedad la mezcla (M) situada en la recta que une los dos puntos



G es la masa de aire (kg)
w humedad específica

$$G_A + G_B = G_M$$

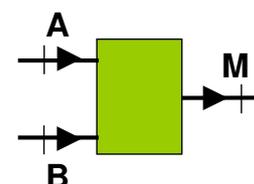
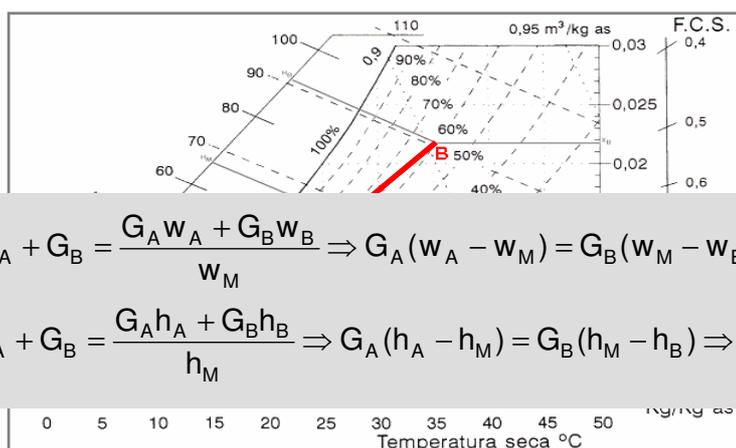
$$G_A w_A + G_B w_B = G_M w_M$$

$$G_A h_A + G_B h_B = G_M h_M$$

4.- Refrigeración Evaporativa (VII)

Transformaciones Psicrométricas

Mezcla adiabática de dos masas de aire (A y B) con distinta humedad la mezcla (M) situada en la recta que une los dos puntos



$$G_A + G_B = \frac{G_A w_A + G_B w_B}{w_M} \Rightarrow G_A (w_A - w_M) = G_B (w_M - w_B) \Rightarrow \frac{G_A}{G_B} = \frac{w_M - w_B}{w_A - w_M} \quad)$$

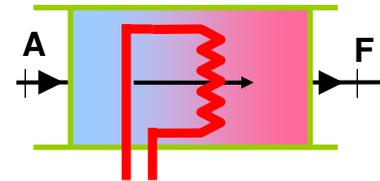
$$G_A + G_B = \frac{G_A h_A + G_B h_B}{h_M} \Rightarrow G_A (h_A - h_M) = G_B (h_M - h_B) \Rightarrow \frac{G_A}{G_B} = \frac{h_M - h_B}{h_A - h_M} \approx \frac{T_M - T_B}{T_A - T_M} \quad N_M$$

$$G_A n_A + G_B n_B = G_M n_M$$

4.- Refrigeración Evaporativa (VIII)

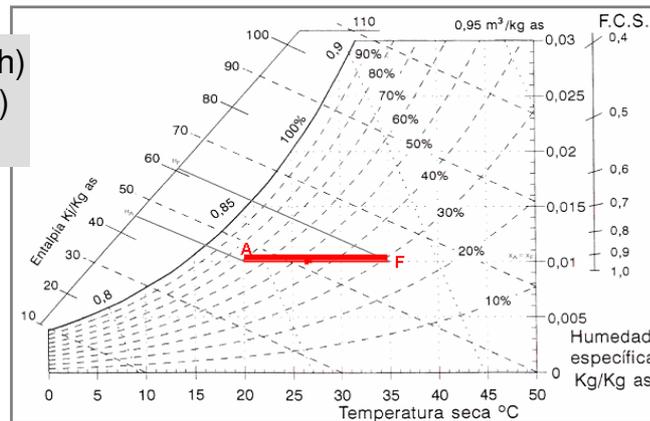
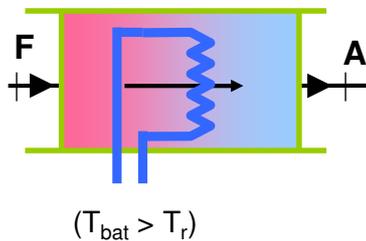
Transformaciones Psicrométricas

Calentamiento sensible, no varia W
(paso por una batería caliente, resistencia eléctrica)



Enfriamiento sensible, sin deshumidificación
(batería fría a $T_{bat} > T_r$)

Q calor aportado (kCal / h)
 $Q = 0,24 M_{aire} (T_F - T_A)$
 $Q = M_{aire} (h_A - h_F)$

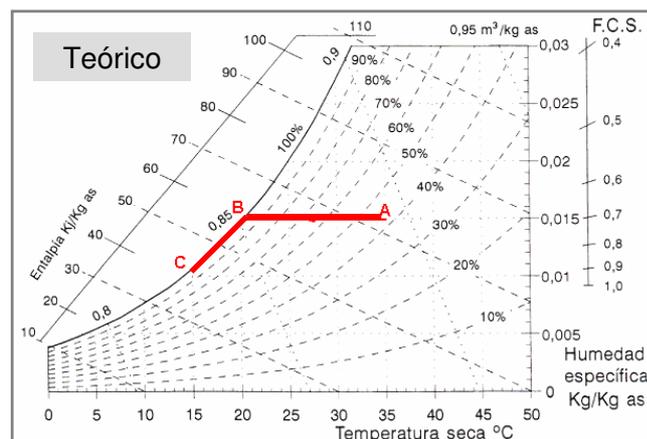
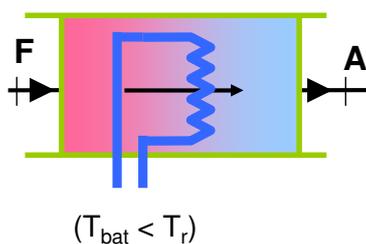


4.- Refrigeración Evaporativa (IX)

Transformaciones Psicrométricas

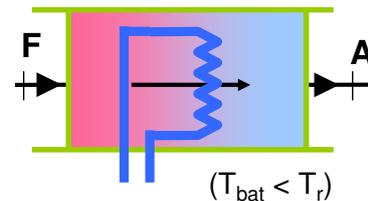
Enfriamiento con deshumidificación
(paso por una batería $T_{bat} < T_r$)

Enfriamiento sensible hasta sat (A \Rightarrow B) sigue por sat hasta T_{bat} (T_C)



4.- Refrigeración Evaporativa (X)

Transformaciones Psicrométricas



Enfriamiento con deshumidificación

Sólo una parte del aire entra en contacto con la batería (A ⇒ C)

Otra parte del aire bypasa (A); [Factor de Bypass (FB)]

Mezcla de la corriente de aire tratada (C) y no tratada (A) ⇒ D

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

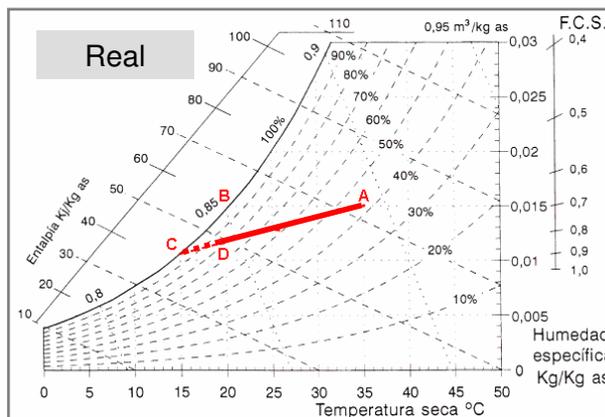
$$Q_{\text{sensible}} = 0,24 M_{\text{aire}} (T_A - T_D)$$

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

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

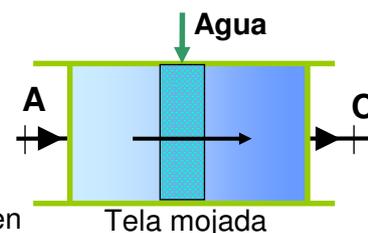
$$FB = \frac{M_{\text{aire no tratada}}}{M_{\text{aire total}}} \approx \frac{T_D - T_C}{T_A - T_C}$$

- Batería
- nº filas
 - Aletas
 - Separación entre filas
 - Separación entre aletas



4.- Refrigeración Evaporativa (XI)

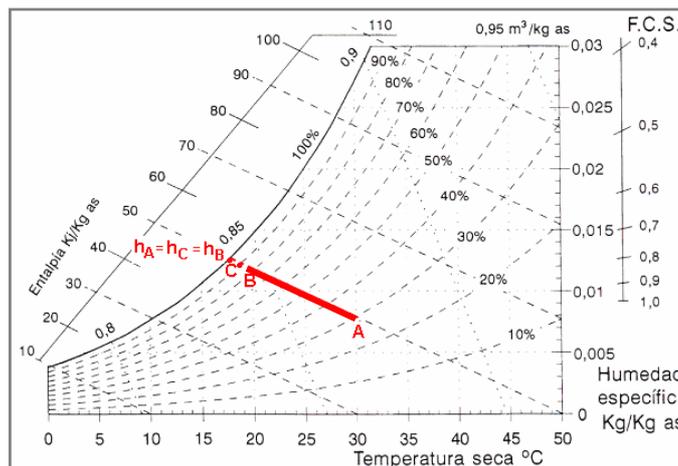
Transformaciones Psicrométricas



Enfriamiento y humidificación

Pasando aire por pulverizadores de agua recirculada en una cámara térmicamente aislada

Se realiza a $T_h \cong \text{cte} \Rightarrow h \cong \text{cte}$



$T_C = T_h$ del aire y de equilibrio agua

Eficiencia de sat

$$E = \frac{T_A - T_B}{T_A - T_C}$$

4.- Refrigeración Evaporativa (XII)

Transformaciones Psicrométricas

Paso del aire por una cortina de agua (I);

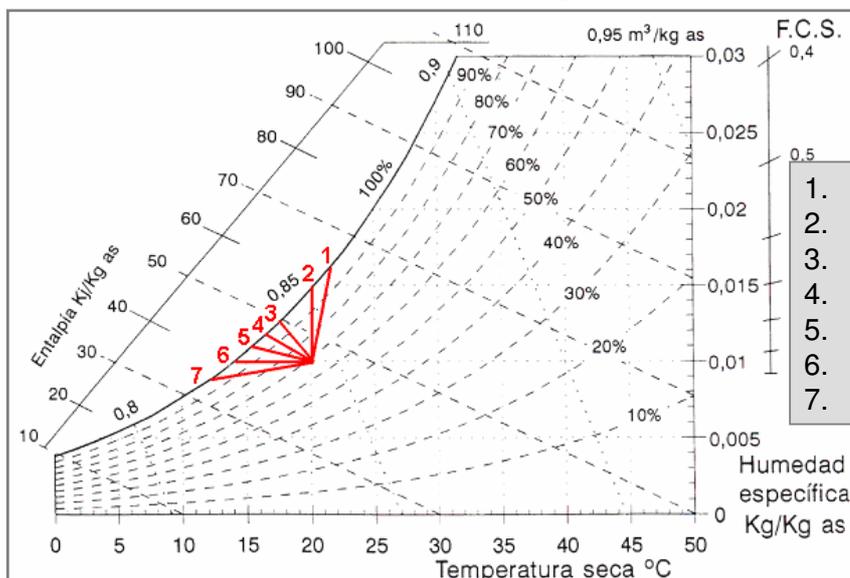
(múltiples posibilidades $f(T_s, T_h, T_a)$)

1. $T_{ag} > T_s$, pulverizando agua caliente, o inyectando vapor de agua el aire se calienta y se humecta, por lo que su h aumenta
2. $T_{ag} = T_s$, el aire se humecta aumentando su h
3. $T_{ag} < T_s$, $T_{ag} > T_h$, el aire se enfría y se humecta, pero gana h
4. $T_{ag} = T_h$, el aire se enfría y se humecta, con h cte (saturación adiabática)
5. $T_{ag} < T_h$, $T_{ag} > T_r$, el aire se enfría y se humecta, pero perdiendo h
6. $T_{ag} = T_r$, el aire se enfría sin cambio en su humedad, pierde h
7. $T_{ag} < T_r$, el aire se enfría perdiendo humedad, por lo que pierde h

4.- Refrigeración Evaporativa (XIII)

Transformaciones Psicrométricas

Paso del aire por una cortina de agua (II)



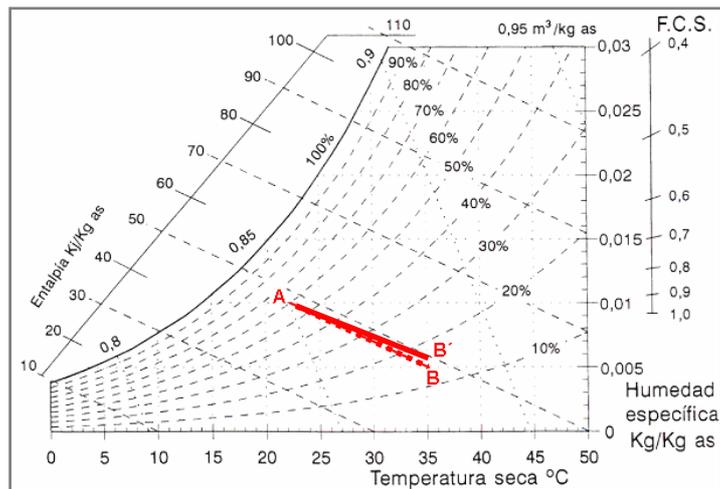
1. $T_{ag} > T_s$
2. $T_{ag} = T_s$
3. $T_{ag} < T_s$, $T_{ag} > T_h$
4. $T_{ag} = T_h$
5. $T_{ag} < T_h$, $T_{ag} > T_r$
6. $T_{ag} = T_r$
7. $T_{ag} < T_r$

4.- Refrigeración Evaporativa (XIV)

Transformaciones Psicrométricas

Calentamiento con deshumidificación;

pasando el aire por un material absorbente sólido, el aire se calienta
h crece porque el absorbente libera algo del calor de condensación al aire



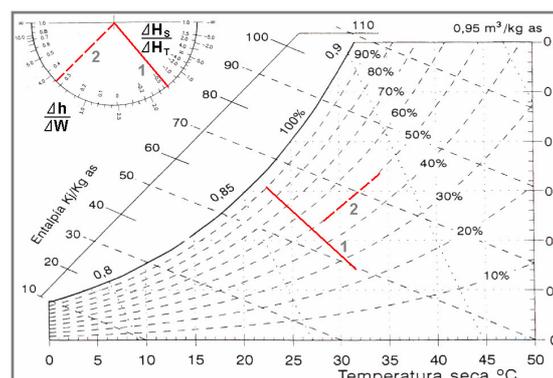
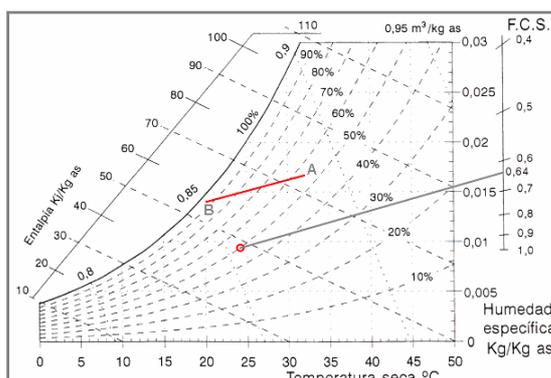
4.- Refrigeración Evaporativa (XV)

En las **transformaciones con sólo una corriente de aire**

El FCS: porcentaje de calor sensible sobre el calor total

Una escala en la dcha del diagrama, referida a $T_s 24^\circ\text{C}$ y 50% HR

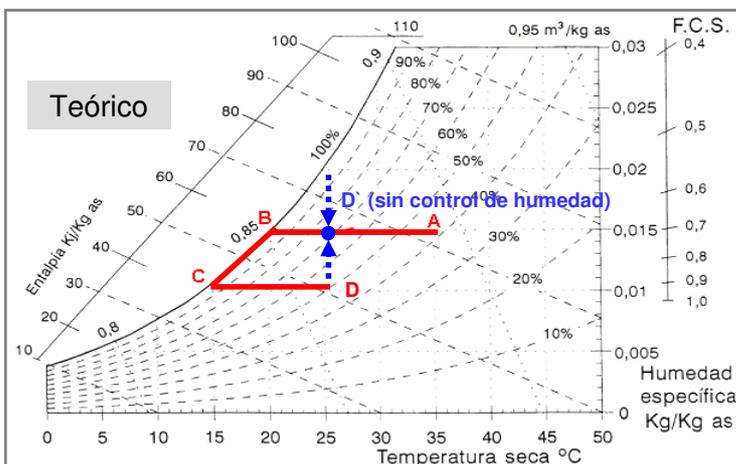
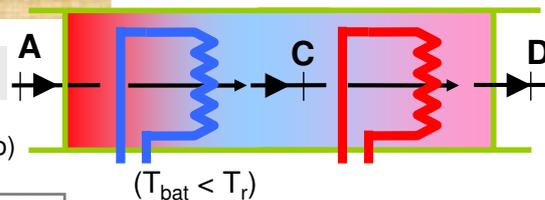
La **recta de maniobra** en un semicírculo en la parte superior del diagrama, relaciona el porcentaje de calor sensible como la humedad aportada al aire



4.- Refrigeración Evaporativa (XVI)

Control de T^a y HR (verano)

(enfriamiento con deshumidificación y postcalentamiento)



Gran gasto energético

$$Q_{AC} = m_{as} (h_A - h_C) \text{ Ref.}$$

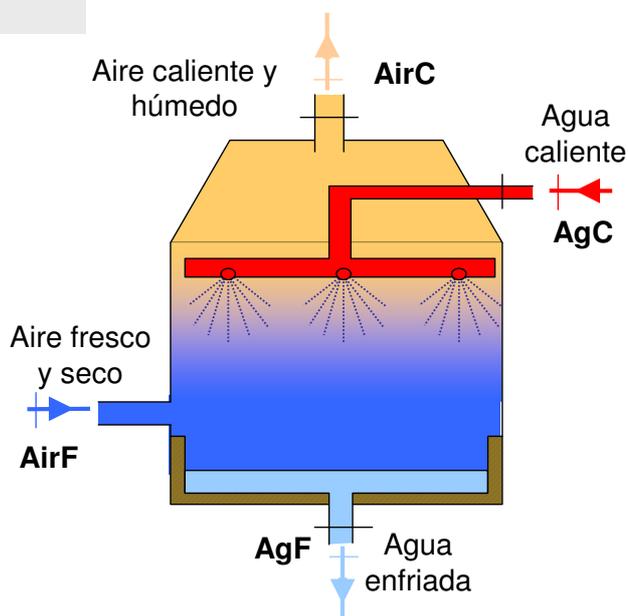
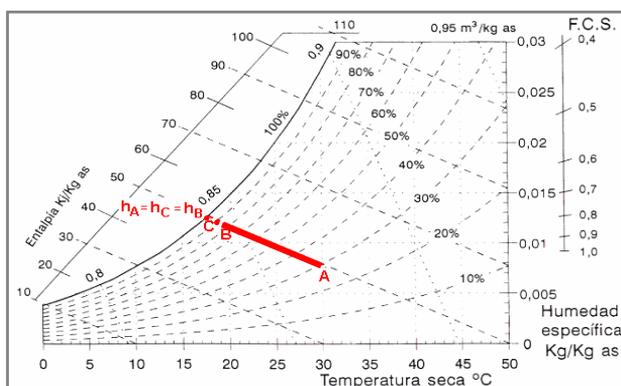
$$Q_{CD} = m_{as} (h_D - h_C) \text{ Cal.}$$

$h_A, h_C,$ y h_D las del aire húmedo

$$Q_{AD'} = m_{as} (h_A - h_{D'}) \text{ Ref.}$$

4.- Refrigeración Evaporativa (XVII)

Torre de Refrigeración



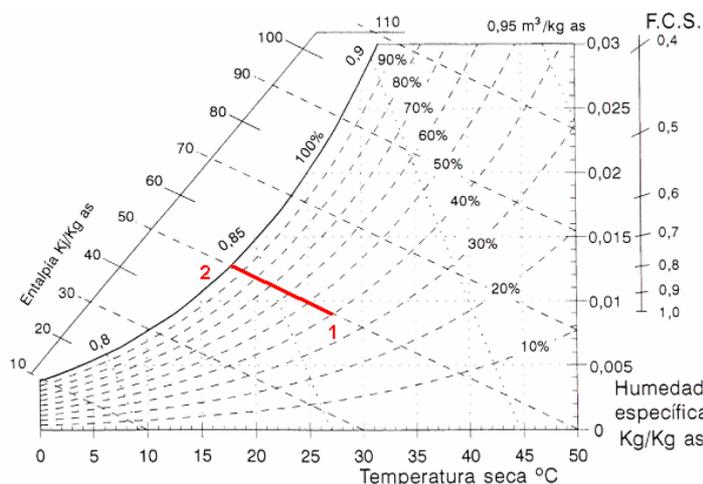
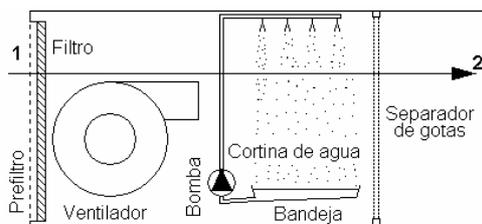
$$m_{as} (w_{AgC} - w_{AgF}) = m_{AgC} - m_{AgF}$$

$$Q_{Ag} = Q_{Air} \Rightarrow m_{as} \Delta T_{Air} = m_{ag} \Delta T_{ag}$$

4.- Refrigeración Evaporativa (XVIII)

- **Directos:** humectación, un ventilador, filtros, un depósito inferior y una carcasa

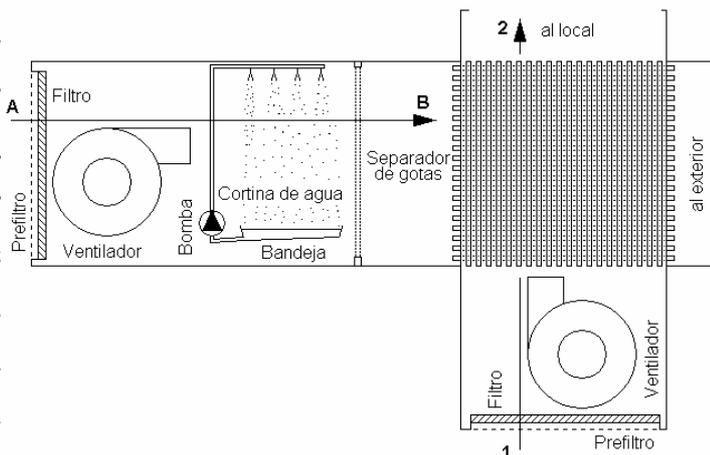
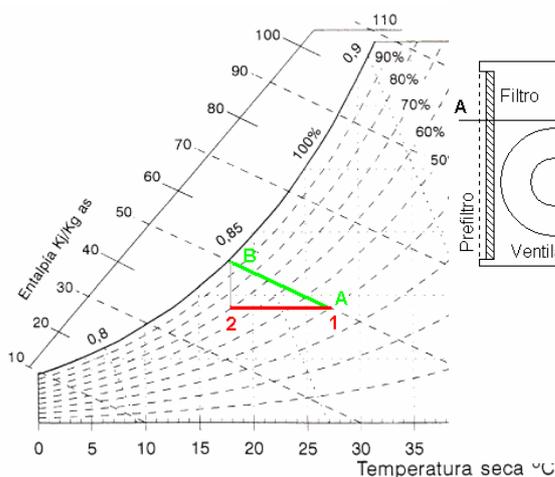
El agua se recircula y su temperatura se aproxima a la de bulbo húmedo del aire enfriado. Son económicos y eficaces ($\epsilon_s \approx 80\%$, un aumento de la velocidad aumenta el efecto refrigerador). Presenta riesgo de la legionela



4.- Refrigeración Evaporativa (XIX)

• **Indirectos:** intercambiador de calor, elementos de atomización y recirculación de agua, toma de aire exterior con sus filtros, ventilador y una carcasa

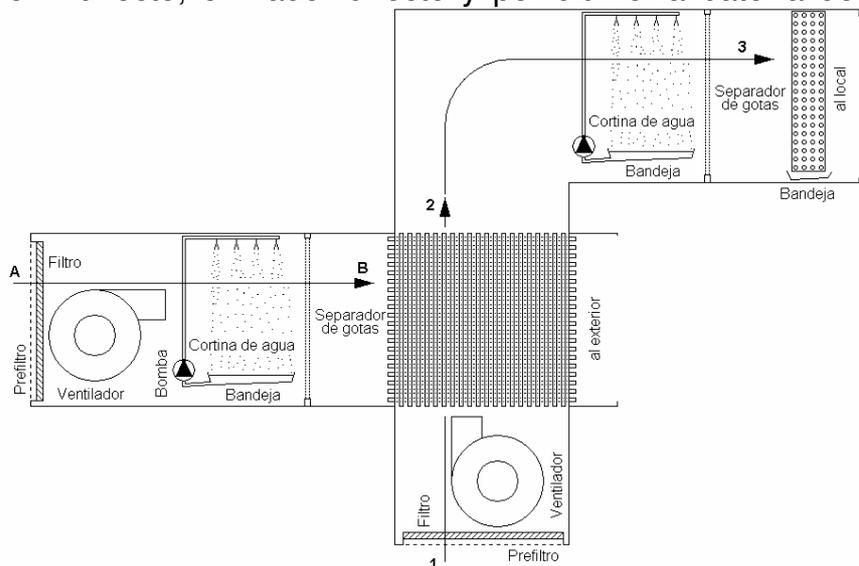
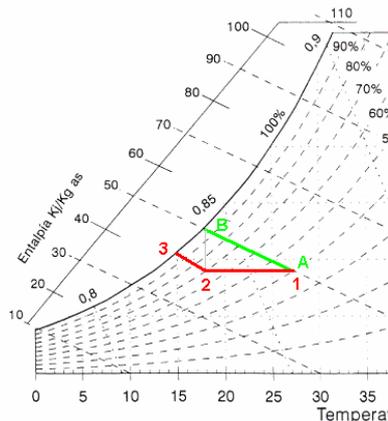
Puede utilizar como aire primario el de retorno o el exterior. No aumentan la humedad ambiente y además evita la legionela en el edificio



4.- Refrigeración Evaporativa (XX)

- **Mixtos:** conectan en serie un evaporador indirecto y otro directo; puede disponerse de una batería de expansión directa de apoyo a las dos etapas

La instalación es: enfriador indirecto, enfriador directo y por último la batería de expansión directa



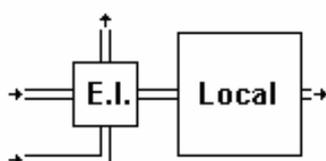
4.- Refrigeración Evaporativa (XXI)

Recuperan energía si utilizan como **aire secundario** el de retorno de los locales

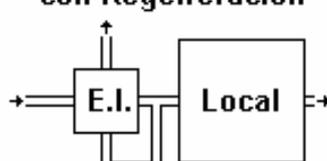
Los sistemas evaporativos pueden operar según en cuatro **ciclos**:

- **Evaporativo directo**, recupera calor si se emplea aire de recirculación
- **Evap. indirecto convencional**, aire exterior para primario y secundario
- **Evap. indirecto Regenerativo**; parte del aire primario es utilizado como secundario, lo que aumenta el efecto de refrigeración
- **Eva. indirecto con Recuperación**; toma aire de retorno de la instalación como aire secundario

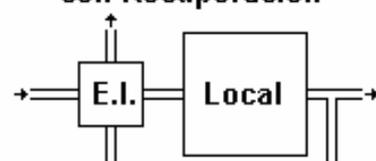
Evaporación Indirecta



Evaporación Indirecta con Regeneración



Evaporación Indirecta con Recuperación

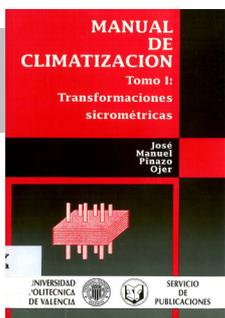
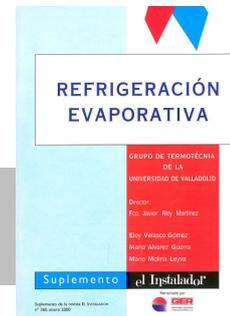


5.- Bibliografía (I)



P.C. Koelet: "Frio Industrial"

G. Termotecnia, U. Valladolid:
"Refrigeración Evaporativa"



J.M. Pinazo: "Manual de Climatización:
Transformaciones Psicrométricas"

IDAE: "Torres de Refrigeración"



5.- Bibliografía (II)



HandBooks (CDs)



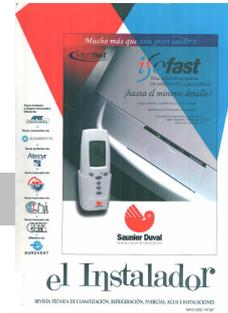
DTIEs

DTIE 3.01, Psicrometría; J.M. Pinazo

5.- Bibliografía (III)



Montajes e Instalaciones



El Instalador



International Journal of Refrigeration

Dialnet

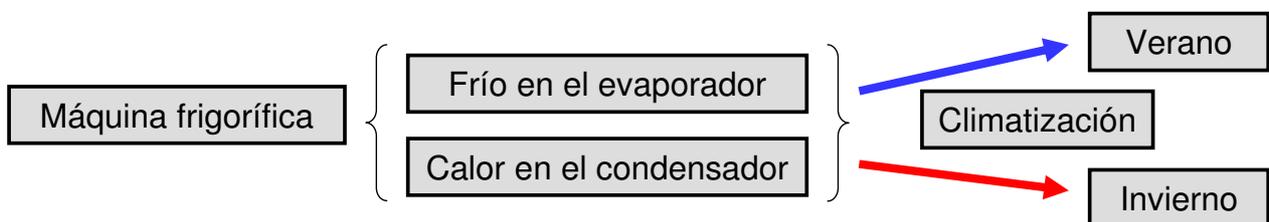
ISI Web of KnowledgeSM

SCOPUS

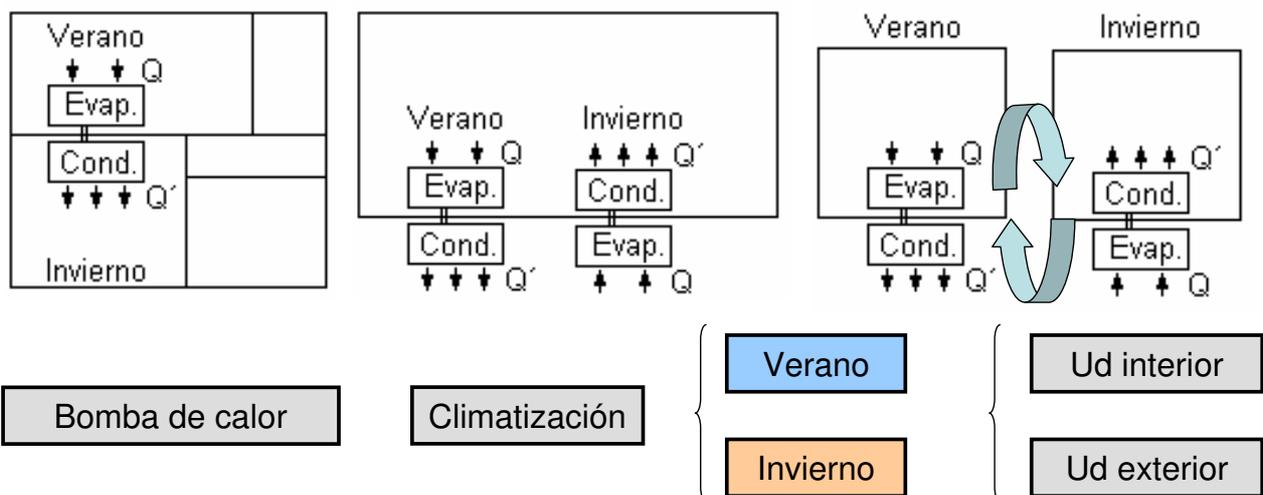
La Bomba de Calor

- 1.- Introducción
- 2.- Funcionamiento
- 3.- Rendimiento
- 4.- Focos
- 5.- Clasificación
- 6.- Aplicaciones
- 7.- Otros Diseños de BC
- 8.- Elementos de la BC

1.- Introducción (I)



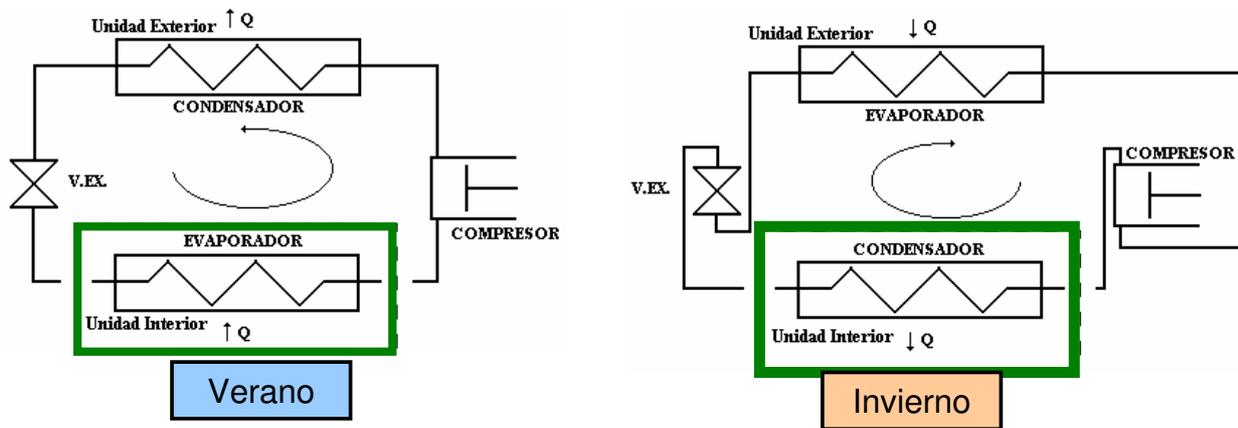
1.- Introducción (II)



	Verano	Invierno
Unidad interior	Evaporador	Condensador
Unidad exterior	Condensador	Evaporador

1.- Introducción (III)

B. C. Reversible: “Invirtiendo” el sentido de circulación del refrigerante

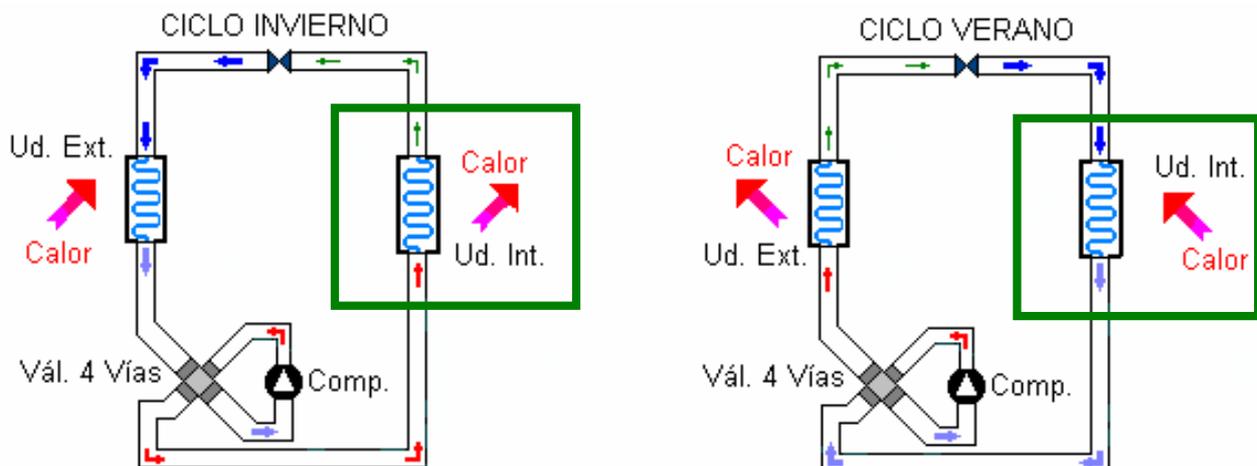


Problemas en invierno:

- Necesidad de desescarchado
- Baja producción térmica con temperaturas exteriores bajas
- Golpe de líquido en el compresor

2.- Funcionamiento de la B.C. (I)

B. C. Reversible:



2.- Funcionamiento de la B.C. (II)

Válvula de 4 Vías:

Se encarga de invertir el flujo del refrigerante

Conexión de las tuberías:

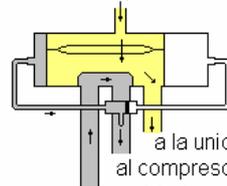
- Superior: descarga
- Enfrentada: aspiración
- Otras 2: las 2 unidades



Pilotada eléctricamente

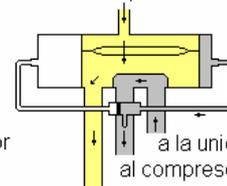
Accionamiento por la presión del refrigerante

Situación de invierno
del compresor



a la unidad interior
al compresor
a la unidad exterior

Situación de verano
del compresor



a la unidad interior
al compresor
a la unidad exterior

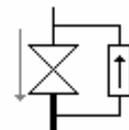
2.- Funcionamiento de la B.C. (III)

Las condiciones exteriores hacen que la B. C. tenga **diferentes valores de funcionamiento** en verano y en invierno

Con una sola válvula de expansión:

VERANO

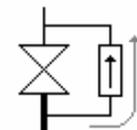
Ud exterior



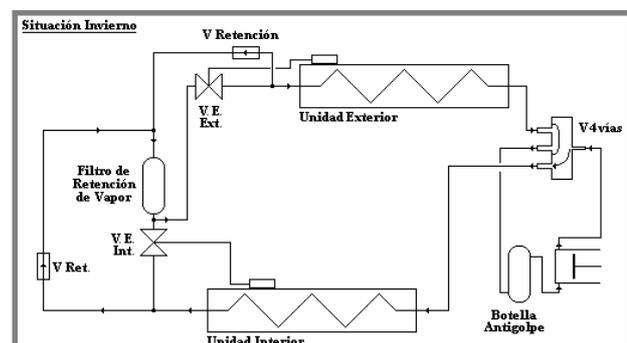
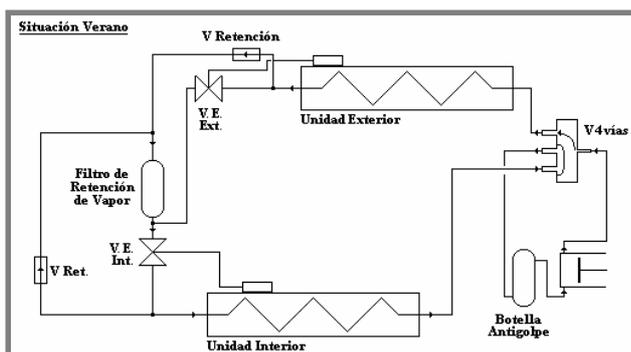
Ud Interior

INVIERNO

Ud exterior

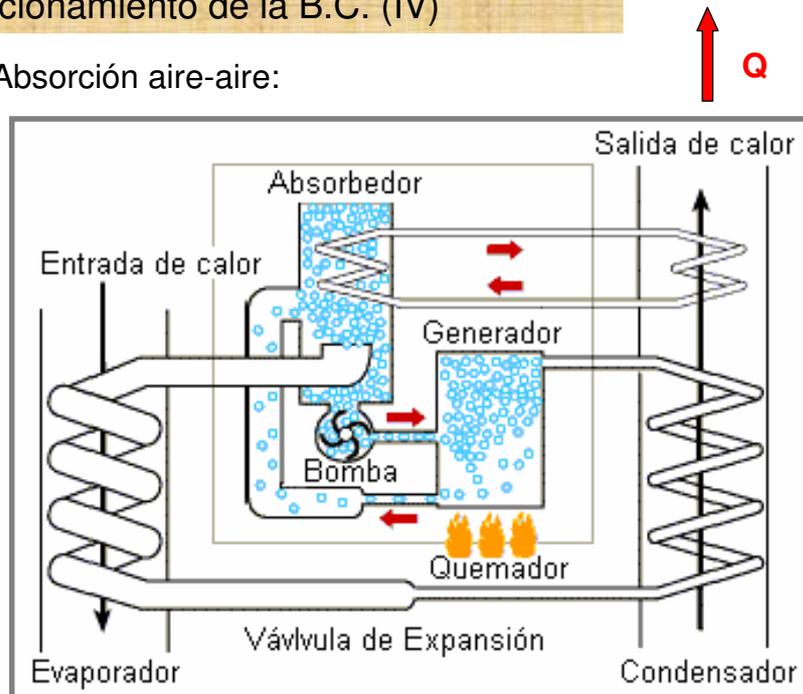


Ud Interior



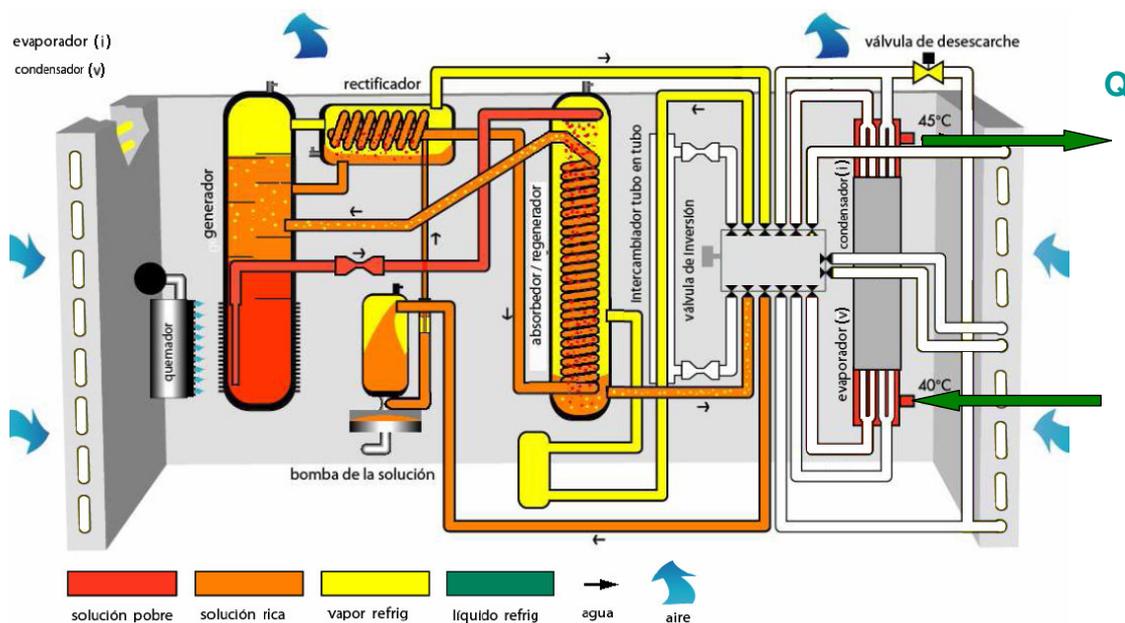
2.- Funcionamiento de la B.C. (IV)

B.C. de Absorción aire-aire:

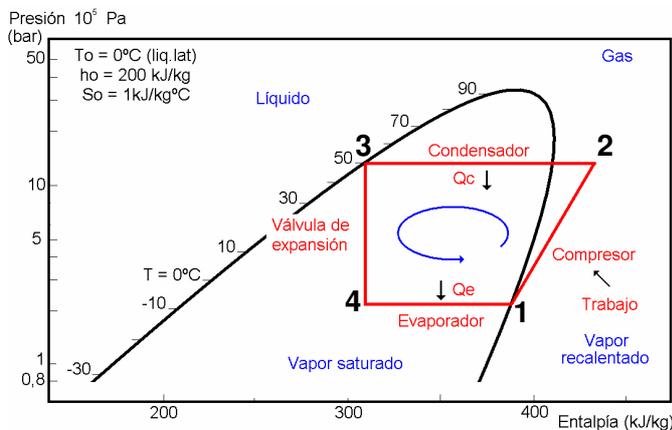


2.- Funcionamiento de la B.C. (V)

B.C. de Absorción aire-agua reversible:



3.- Rendimiento de la B.C.



$$COP_{VERANO} = \frac{Q_{EVAP}}{W_{COMP}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

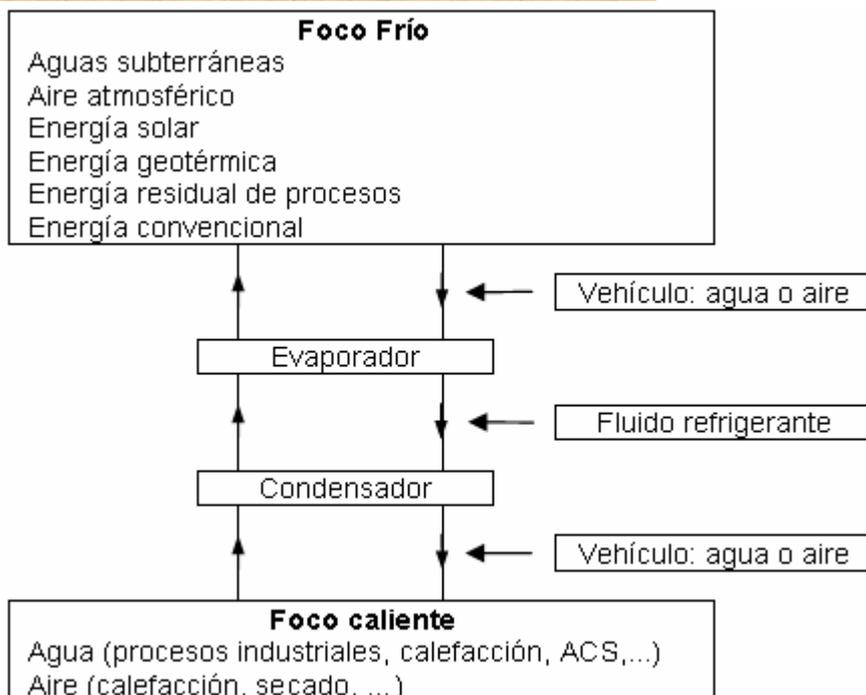
$$COP_{INVIERNO} = \frac{Q_{COND}}{W_{COMP}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

$$COP = \frac{Q_{COND} + Q_{EVAP}}{W_{COMP}} = \frac{(h_2 - h_3) + (h_1 - h_4)}{h_2 - h_1}$$

B.C. de Absorción:

$$\begin{cases} W_{COMP} \Rightarrow Q_{GEN} \\ Q_{COND} \Rightarrow Q_{GON} + Q_{ABS} \end{cases}$$

4.- Focos de la B.C.



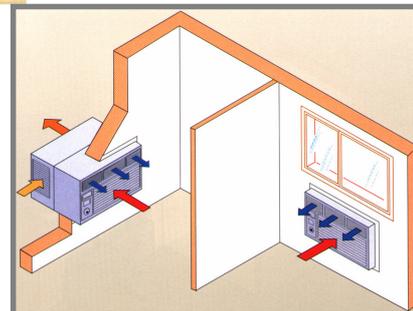
5.- Clasificación de las B.C.

Funcionamiento

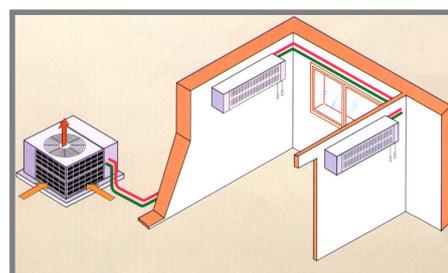
Reversibles
No reversibles
Termofrigobombas

Construcción

Compacta
Split o partida
Multi split



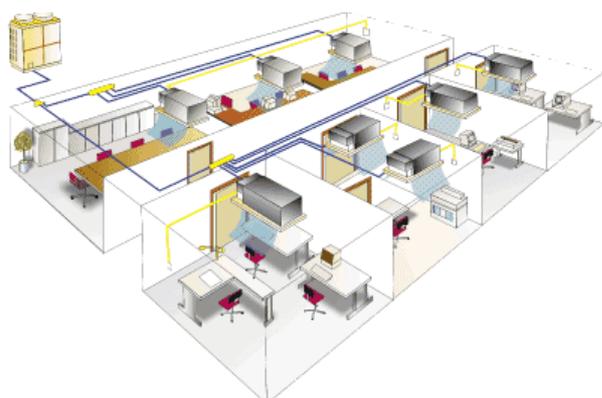
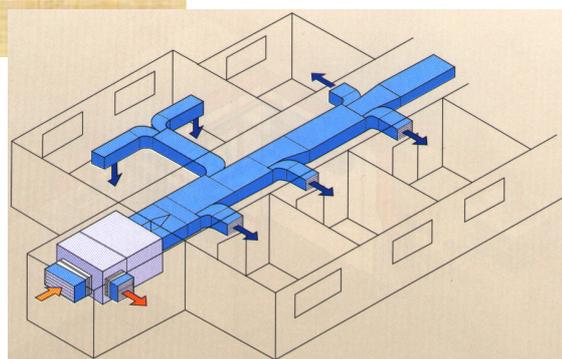
Origen	Destino
Aire	Aire
Aire	Agua
Agua	Aire
Agua	Agua
Tierra	Aire
Tierra	Agua



6.- Aplicaciones de la B.C. (I)

Sector residencial

- Climatización de viviendas
- A.C.S.



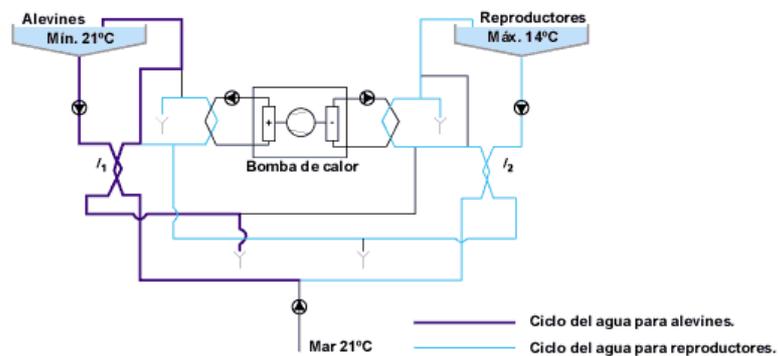
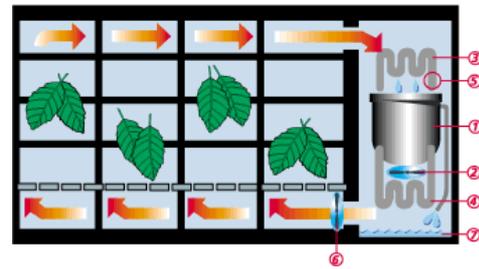
Sector terciario

- Climatización de locales
- Climatización de piscinas

6.- Aplicaciones de la B.C. (II)

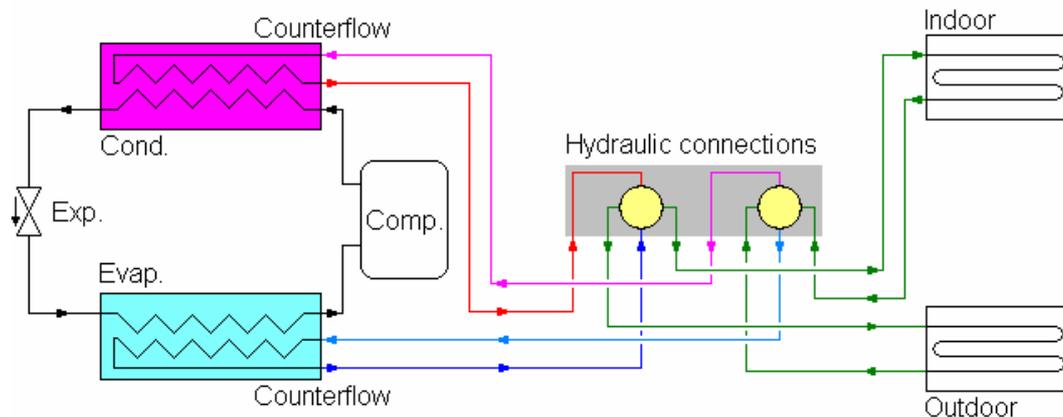
Sector industrial

- Climatización de locales industriales
- A.C.S.
- Agua caliente
- Secaderos
- Destilación
- Invernaderos
- Piscifactorías
- Fermentación pan
- ect



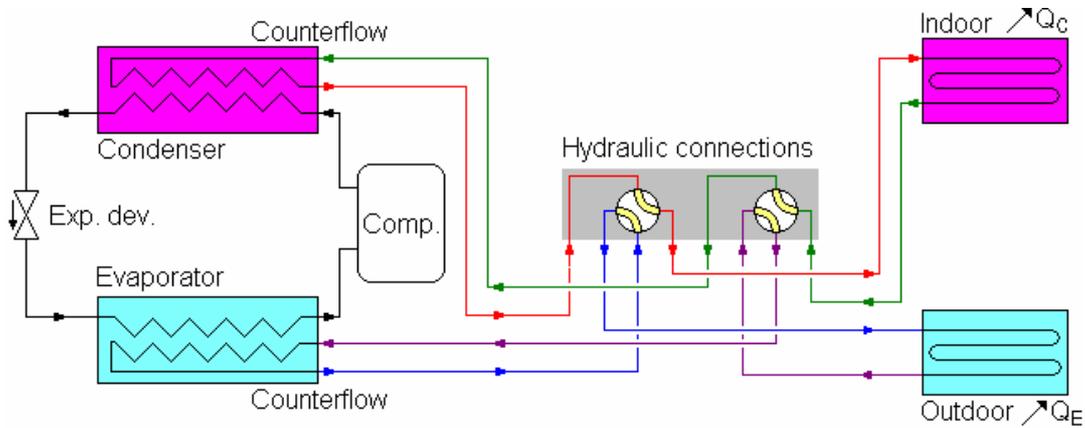
7.- Otros diseños de la B.C. (I)

Agua-agua (I)



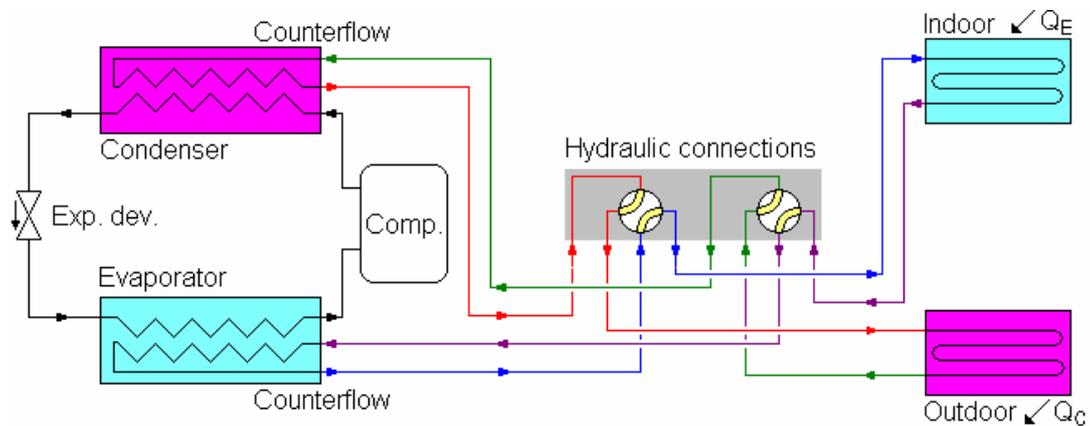
7.- Otros diseños de la B.C. (II)

Agua-agua (II): *Invierno*



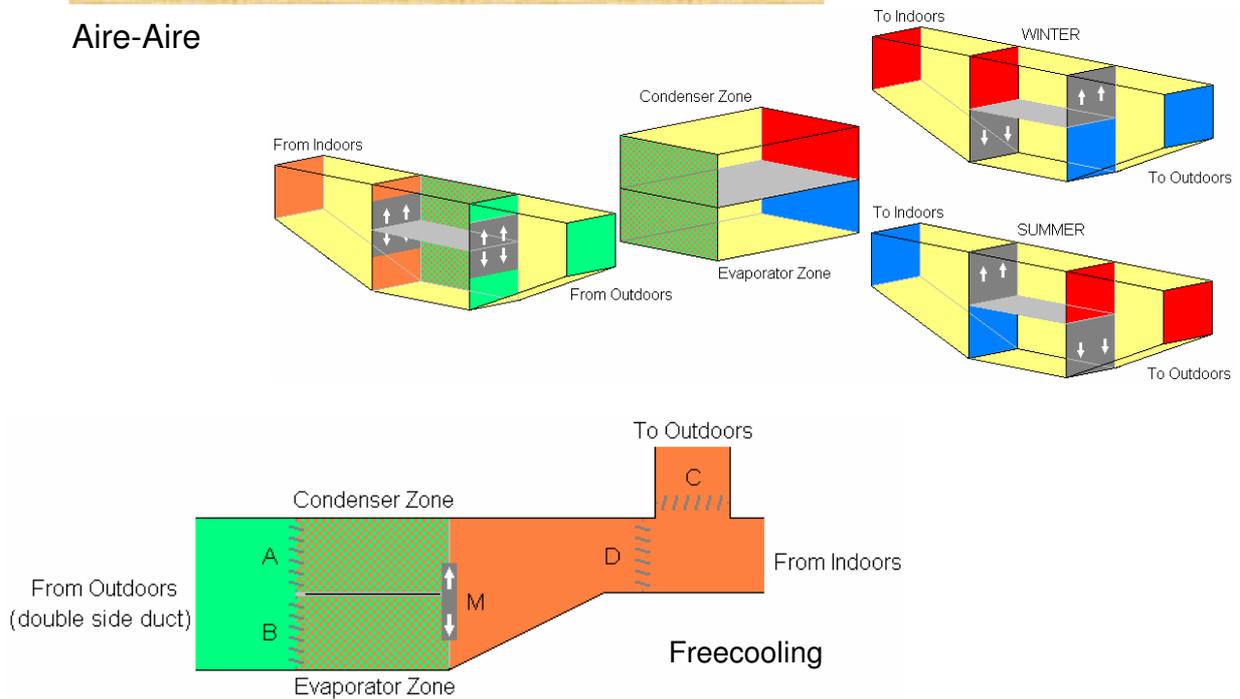
7.- Otros diseños de la B.C. (III)

Agua-agua (III): *Verano*



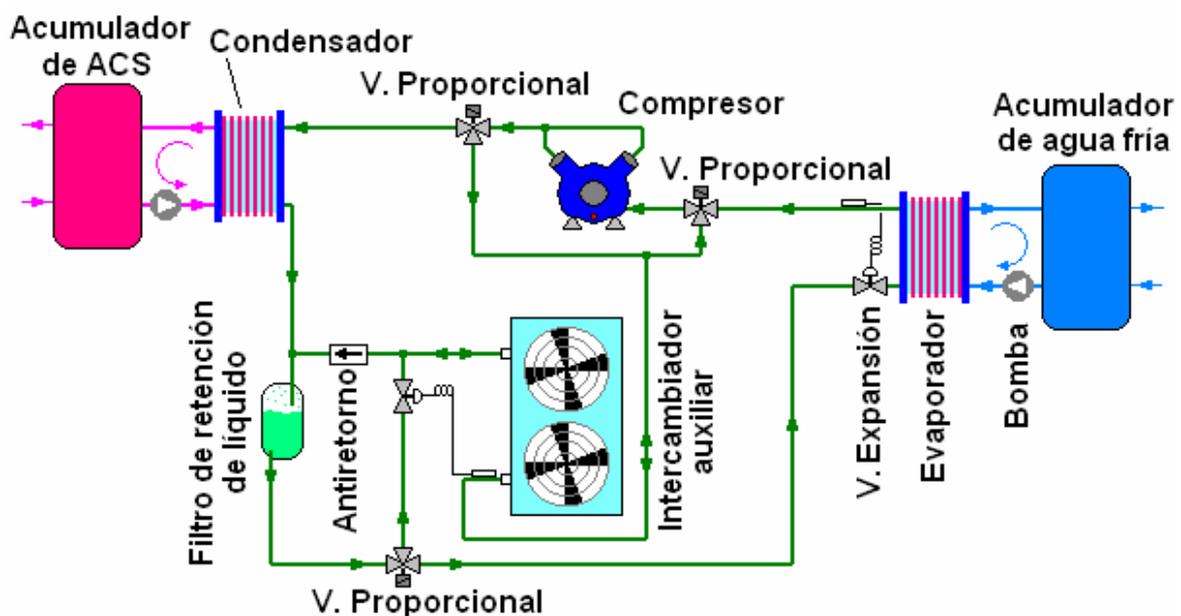
7.- Otros diseños de la B.C. (IV)

Aire-Aire



7.- Otros diseños de la B.C. (V)

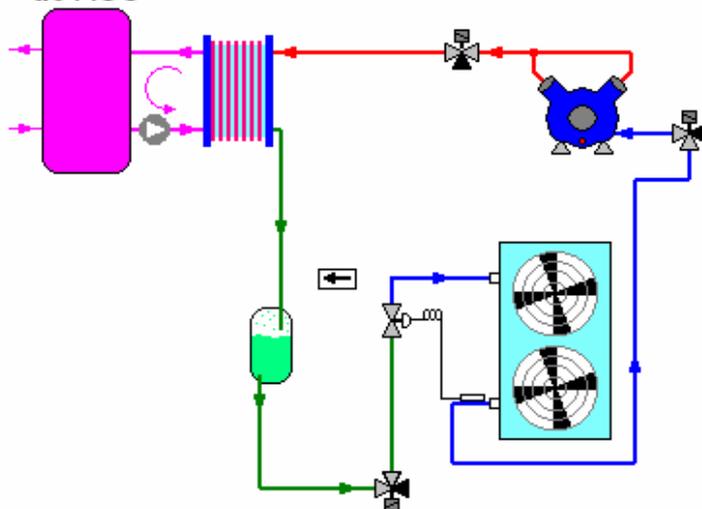
Con recuperación integral de calor (I)



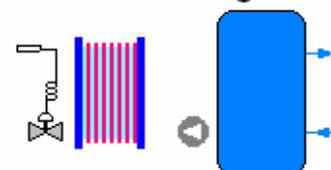
7.- Otros diseños de la B.C. (VI)

Con recuperación integral de calor (II): *Calor*

Acumulador
de ACS



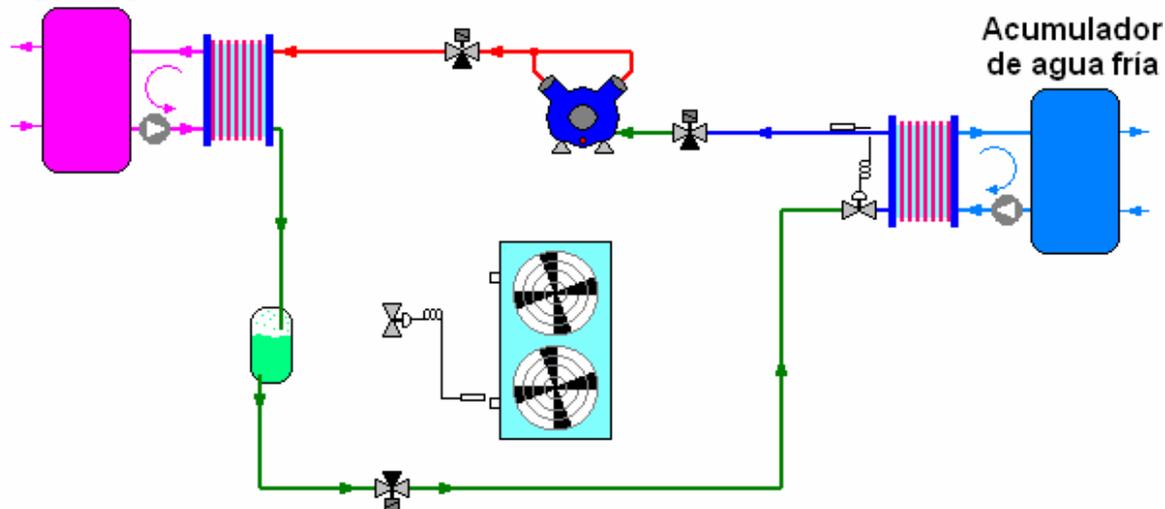
Acumulador
de agua fría



7.- Otros diseños de la B.C. (VII)

Con recuperación integral de calor (III): *Calor con recup. de frío (100%)*

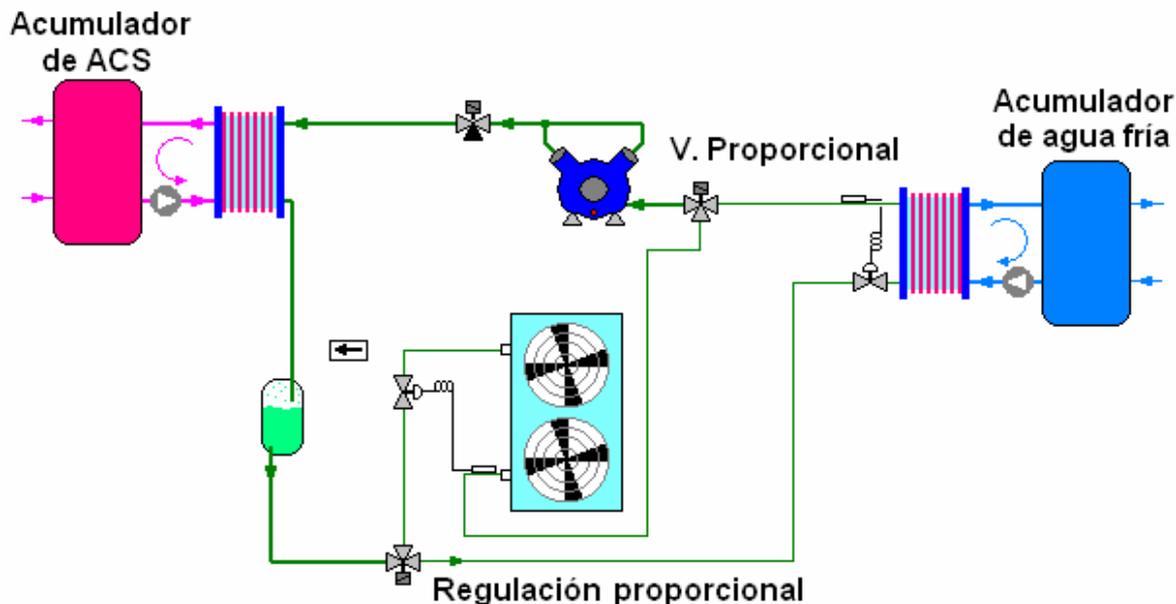
Acumulador
de ACS



Acumulador
de agua fría

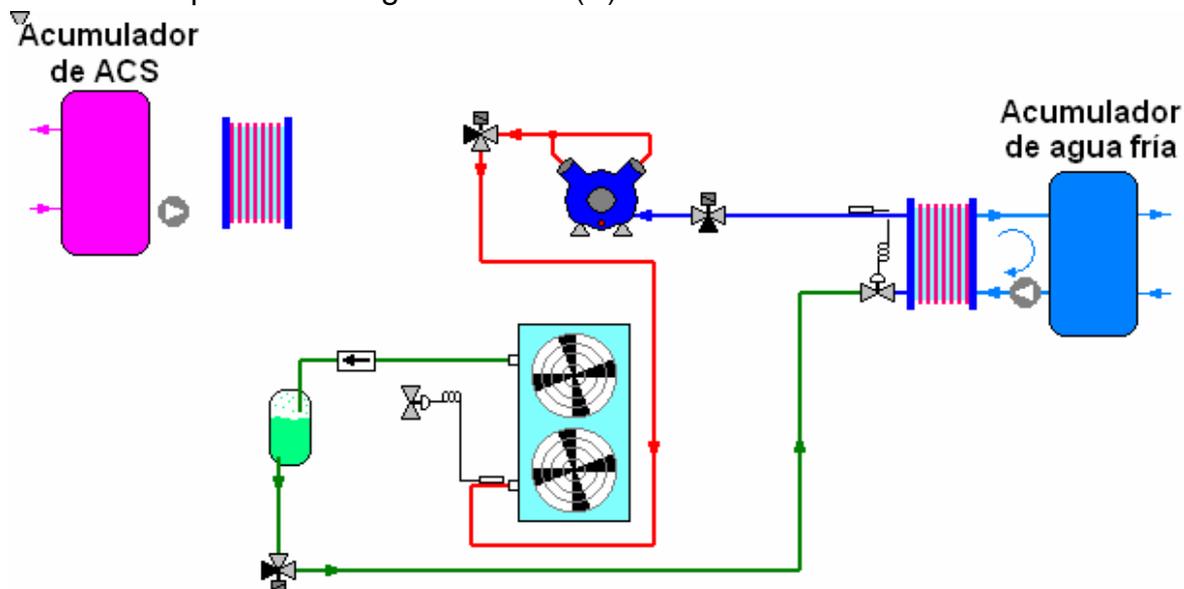
7.- Otros diseños de la B.C. (VIII)

Con recuperación integral de calor (IV): *Calor con recup. modulada de frío*



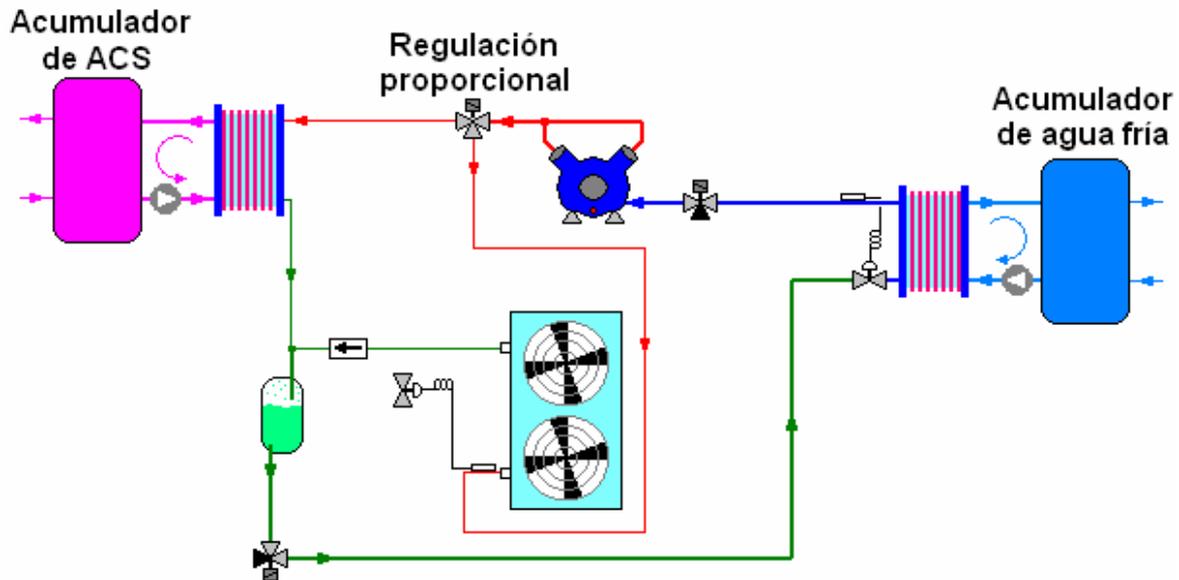
7.- Otros diseños de la B.C. (IX)

Con recuperación integral de calor (V): *Frío*



7.- Otros diseños de la B.C. (X)

Con recuperación integral de calor (VI): *Frío con recup. modulada de calor*



8.- Elementos de la B.C.: Compresores (I)

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...

8.- Elementos de la B.C.: Compresores (II)

Por el modo de accionamiento

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



Por la separación entre compresor y accionamiento

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

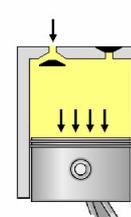
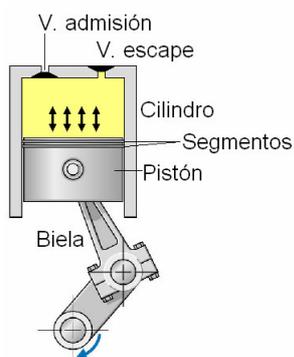
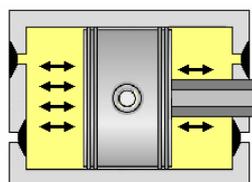


8.- Elementos de la B.C.: Compresores (III)

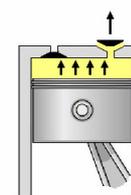
Por el modo de compresión (I)

• Alternativos (reciprocantes)

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



Admisión



Escape

La capacidad se puede regular descargando algún cilindro

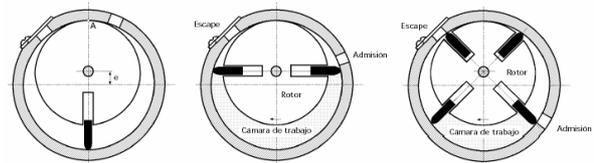
8.- Elementos de la B.C.: Compresores (IV)

Por el modo de compresión (II)

• Rotativos (I)

- *De paletas:*

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



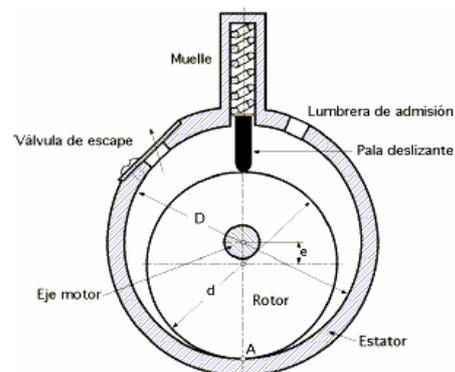
8.- Elementos de la B.C.: Compresores (V)

Por el modo de compresión (III)

• 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

8.- Elementos de la B.C.: Compresores (VI)

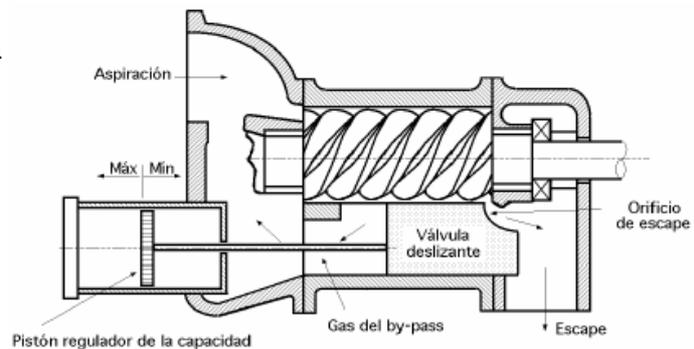
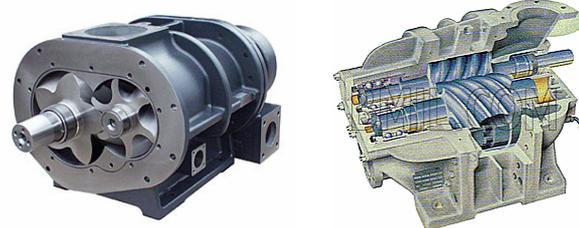
Por el modo de compresión (IV)

• Rotativos (III)

- De tornillo (I):

De doble tornillo

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



8.- Elementos de la B.C.: Compresores (VII)

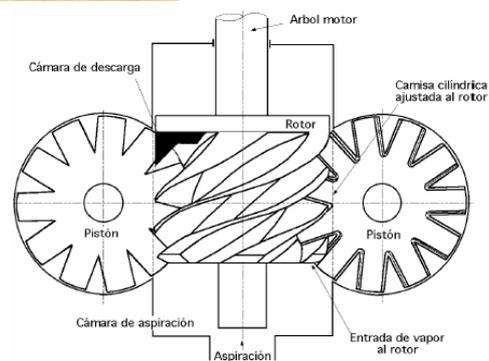
Por el modo de compresión (V)

• Rotativos (IV)

- De tornillo (II):

De tornillo simple

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



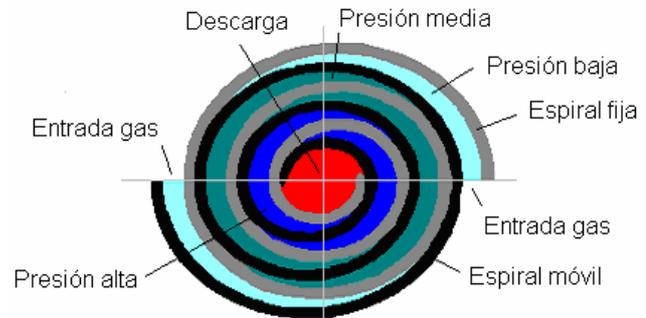
8.- Elementos de la B.C.: Compresores (VIII)

Por el modo de compresión (VI)

• Rotativos (V)

- 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

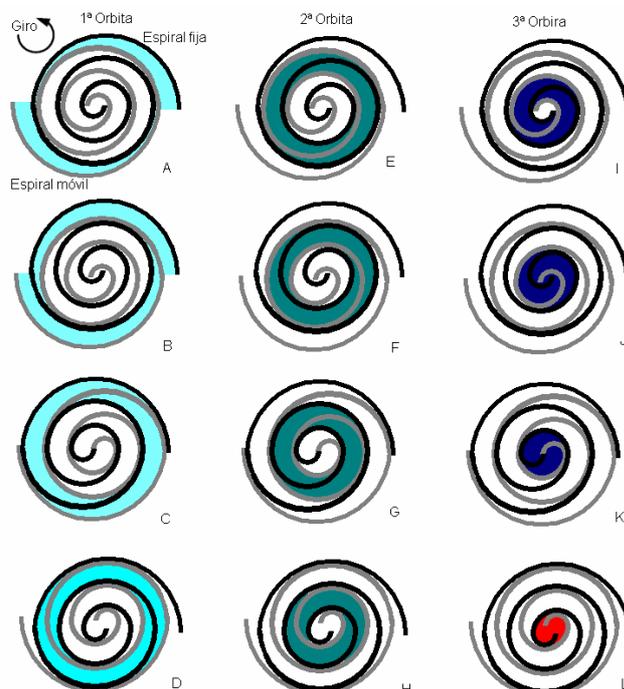


8.- Elementos de la B.C.: Compresores (IX)

Por el modo de compresión (VII)

• Rotativos (VI)

- Scroll (II):

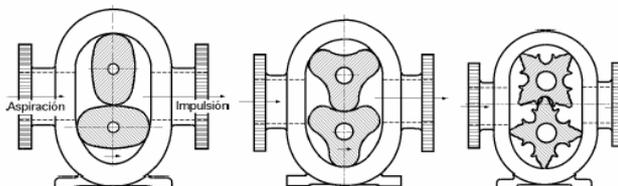


8.- Elementos de la B.C.: Compresores (X)

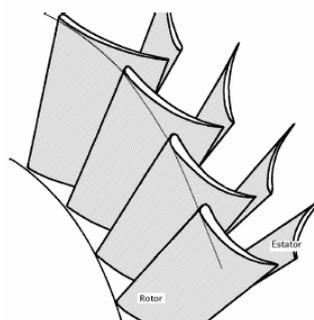
Por el modo de compresión (VIII)

• Rotativos (VII)

- *Engranajes:*
Dos engranajes, uno accionado



- *Axiales:*
Baja relación de compresión
Grandes volúmenes

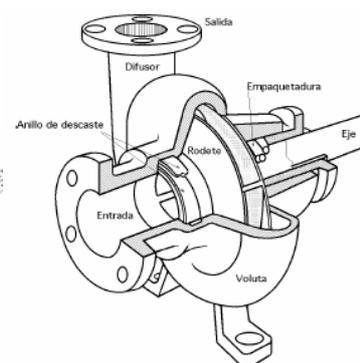
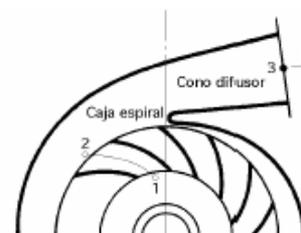


8.- Elementos de la B.C.: Compresores (XI)

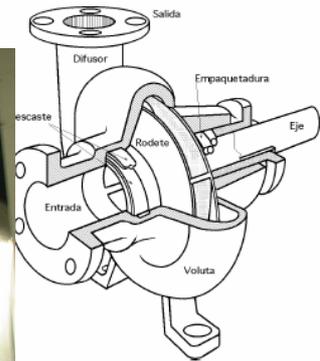
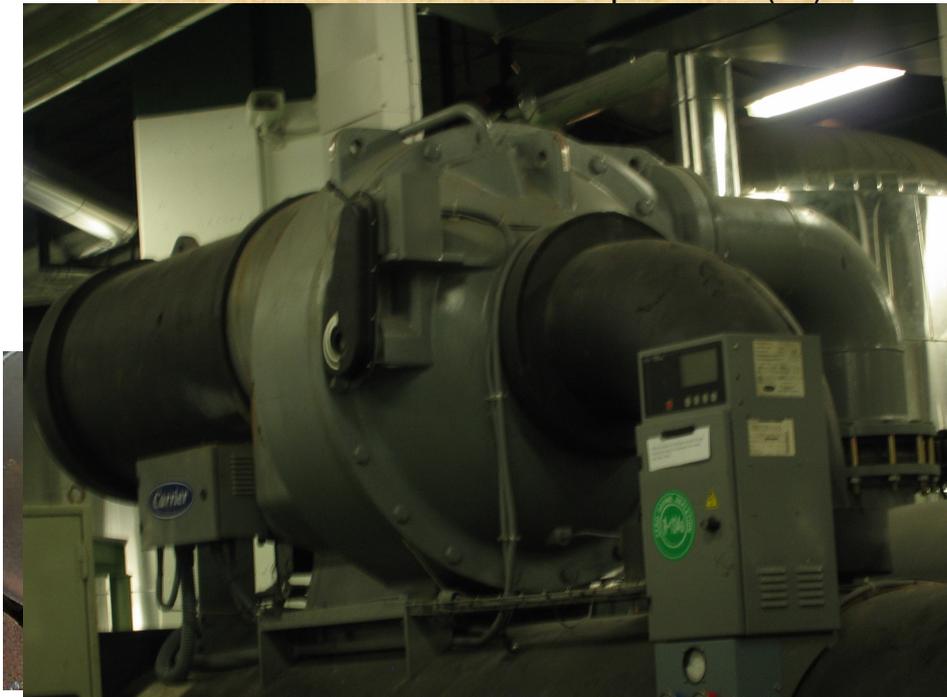
Por el modo de compresión (IX)

• Rotativos (VIII)

- *Centrífugos:*
Baja relación de compresión
Grandes volúmenes



8.- Elementos de la B.C.: Compresores (XI)

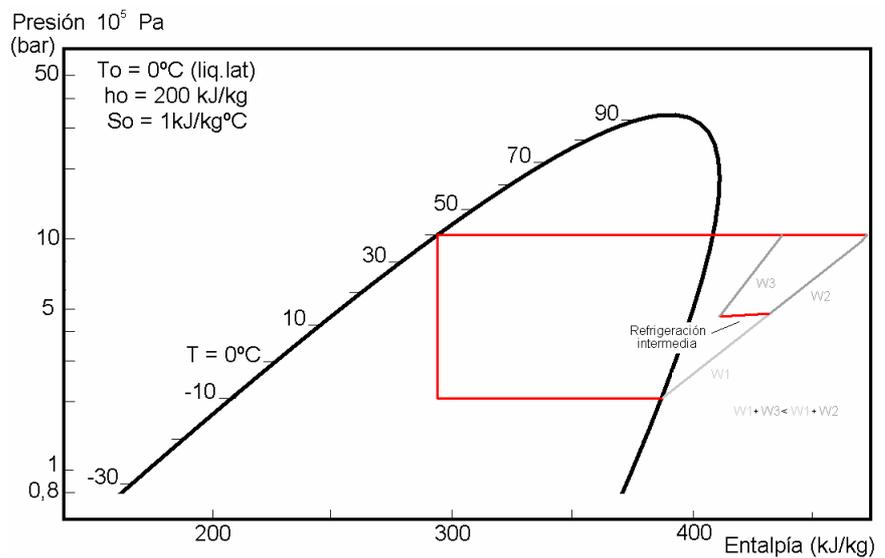
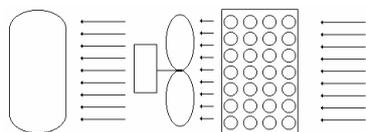


8.- Elementos de la B.C.: Compresores (XII)

La refrigeración del compresor

Con la aspiración
Dos etapas
Refrigeración externa

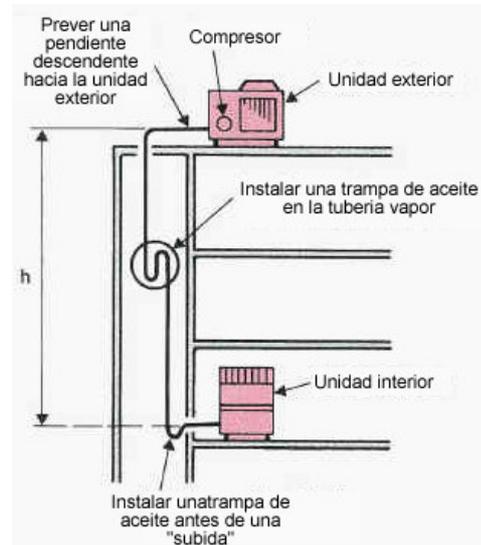
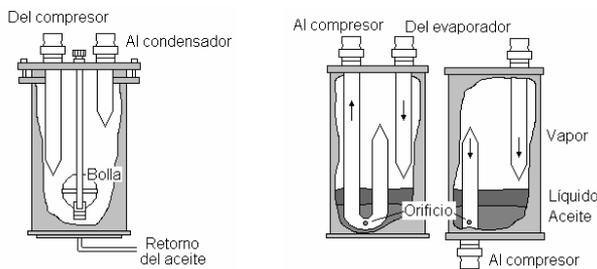
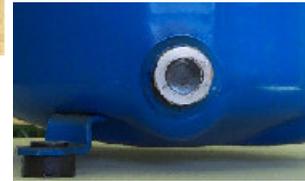
$$p_{int} = \sqrt{p_{max} \times p_{min}}$$



8.- Elementos de la B.C.: Compresores (XIII)

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



8.- Elementos de la B.C.: Compresores (XIV)

Vibraciones y ruidos

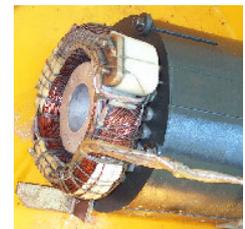
- Dispositivos internos
- Dispositivos externos
- Silenciadores
- Uniones flexibles
- Amortiguadores
- Bancadas



8.- Elementos de la B.C.: Compresores (XV)

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

8.- Elementos de la B.C.: Compresores (XVI)

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 solicitudes 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

8.- Elementos de la B.C.: Compresores (XVII)

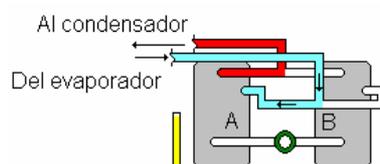
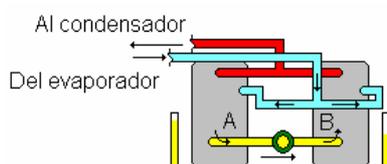
Centrales Frigoríficas:

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



8.- Elementos de la B.C.: Compresores (XVIII)

Selección de 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

8.- Elementos de la B.C.: 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

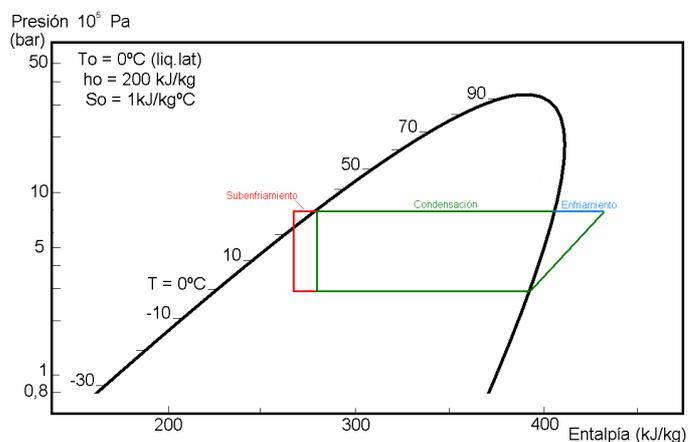
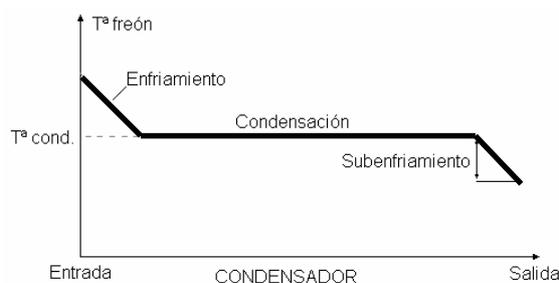
Para el buen funcionamiento es preciso:

- 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.

8.- Elementos de la B.C.: 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)

8.- Elementos de la B.C.: Condensadores (III)

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

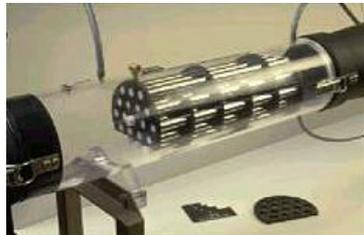
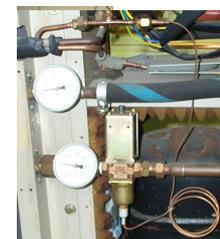
–**Condensadores de aire:**

- 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)



8.- Elementos de la B.C.: Condensadores (IV)

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

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

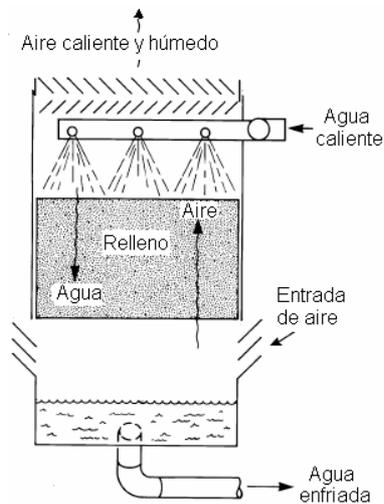
- Menor consumo de agua
- Aire o agua en función de la demanda

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

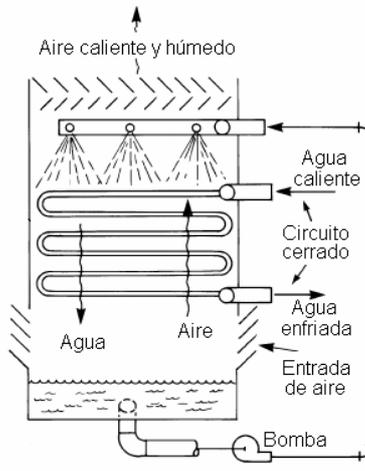
- **Almacenarse** para su posterior utilización (desescarche del evaporador)
- **Utilizarse** directamente en duchas, grifos,...
- **Verterse a la red,** agua perdida (válvula presostática de agua).
- **Enfriarse en una torre de refrigeración** para utilizar en circuito cerrado

8.- Elementos de la B.C.: Condensadores (V)

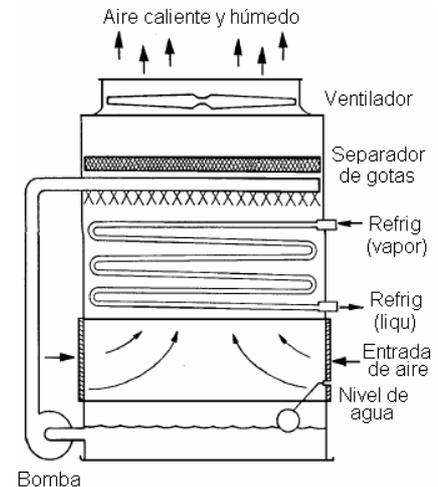
Torres de refrigeración (I)



Circuito abierto



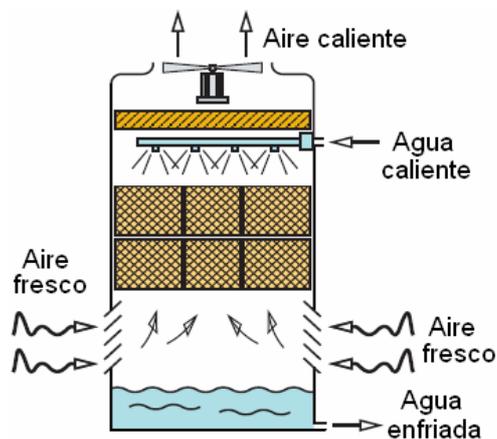
Circuito cerrado



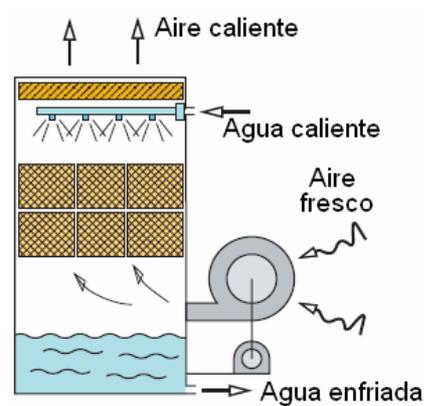
Condensador evaporativo

8.- Elementos de la B.C.: Condensadores (VI)

Torres de refrigeración abiertas (I)



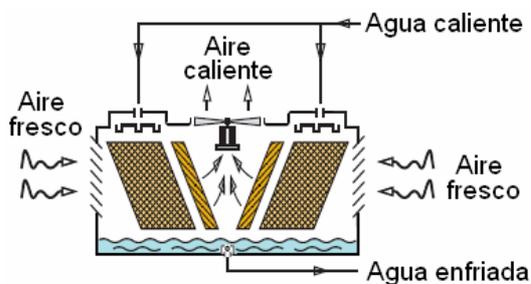
Tiro inducido



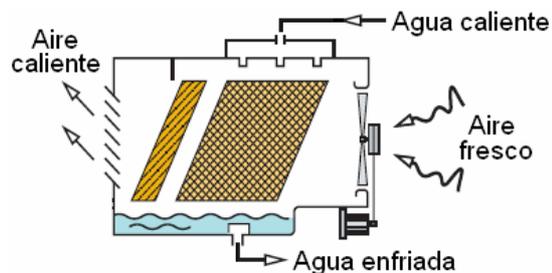
Tiro forzado

8.- Elementos de la B.C.: Condensadores (VII)

Torres de refrigeración abiertas (II)



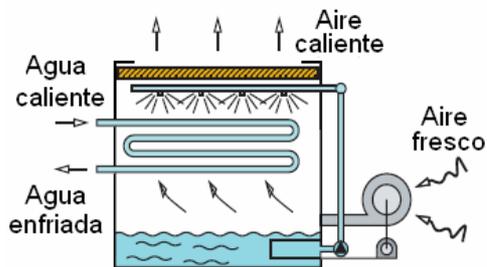
Flujo cruzado y tiro inducido



Flujo cruzado y tiro forzado

8.- Elementos de la B.C.: Condensadores (VIII)

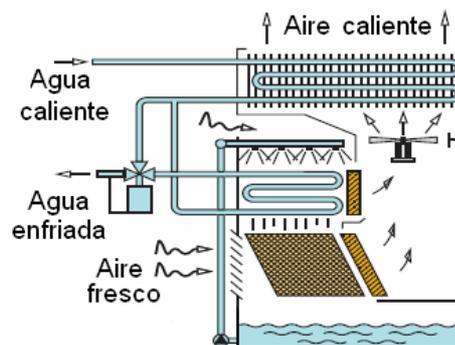
Torres de refrigeración cerradas



Tiro forzado

...

Torres de refrigeración híbridas
(parte seca y otra evaporativa)



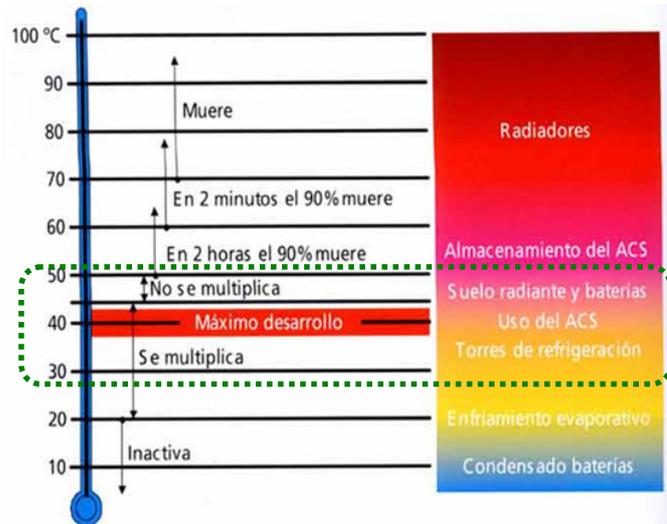
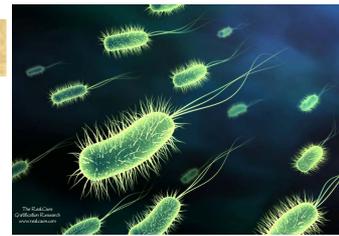
De circuito cerrado

...

8.- Elementos de la B.C.: Condensadores (IX)

La **Legionella** (I)

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

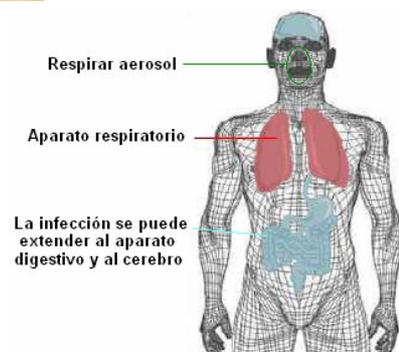


8.- Elementos de la B.C.: Condensadores (X)

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

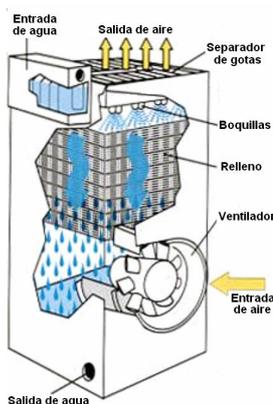
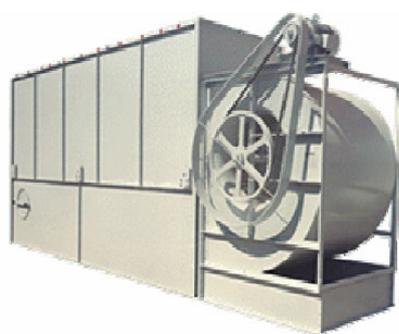
8.- Elementos de la B.C.: Condensadores (XI)

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



8.- Elementos de la B.C.: 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

8.- Elementos de la B.C.: 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

8.- Elementos de la B.C.: 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

• **Válvula de expansión fija:**

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

8.- Elementos de la B.C.: Expansión (II)

• **Válvula de expansión automática:**

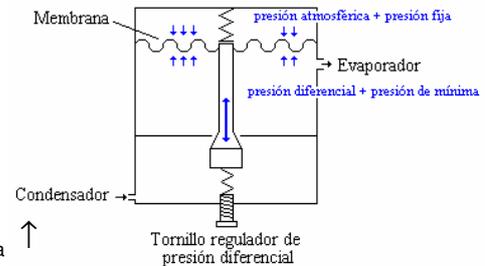
Son un orificio (regulable) que separa dos cámaras
Tienen un juego de presiones en una membrana
entre un muelle y la presión de mínima
Logran una presión de mínima cte

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

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

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

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

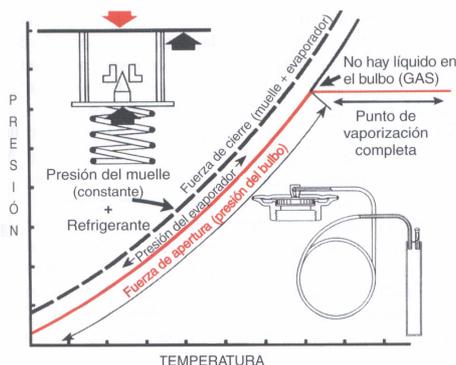
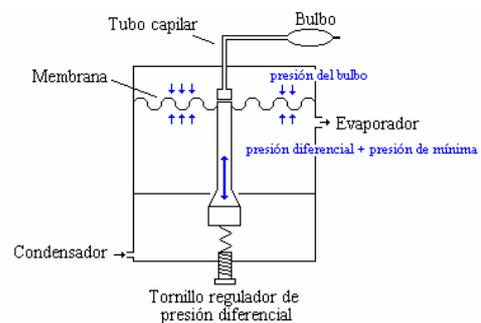


Con el compresor parado provocan un cierre

8.- Elementos de la B.C.: Expansión (III)

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

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

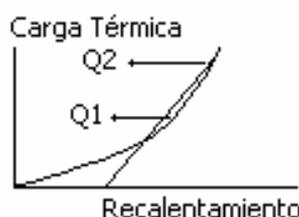
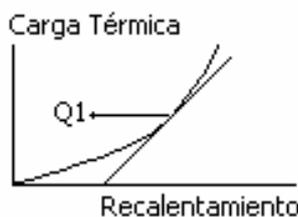


El bulbo en íntimo contacto con salida evaporador

8.- Elementos de la B.C.: Expansión (IV)

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

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

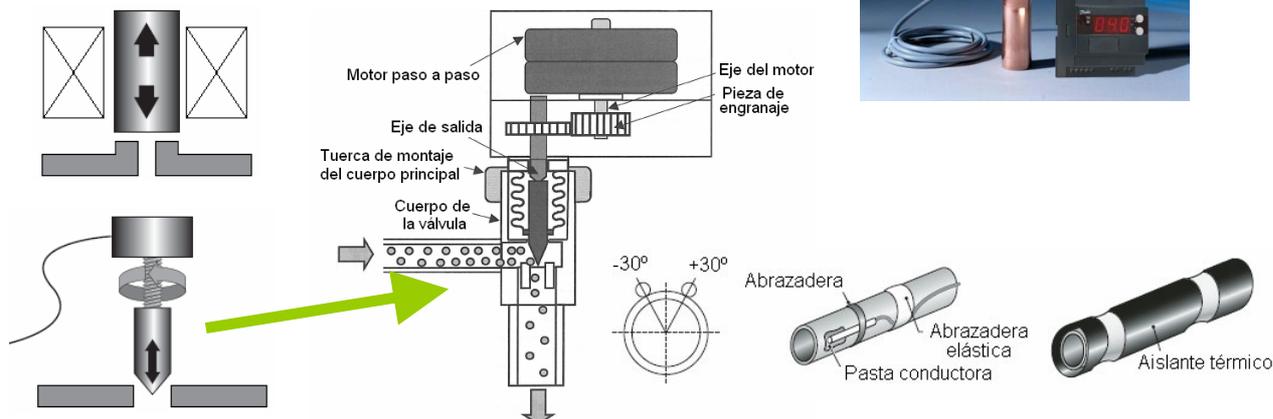


Punto de funcionamiento: corte de la válvula con el evaporador
(evitar inestabilidades)

8.- Elementos de la B.C.: Expansión (V)

• **Válvula de expansión electrónicas:**

- Sensores de p y T
- de pulsos
- modulantes



8.- Elementos de la B.C.: 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



8.- Elementos de la B.C.: 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

8.- Elementos de la B.C.: Evaporadores (II)

Entre las **aplicaciones** más comunes están:

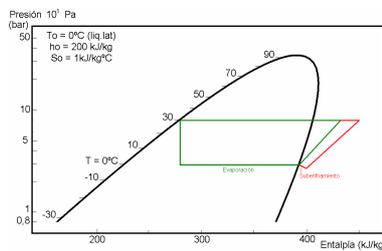
- Enfriamiento de aire: tubo con aletas
- Enfriamiento de agua: intercambiador de placas o de tubos (peligro de congelación)
- Serpentin sumergido en un tanque
- Para formación de hielo (placa sobre la que se rocía agua, y luego se desprende)



≈ **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) (isoentrópicos con menor pendiente)



8.- Elementos de la B.C.: Evaporadores (III)

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 la climatización (ventiladores)

**Temporizado
Detector de escarcha**

**Bandeja de condensados
Desagües**



8.- Elementos de la B.C.: Otros Elementos (I)

Válvula de 4 vías

Se encarga de invertir el flujo del refrigerante

Conexión de las tuberías:

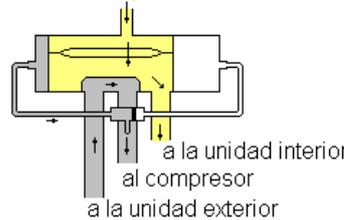
- Superior: descarga
- Enfrentada: aspiración
- Otras: las dos unidades



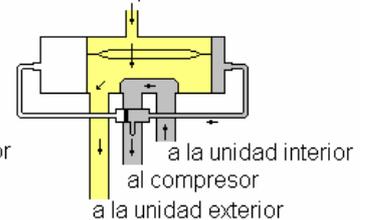
Pilotada eléctricamente

Acc. por la presión del refriger.

Situación de invierno del compresor



Situación de verano del compresor



8.- Elementos de la B.C.: Otros Elementos (II)

Termostatos

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



- T. diferencial

- T. ambiente



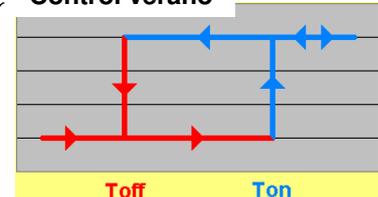
- T. Anticongelación



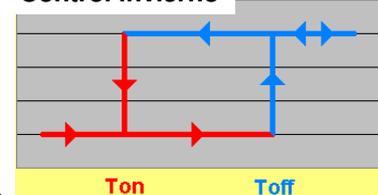
- T. Ambiente con desescarche semiautomático



Control verano



Control invierno



8.- Elementos de la B.C.: Otros Elementos (III)

Presostatos

- De máxima
- De mínima
- Conjunto



Otros dispositivos de seguridad

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

8.- Elementos de la B.C.: Otros Elementos (IV)

Elementos de medida

- Termómetros
- Manómetros
- Consumos (eléctricos)



Visor de líquido-indicador de humedad



Filtro deshidratador

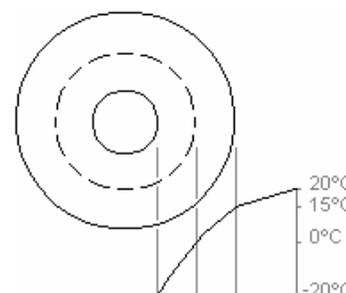
8.- Elementos de la B.C.: Otros Elementos (V)

Válvulas



Aislamiento

Pérdidas térmicas
Quemaduras
Condensaciones



5.- Bibliografía (I)

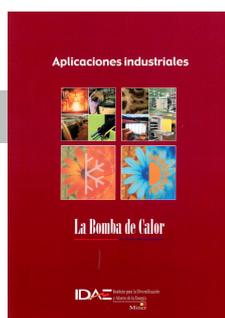


HandBooks (CDs)

Documento Técnico de
La Bomba de Calor



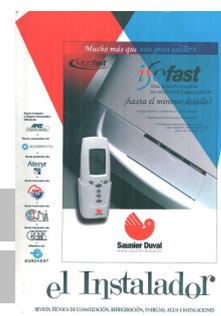
IDAE: "La Bomba de Calor", ...



IDAE Instituto para la Diversificación
y Eficiencia Energética
Ministerio de Industria

Montajes e Instalaciones

El Instalador



Instalaciones de Aire Acondicionado

- 1.- Introducción
- 2.- Tipos de Instalaciones
- 3.- Climatizadoras, UTAs o AHU
- 4.- Unidades Terminales
- 5.- Bibliografía

1.- Introducción

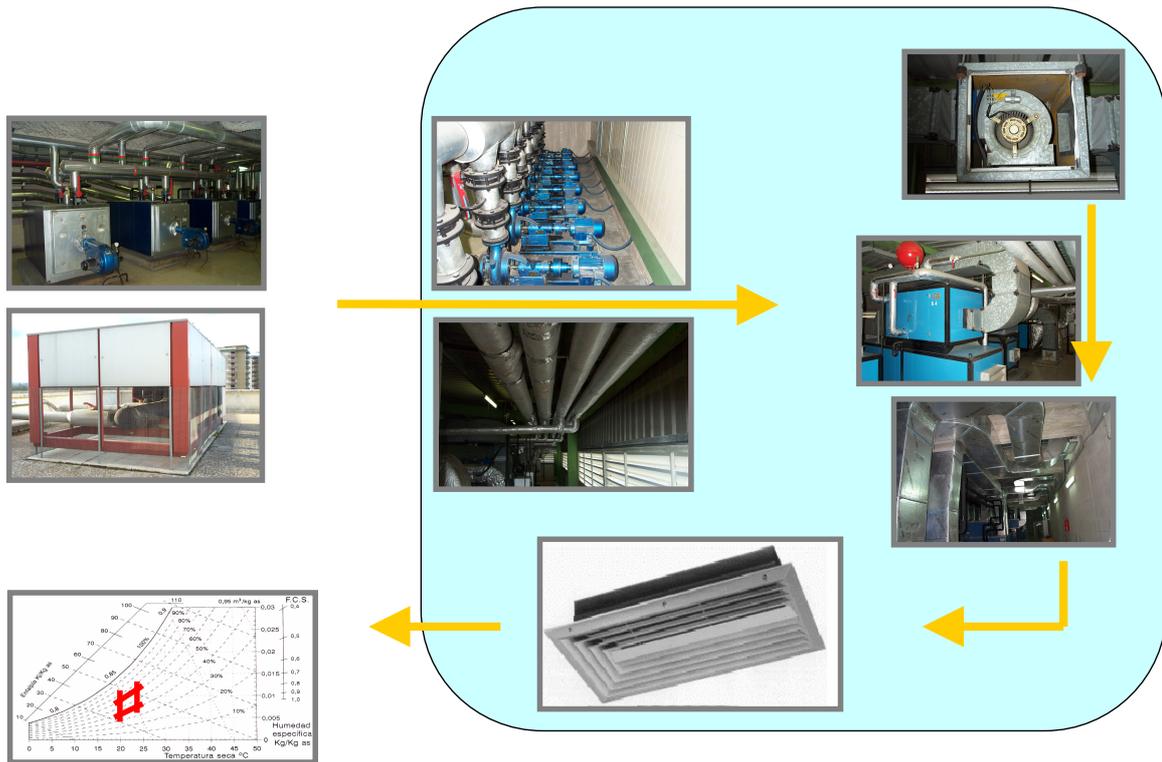
Existen multitud de tipos de instalaciones

Cada una de ellas tiene unas características propias; el control sobre los parámetros (T, HR, pureza del aire,...) no todas lo efectúan

Se clasifican en cuatro grandes grupos por los fluidos que transportan la energía (calor y/o frío) a los locales

Todo aire / agua-aire / Todo agua / Con fluido refrigerante

Es posible que coexistan varios sistemas, por ejemplo una eliminando la carga térmica perimetral, y otra la del "interior" del local



2.- Tipos de Instalaciones: Todo aire (I)

Instalaciones **todo aire** (una zona / múltiples zonas / doble conducto)

VENTAJAS

- Servicios están fuera de zonas ocupadas
- Facilita IAQ, zonificación, recuperación de energía

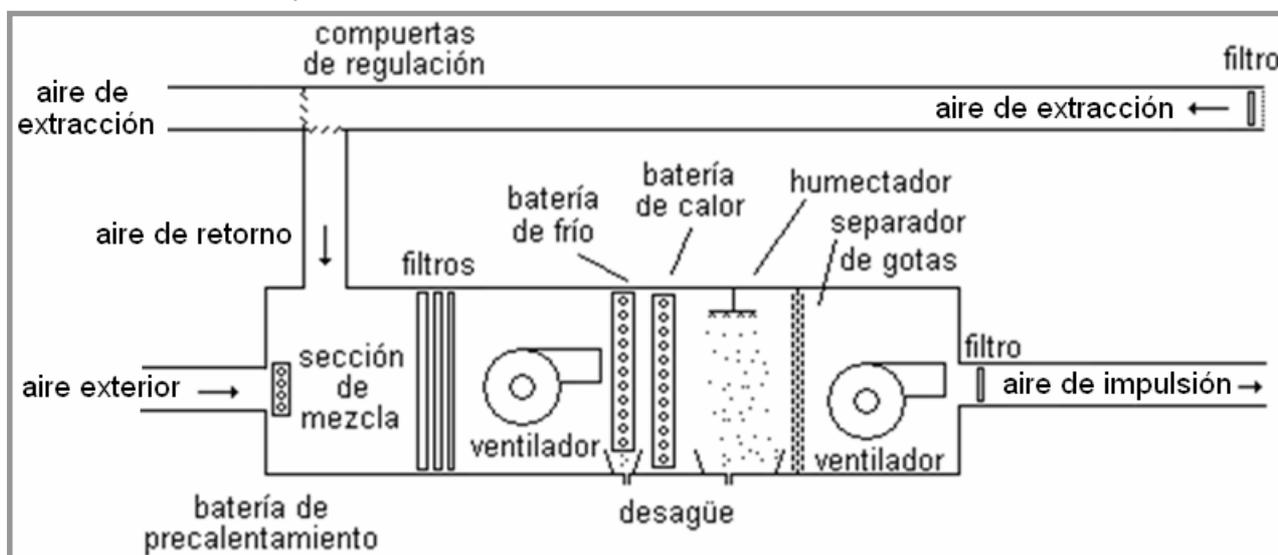
INCONVENIENTES

- Necesita falsos techos amplios
- Requiere coordinar Ingenieros y Arquitectos

Existen varios subtipos:

- Con recalentamiento
- Doble conducto
- Caudal variable
- ...

UTAs: son espacios destinados al acondicionamiento central del aire

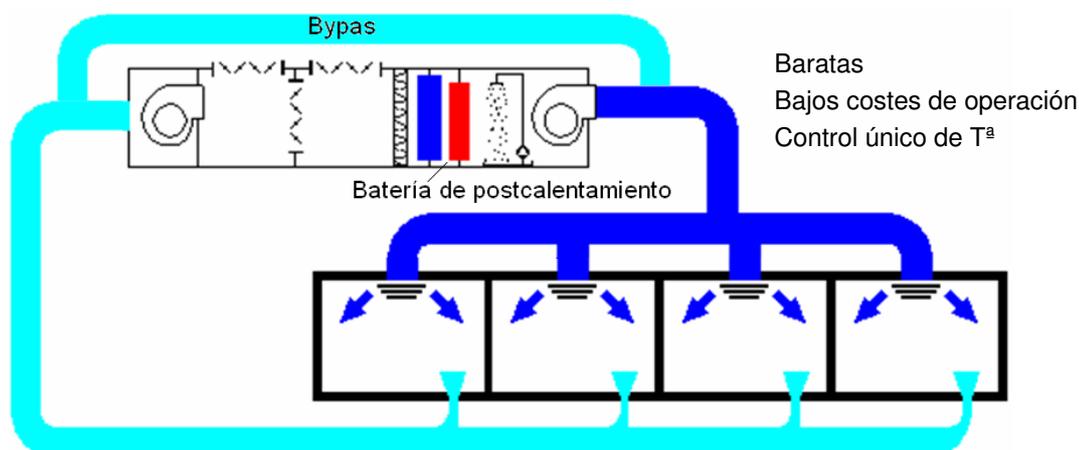


Toma de aire limpio
Compuertas de acceso
Sifones en desagües

2.- Tipos de Instalaciones: Todo aire (II)

Una Zona; control de T^a de impulsión con termostato actuando sobre:

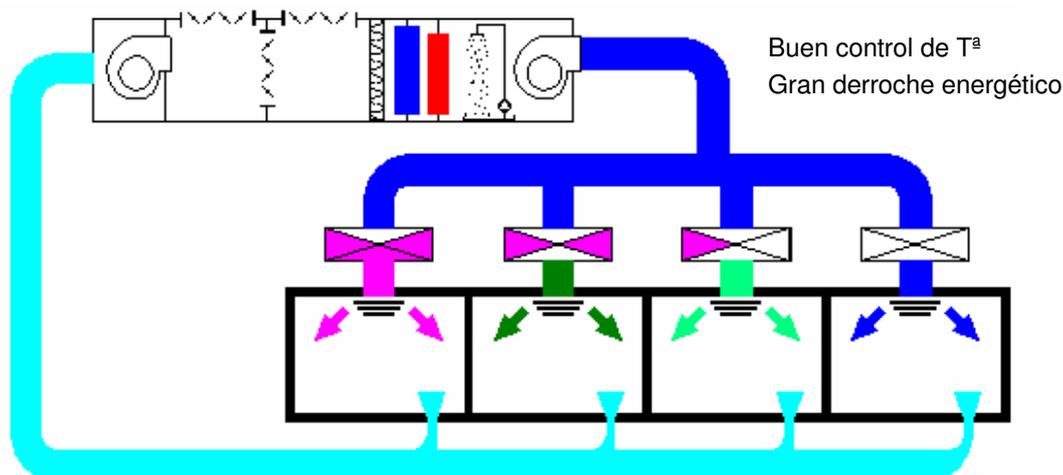
- La enfriadora y/o la caldera, parando y deteniendo el fluido.
- Un bypass hace que el aire de recirculación no pase por la batería
- Sobre la batería de postcalentamiento; control independiente T y humedad pero costes de instalación y operación elevados



2.- Tipos de Instalaciones: Todo aire (III)

Zonas Múltiples; control de T^a actuando sobre (I):

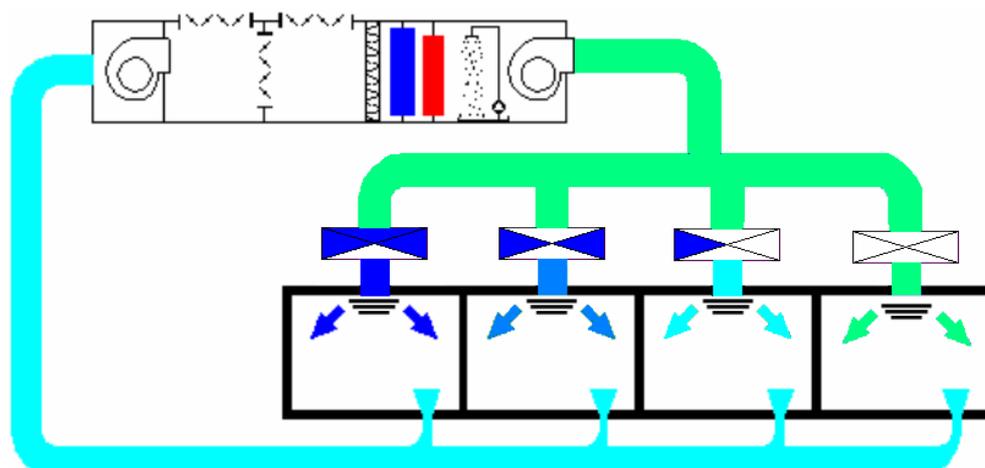
- a) Con **caudal constante y temperatura variable**. El aire es tratado centralmente en función del local con mayor demanda térmica, y posteriormente es terminado de acondicionar en una batería instalada en cada zona; tiene altos costes de instalación y de operación



2.- Tipos de Instalaciones: Todo aire (IV)

Zonas Múltiples; control de T^a actuando sobre (II):

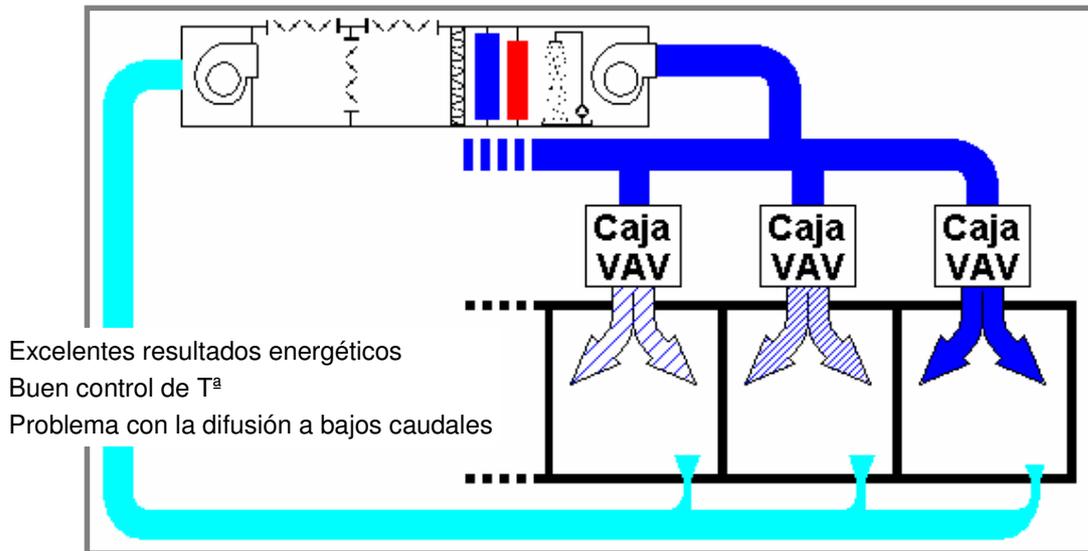
- b) Con **caudal constante y temperatura variable**; si el control de la T^a del aire de impulsión se hace en función del local con menor carga térmica se mejora energéticamente



2.- Tipos de Instalaciones: Todo aire (V)

Zonas Múltiples; control de T^a actuando sobre (III):

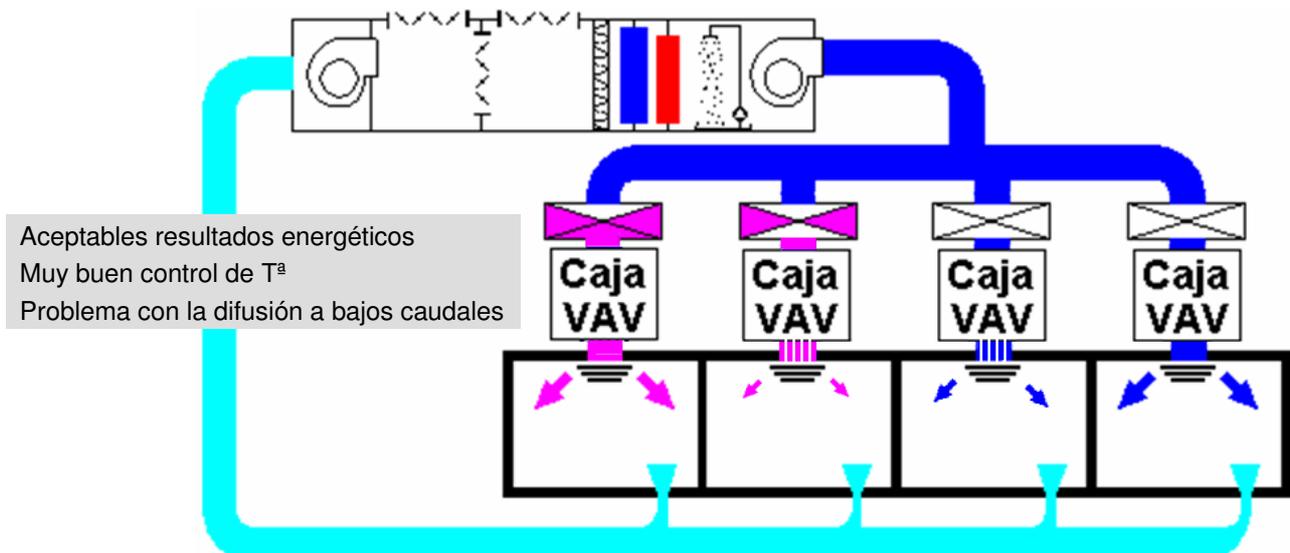
- c) Con **temperatura constante y caudal variable**. El aire es tratado centralmente, y en cada zona se regula el caudal introducido en función de las necesidades; problema la interacción de caudales



2.- Tipos de Instalaciones: Todo aire (VI)

Zonas Múltiples; control de T^a actuando sobre (IV):

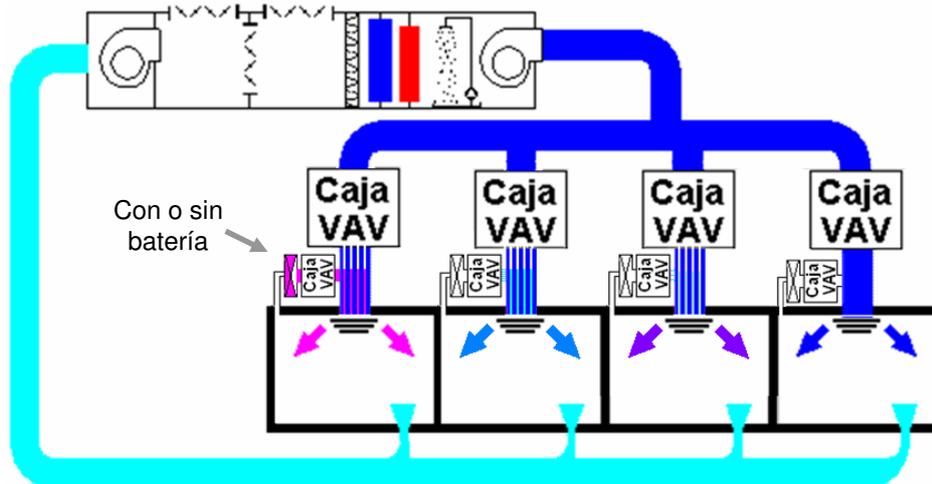
- d) Con **temperatura y caudal variables**. Es la unión de los dos sistemas anteriores, primero se regula el caudal y después la temperatura



2.- Tipos de Instalaciones: Todo aire (VII)

Zonas Múltiples; control de T^a actuando sobre (V):

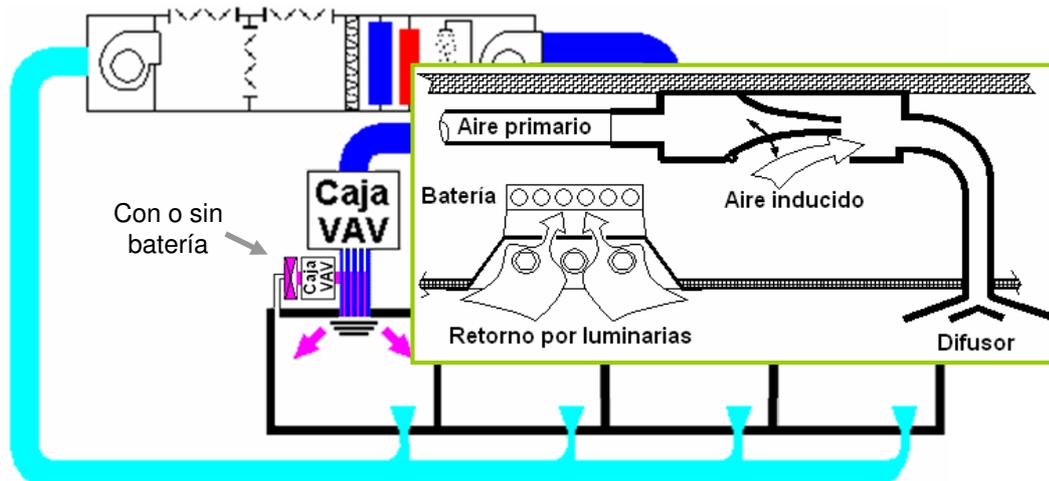
- e) Con **caudal variable y recirculación local**; un climatizador central sirve a varias zonas, en las que se toma aire de recirculación local
- f) Con **caudal variable, recirculación local y T variable**; igual al anterior, pero en cada zona además incorpora baterías propias



2.- Tipos de Instalaciones: Todo aire (VII)

Zonas Múltiples; control de T^a actuando sobre (V):

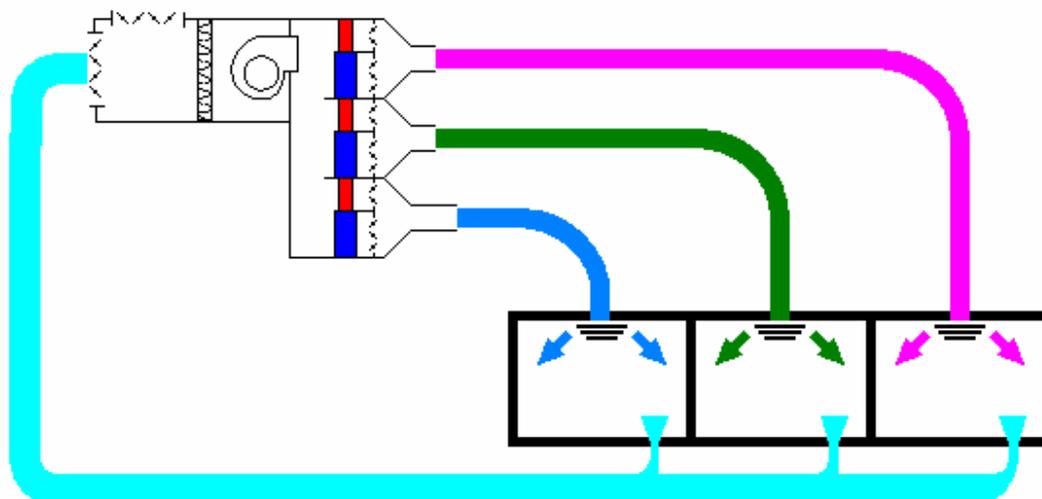
- e) Con **caudal variable y recirculación local**; un climatizador central sirve a varias zonas, en las que se toma aire de recirculación local
- f) Con **caudal variable, recirculación local y T variable**; igual al anterior, pero en cada zona además incorpora baterías propias



2.- Tipos de Instalaciones: Todo aire (VIII)

Zonas Multizona

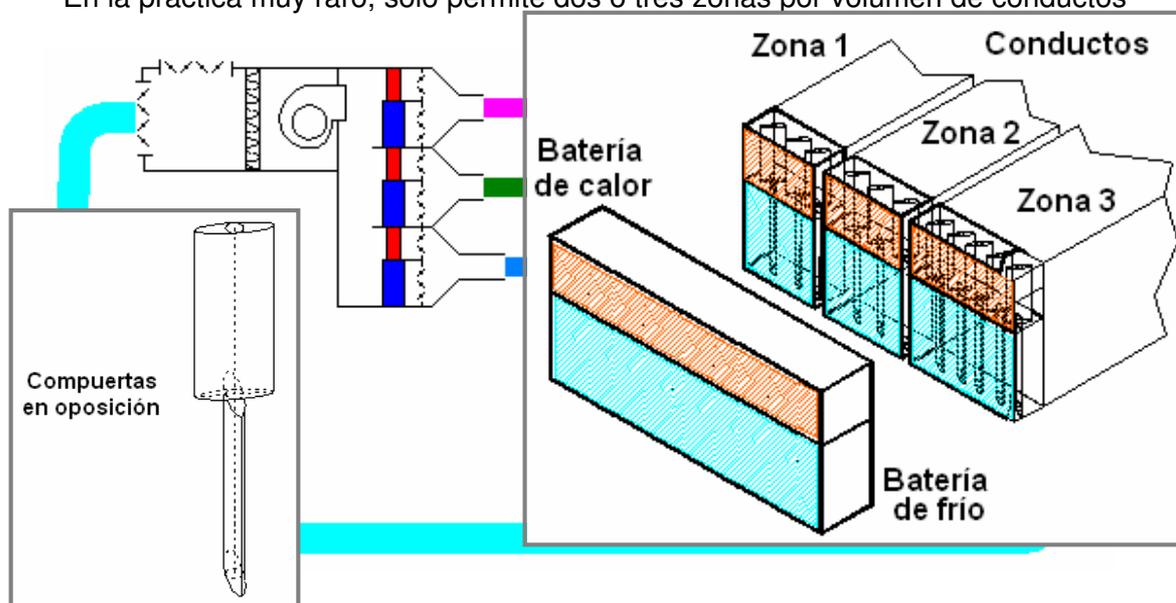
En la práctica muy raro, sólo permite dos o tres zonas por volumen de conductos



2.- Tipos de Instalaciones: Todo aire (VIII)

Zonas Multizona

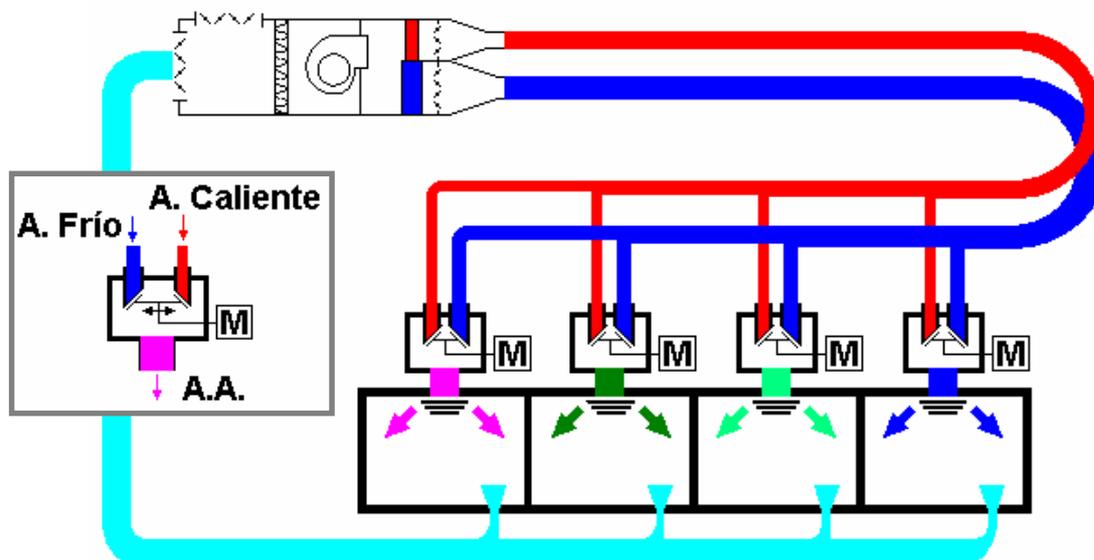
En la práctica muy raro, sólo permite dos o tres zonas por volumen de conductos



2.- Tipos de Instalaciones: Todo aire (IX)

Zonas Multizona y Doble Conducto (I)

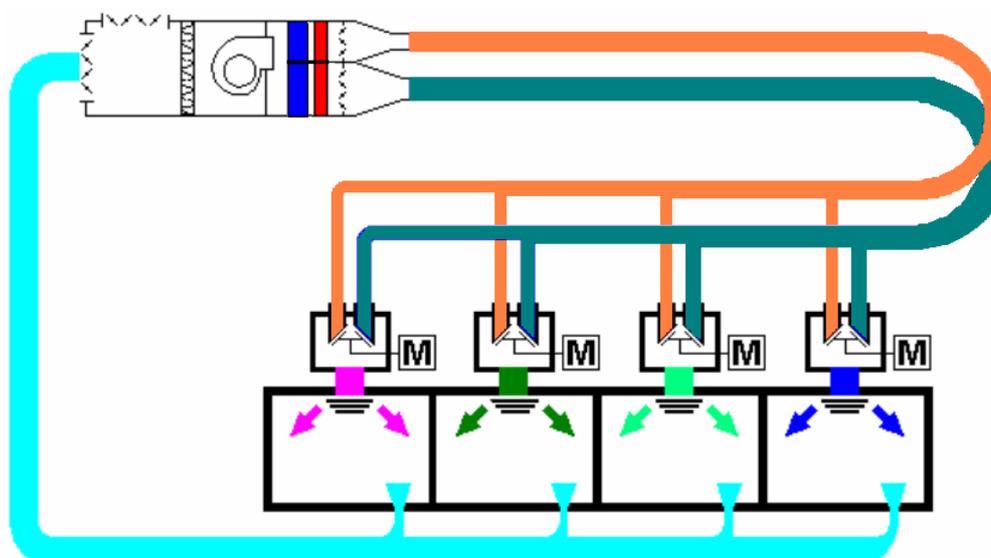
a) Conductos de frío y calor; muy caro en instalación y funcionamiento



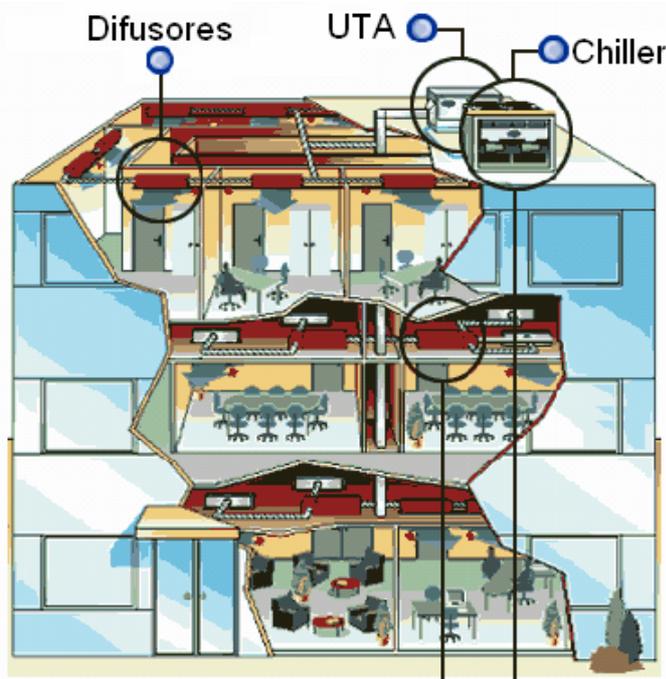
2.- Tipos de Instalaciones: Todo aire (X)

Zonas Multizona y Doble Conducto (II)

b) Conducto dual: los dos conductos pueden llevar frío o calor



2.- Tipos de Instalaciones: Todo aire (XI)



Enfriadora en que distribuye agua a una UTA, desde la que se envía aire climatizado a todo el edificio

2.- Tipos de Instalaciones: aire - agua (I)

Una instalación central de aire controla la calidad del aire

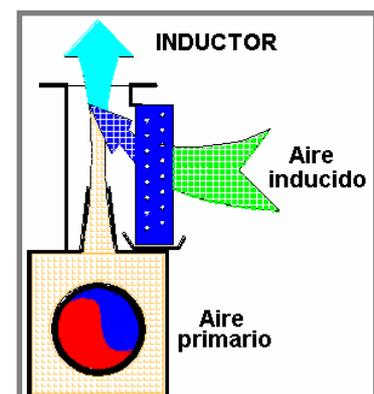
Una enfriadora elimina la carga térmica del local.

(conductos de aire son menores)
(no siempre tienen aire de retorno)

a) Instalaciones de inducción

El aire tratado centralmente (primario) induce a que parte del aire del local (secundario) pase por una batería alimentada con agua caliente o fría

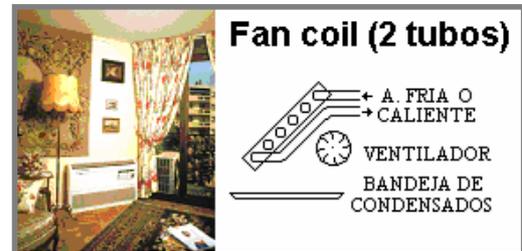
Muy larga duración, bajo mantenimiento local



2.- Tipos de Instalaciones: aire - agua (II)

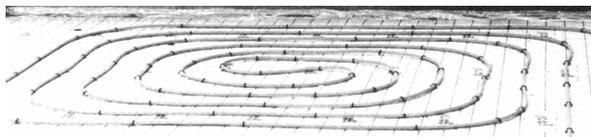
b) Fancoils con aire primario

Una o dos baterías con un ventilador y con apertura en la pared para toma de aire exterior; le pueden llegar 2, 3 o 4 tubos (requieren válvulas muy estancas para evitar mezcla del agua)



c) Instalaciones de paneles radiantes y aire primario

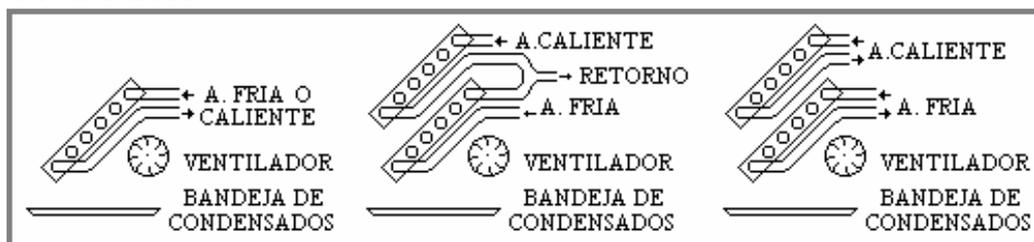
Son instalaciones con aire primario de renovación y paneles radiantes alimentados con agua para la carga térmica



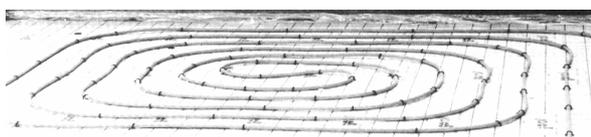
2.- Tipos de Instalaciones: Todo agua (I)

a) Fancoils: la T se regula en cada local

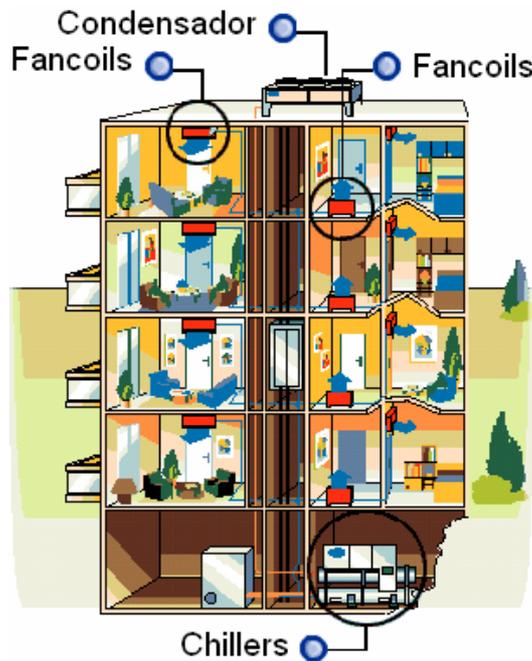
- a dos tubos: es necesario parcializar las zonas con distinto tipo de carga; ofrece un bajo coste de instalación
- a tres tubos: gran gasto energético si hay consumo simultáneo
- a cuatro tubos:



b) Instalaciones de paneles radiantes



2.- Tipos de Instalaciones: Todo agua (II)



Enfriadora en que distribuye agua por una instalación de tuberías a los fancoils del edificio

**2.- Tipos de Instalaciones: con fluido refrigerante (I)
(expansión directa)**

Acondicionamiento individualizado en cada local; bajo coste inicial, y fácil instalación, sobre todo cuando el edificio está ya construido; pero su coste de operación y su mantenimiento son costosos

No aportan aire de renovación, y gran impacto estético exterior

a) Acondicionadores de ventana

Condensador en el exterior y evaporador en el interior



b) Split o partidos

- Unidad interior o evaporadora (v. expansión o capilar, bandeja de condensados). Adicionalmente una resistencia eléctrica y "filtros"
- Unidad exterior o condensadora, (compresor); si el equipo es bomba de calor incluye la válvula de 4 vías y la botella antigolpe de líquido



**2.- Tipos de Instalaciones: con fluido refrigerante (II)
(expansión directa)**

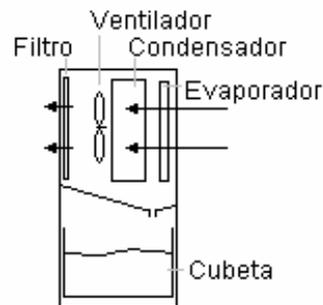
- c) Portátiles
Conexiones flexibles o toma de aire exterior



- d) Máquinas de hielos
Depósito para cubitos y un ventilador

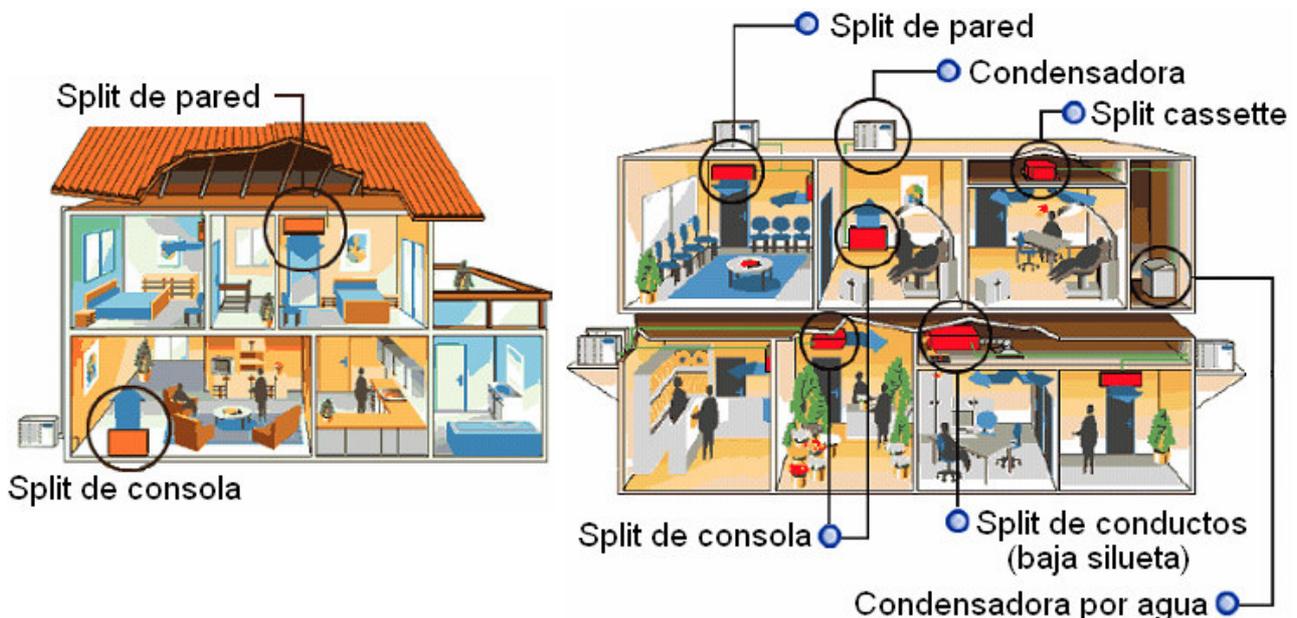


- e) Equipos deshumidificadores
Un ventilador forzando el paso de aire por un evaporador y un condensador en serie



...

**2.- Tipos de Instalaciones: con fluido refrigerante (III)
(expansión directa)**



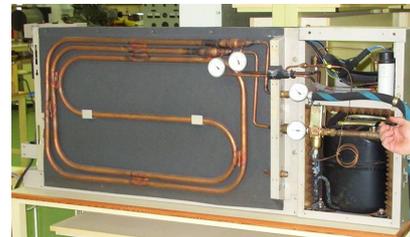
2.- Tipos de Instalaciones: Equipos compactos

En una unidad incluyen todo el equipo frigorífico
Internamente están divididos en dos partes
independientes y aisladas térmicamente

Pueden estar diseñados para instalarse directamente
en el local o para conectarse a conductos

Se pueden destacar dos tipos:

- Que el condensador esté refrigerado por agua; suele llevar incorporada una válvula presostática de agua
- Que el condensador esté refrigerado por aire, necesita de una conducción del aire para el condensador desde y hacia el exterior



2.- Tipos de Instalaciones: Enfriadoras (chillers)

Unidades destinadas a conseguir agua fría, el evaporador es un intercambiador (mejor de tubos) en contracorriente

Se han de evitar las congelaciones por lo que la temperatura de salida del agua esté comprendida entre 4 y 6°C. Si el agua lleva algún anticongelante esta temperatura puede ser hasta -5°C

Roof Top (unidades de cubierta)

Instaladas sobre la cubierta

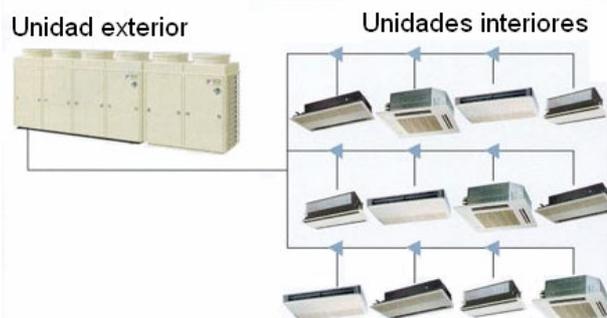
Enfrían aire y lo impulsan directamente al local

Múltiples posibilidades

Con recirculación, freecooling, ...

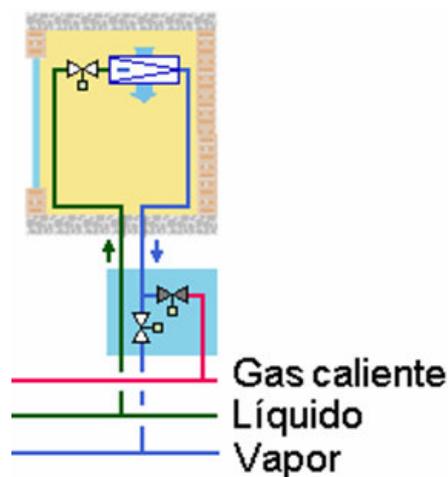
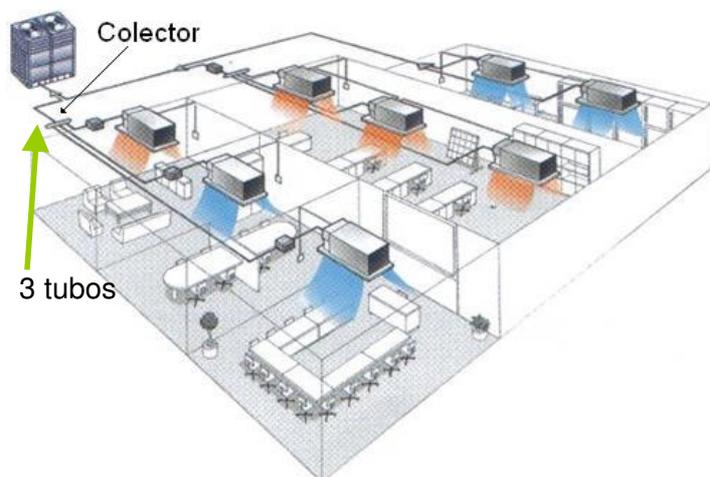


2.- Tipos de Instalaciones: VRV (I)



Puede tener un sistema de aire de ventilación (pequeño)

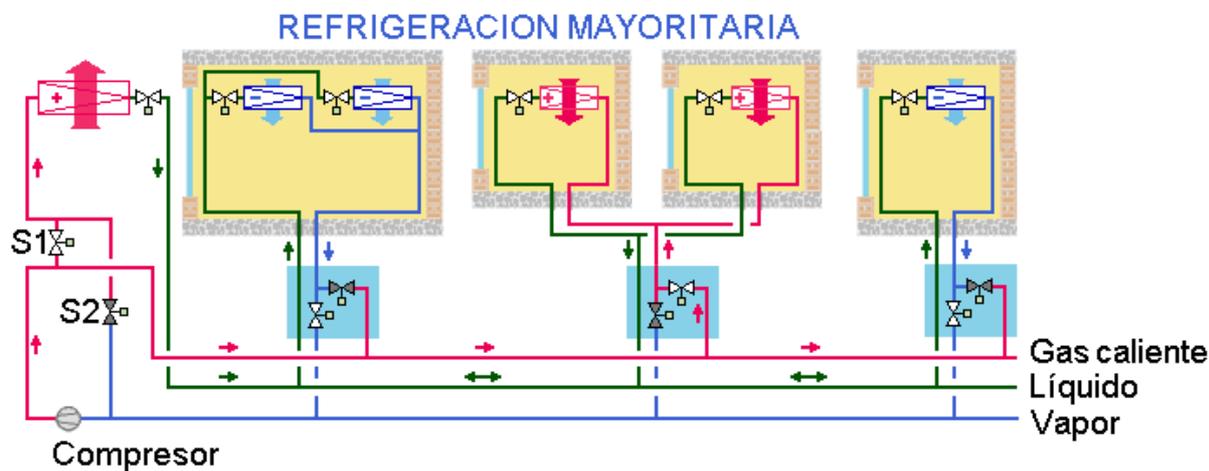
2.- Tipos de Instalaciones: VRV (II)



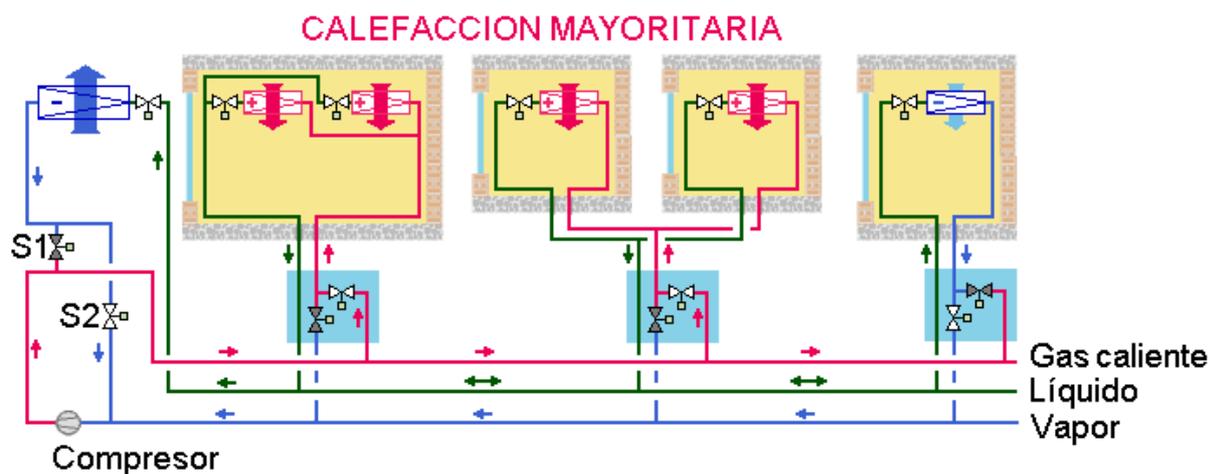
In: Gas Caliente / Out: Líquido ⇒ **CALEFACTA**

In: Líquido / Out: Vapor ⇒ **REFRIGERA**

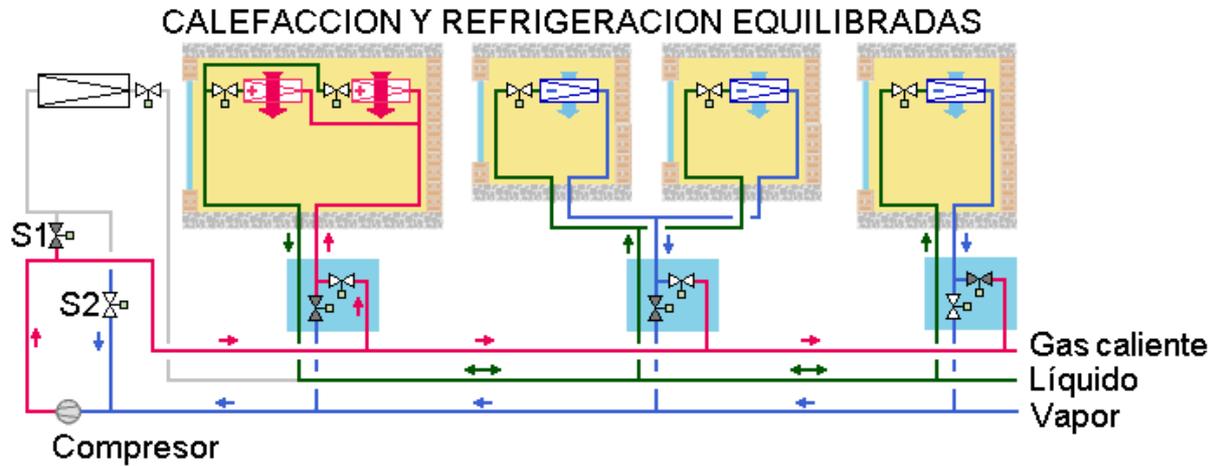
2.- Tipos de Instalaciones: VRV (III)



2.- Tipos de Instalaciones: VRV (IV)

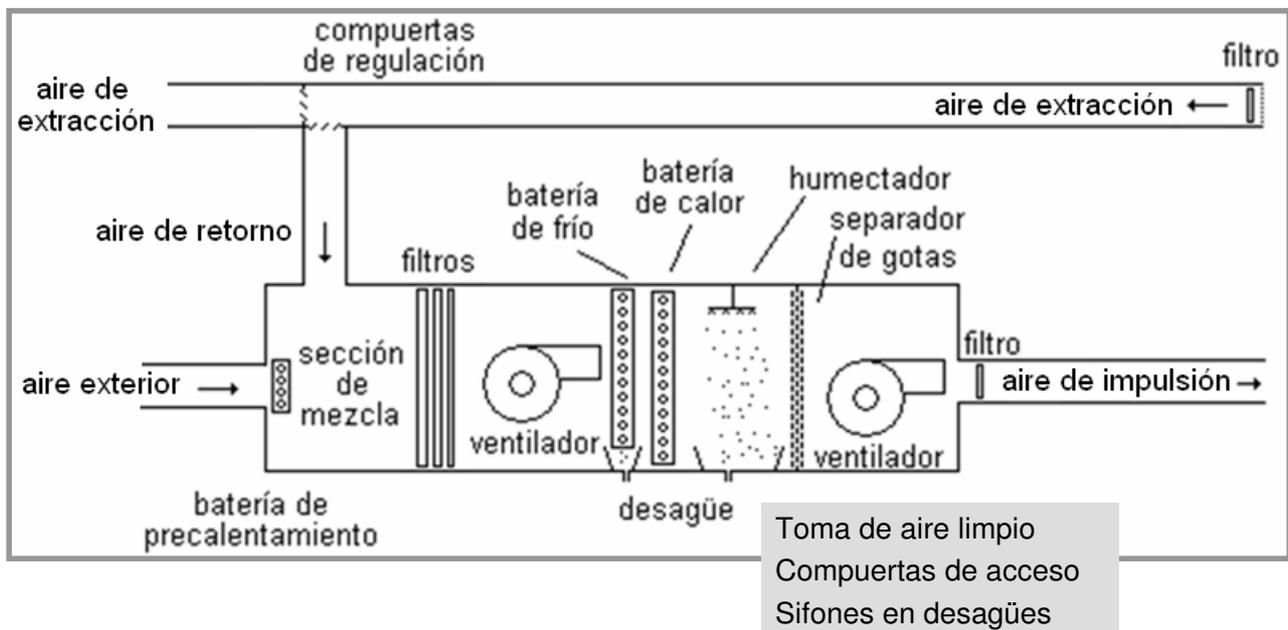


2.- Tipos de Instalaciones: VRV (V)



3.- Climatizadores, UTAs o AHU (I)

Son espacios destinados al acondicionamiento central del aire



3.- Climatizadores, UTAs o AHU (II)

Partes de una UTA (I):

a) La Toma de Aire Exterior

Colocada en zona de aire limpio

Debe llevar rejillas y filtros

Mejor un *PLENUM* que toma directa del local

Puede tener un recuperador de calor

Debe permitir el free-cooling



b) Sección de entrada

Filtros

Ventilador

Batería de precalentamiento (evitar condensación), ...



c) Sección de mezcla

3.- Climatizadores, UTAs o AHU (III)

Partes de una UTA (II):

d) Sección de Acondicionamiento

Baterías y/o resistencias eléctricas

Deshumidificador

Humectador y filtro anti gotas, ...

e) Sección de Salida

Ventilador y filtros

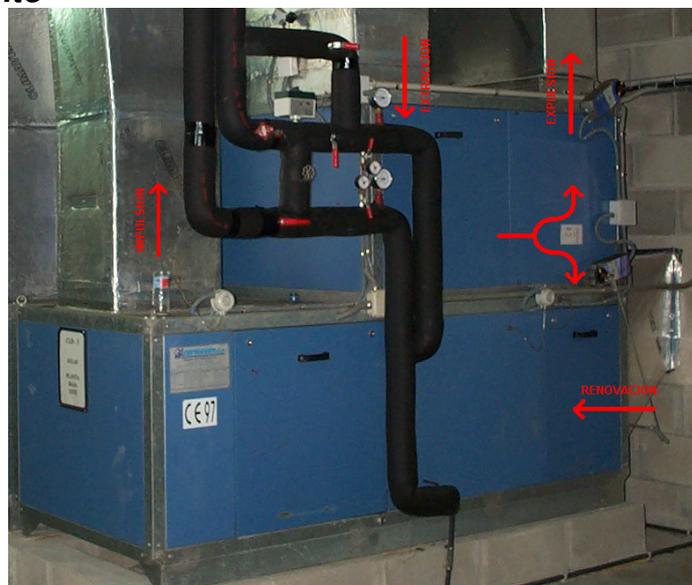
Constructivamente:

Compuertas de acceso

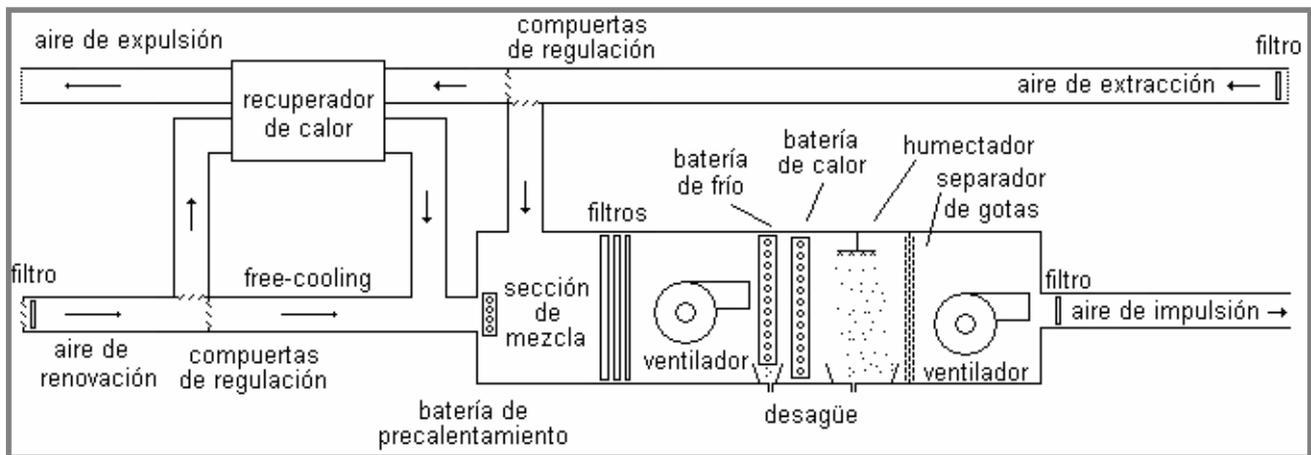
Uniones flexibles

Soportes elásticos

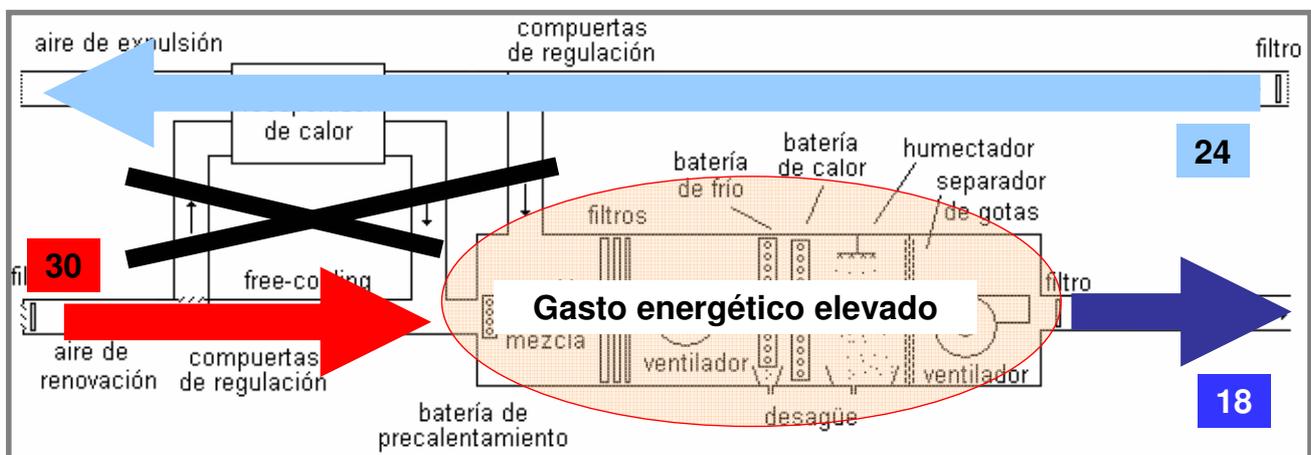
Compuestas corta fuegos, ...



3.- Climatizadores, UTAs o AHU (IV)



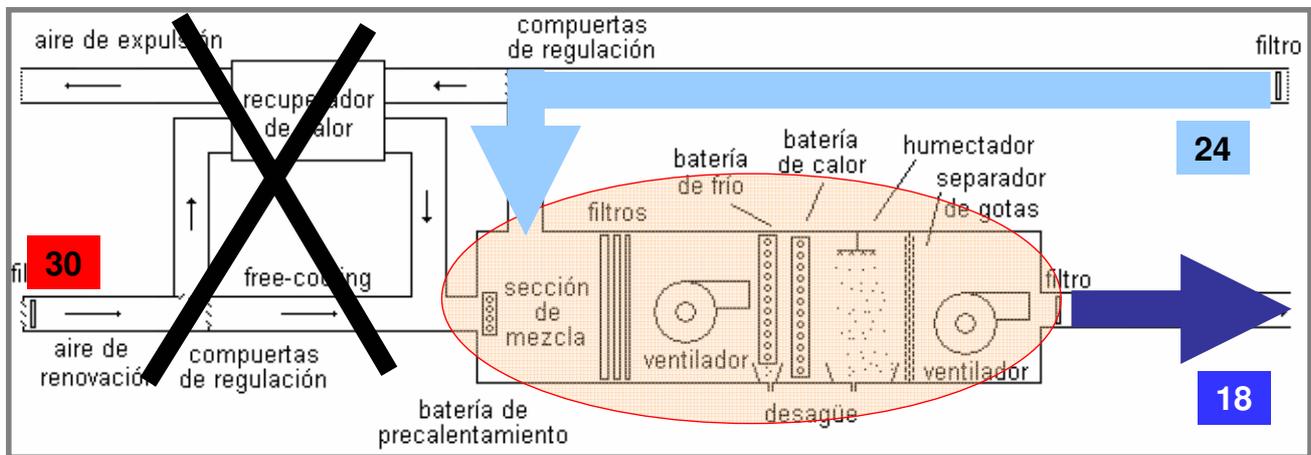
3.- Climatizadores, UTAs o AHU (V)



Las primeras instalaciones de A.A.: todo aire exterior

$$Q = M_{\text{aire}} C_{\text{paire}} (30 - 18)$$

3.- Climatizadores, UTAs o AHU (VI)

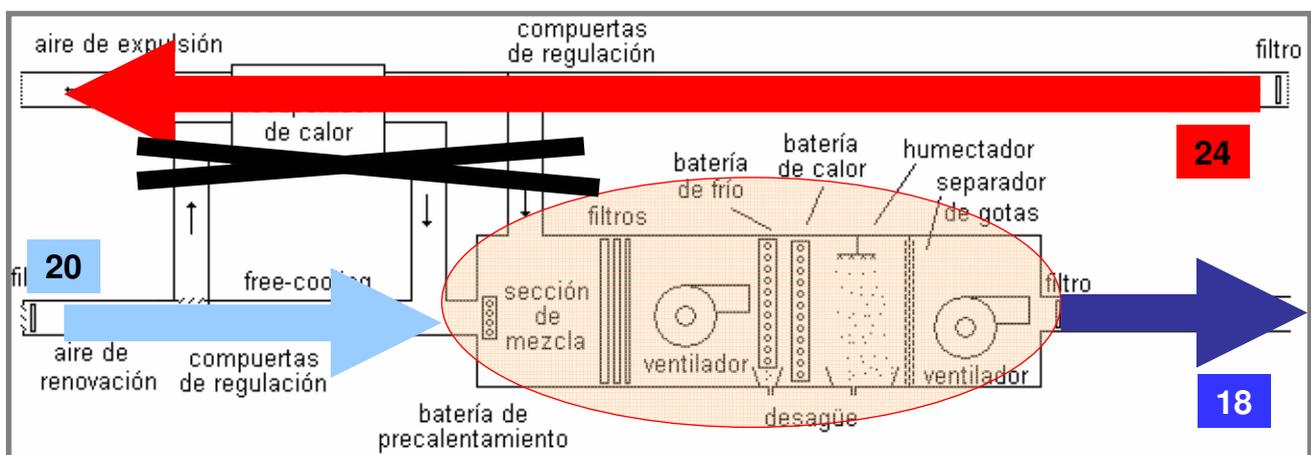


Recirculación de aire

$$Q = M_{\text{aire}} C_{\text{paire}} (24 - 18) \quad [50\%]$$

Síndrome del edificio enfermo

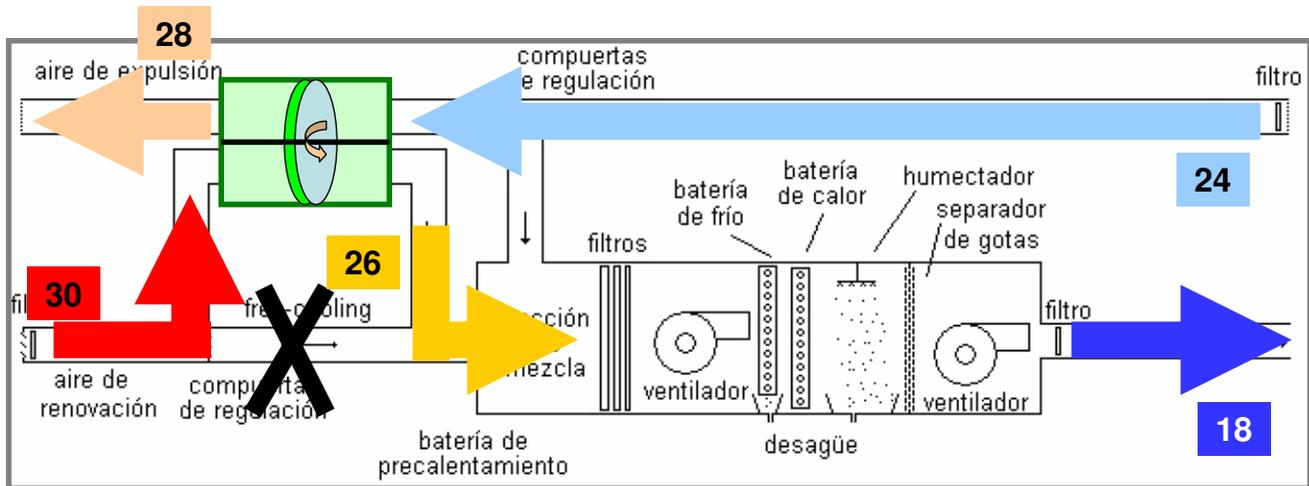
3.- Climatizadores, UTAs o AHU (VII)



Free-cooling

$$Q = M_{\text{aire}} C_{\text{paire}} (20 - 18)$$

3.- Climatizadores, UTAs o AHU (VIII)



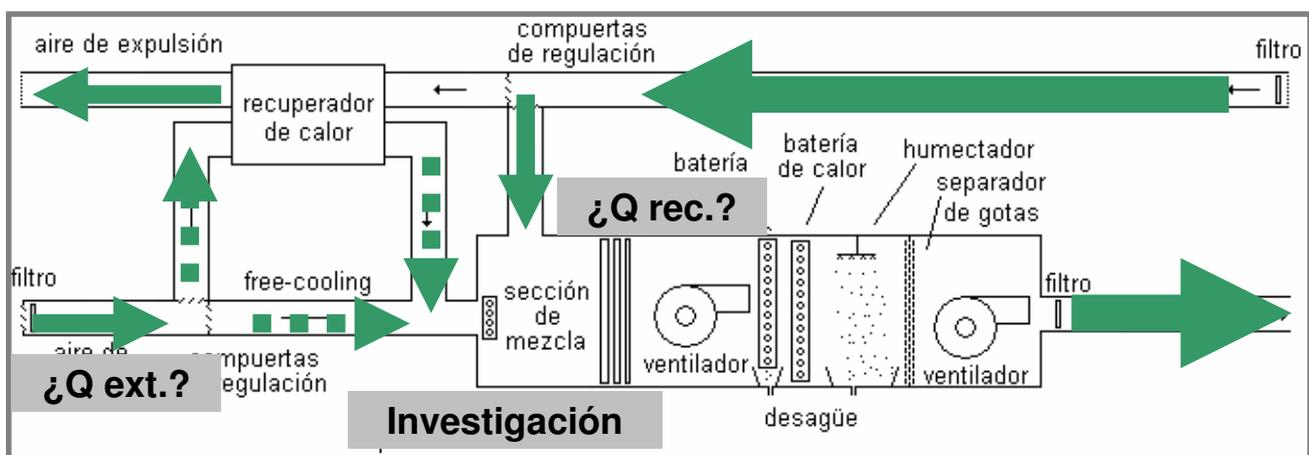
Free-cooling

+

Recuperador de calor

$$Q = M_{\text{aire}} C_{\text{paire}} (26 - 18)$$

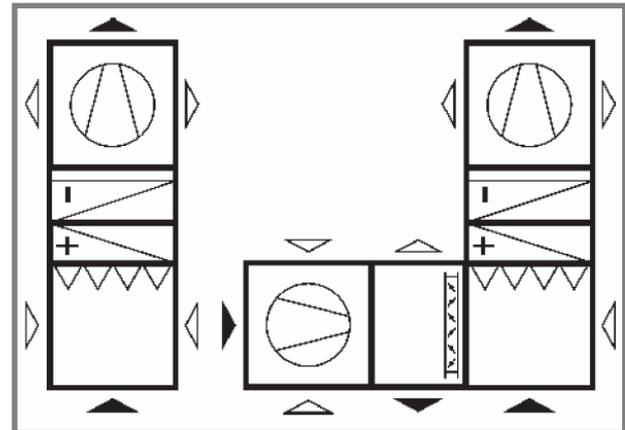
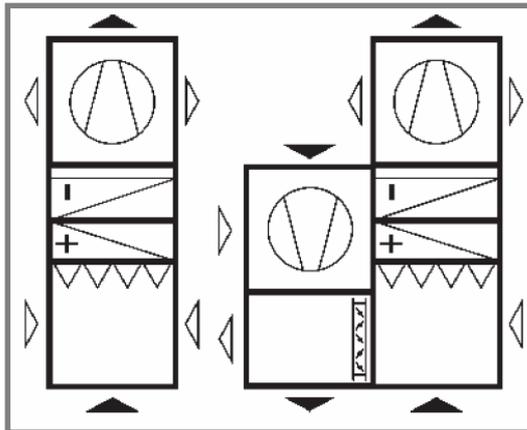
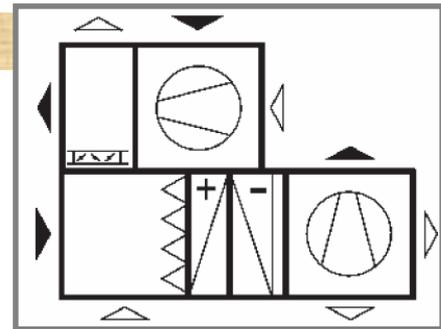
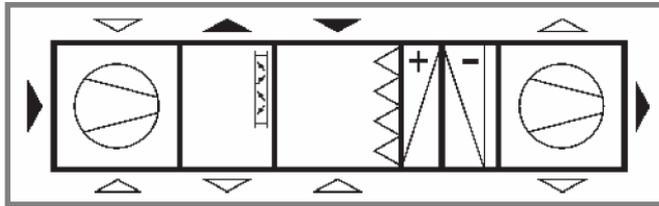
3.- Climatizadores, UTAs o AHU (IX)



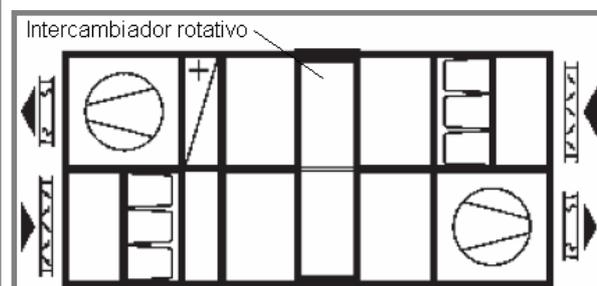
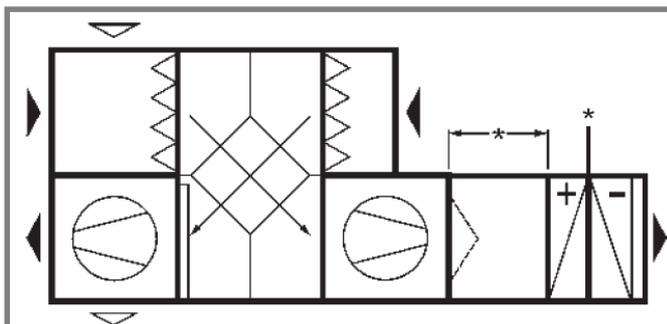
Optimizar el consumo energético cumpliendo con el mínimo de aire exterior

$$Q = M_{\text{exterior}} C_p (T_{\text{exterior}} - 18) + M_{\text{interior}} C_p (24 - 18) + M_{\text{recuperador}} C_p (T_{\text{recuperador}} - 18)$$

3.- Climatizadores, UTAs o AHU (X)



3.- Climatizadores, UTAs o AHU (XI)



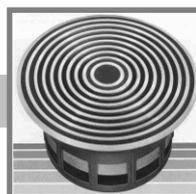
4.- Unidades Terminales (I)

De aire: difusores, inductores, ...

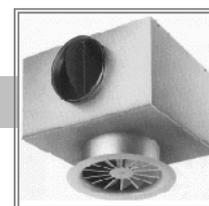
Lineales



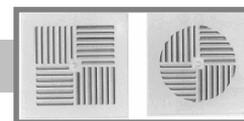
De suelo



De techo



de peldaño



Rejillas



Toberas



...

4.- Unidades Terminales (II)

De agua (fan coils) / *De refrigerante* (válvula exp., ...) (I)

Consola



Mural (pared o techo)



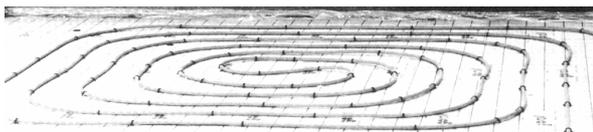
Cassette



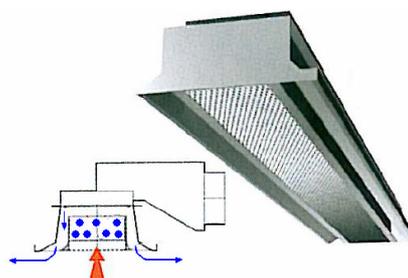
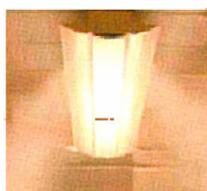
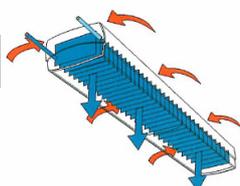
4.- Unidades Terminales (III)

De agua (fan coils) / *De refrigerante* (válvula exp., ...) (II)

Suelos radiantes



Vigas frías



GRUPO	TIPO INSTALACION	REG T°	%HR	MOV. AIRE	PUREZA AIRE	RUIDO	OCUP	COSTE INICIAL	COSTE FUNC.
TODO AIRE	Un conducto, zona única								
	a) reg. sobre batería enfriamiento	9	5	9	9	9	Con	Mod	Mod
	b) reg. by-pass aire	9	7	9	9	9	Con	Mod	Mod
	c) reg. batería poscalentamiento	9	9	9	9	9	Con	Mod	Ele
	Un conducto, zonas múltiples								
	a) caudal cte, regulación T	9	9	9	9	8	Ele	Ele	Ele
	b) T cte y regulación C	6	6	5	7	6	Bajo	Bajo	Bajo
	c) reg de C y T	8	7	7	8	7	Bajo	Mod	Ele
	d) reg C y recirc local	7	6	9	8	9	Mod	Mod	Mod
	e) reg C y recirc. local y reg T	9	7	9	9	9	Mod	Mod	Ele
	Instalación multizona								
	Instalación multizona (dos conductos)	9	7	9	9	9	Mod	Mod	Mod
	Instalación de doble conducto								
	a) 1 vent y deshu en impulsión	9	7	9	9	8	Ele	Ele	Mod
	b) 1 vent y deshu en impul y a. ext	9	9	9	9	8	Ele	Ele	Ele
	c) 2 vent y deshu en impulsión de un vent	9	8	9	9	8	Ele	Ele	Mod
d) 1 vent y deshu en aspir del vent	9	9	9	9	8	Ele	Ele	Ele	
Conducto dual	8	9	8	8	8	Con	Mod	Mod	

GRUPO	TIPO INSTALACION	REG T°	%HR	MOV. AIRE	PUREZA AIRE	RUIDO	OCUP	COSTE INICIAL	COSTE FUNC.
AIRE-AGUA	Inducción o Fancoils con aire primario								
	a) a dos tubos	9	9	9	8	8	Mod	Mod	Mod
	b) a tres tubos	9	9	9	8	8	Con	Con	Mod
	c) a cuatro tubos	9	9	9	8	8	Ele	Ele	Bajo
	Paneles radiante con aire primario	8	8	5	5	9	Mod	Ele	Ele
TODO AGUA	Fancoils (con toma aire exterior)								
	a) a dos tubos	6	4	8	5	7	Bajo	Bajo	Mod
	b) a tres tubos	8	4	8	5	7	Mod	Mod	Mod
	c) a cuatro tubos	8	4	8	5	7	Mod	Con	Bajo
FLUIDO REFRIG	Acondic. ventana calef por radiadores	7	4	7	4	5	Bajo	Bajo	Ele
	Acondic. ventana calef bomba calor	8	4	7	4	4	Bajo	Mod	Ele

Con considerable
Mod moderado
Ele elevado

Fuente: IDOM (Ingeniería y Dirección de Obras y Montajes)

Sistema	Temperatura	Humedad	Renovación de aire	Filtración	Nivel sonoro	Integración	Flexibilidad	Coste de instalación	Coste de funcionamiento	Coste de mantenimiento	Ffiabilidad
Aparatos de ventana	%	%	B	0	0	0	B	E	B	E	E
Portátil	%	%	0	0	0	0	%	B	%	%	0
Mini split – mural	%	%	0	0	B	0	B	B	B	E	B
Mini split – cassette	%	%	%	0	B	B	B	B	B	E	B
Mini split – conductos	E	%	B	%	E	E	E	E	B	E	B
Multi split 1 compresor – cassette	B	%	%	B	B	B	%	0	B	%	%
Split conductos	B	B	B	%	E	E	B	E	%	E	B
Compacto	B	B	B	%	B	B	B	E	%	E	E
Central unizona	B	E	E	E	E	B	0	0	E	E	E
Fancoil	E	B	0	0	B	E	E	%	E	E	E
inductores	E	E	E	B	B	B	0	0	%	E	E

E = Excelente
B = Bien
% = Regular
0 = Mal

Fuente: Roca

Instalación ETSIlyT



Instalación Derecho y Económicas



Instalación Paraninfo



Instalación H.U.M.Valdecilla



5.- Bibliografía (I)

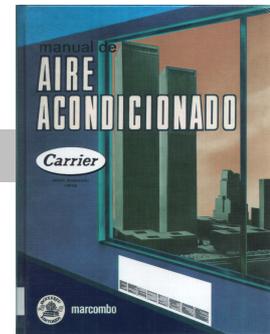


HandBooks (CDs)



CARRIER

DTIEs



DTIE 8.01, Recuperación de energía en sistemas de climatización; U. Valladolid
DTIE 9.01, Sistemas de climatización y unidades de tratamiento de aire; A Cabetas
DTIE 9.02, Relación entre el edificio y el sistema de climatización; A Cabetas
DTIE 9.03, Sistemas de climatización para viviendas, residencias y locales comerciales; F Cebrián

Recuperadores de Calor

- 1.- Introducción
- 2.- Intercambiadores de Placas
- 3.- Tubos de Calor
- 4.- Baterías y Bomba
- 5.- Circulación y Rociado
- 6.- Evaporativo Indirecto
- 7.- Intercambiadores Rotativos
- 8.- Recuperador Entálpico
- 9.- Criterios de Selección

1.- Introducción

Reducir el consumo energético • Ahorro de energía
• Recuperar energía

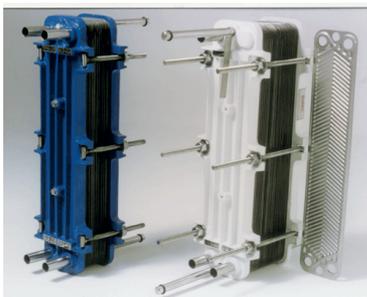
Llevan asociado • Inversión inicial
• Ahorro en operación

2.- Intercambiadores de Placas

Placas corrugadas (↑área y turbulencia)

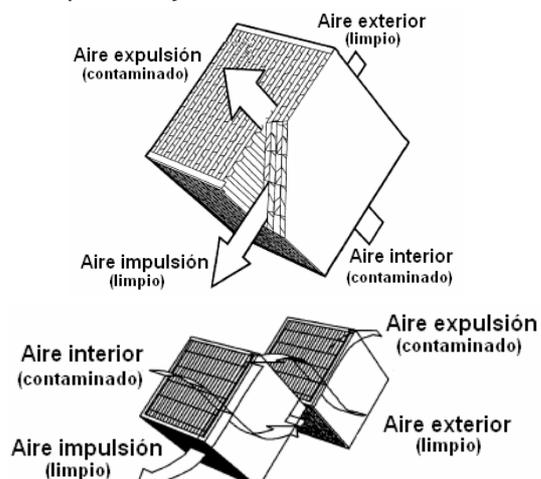
Si se conectan dos en serie, han de estar en contracorriente

- De líquidos



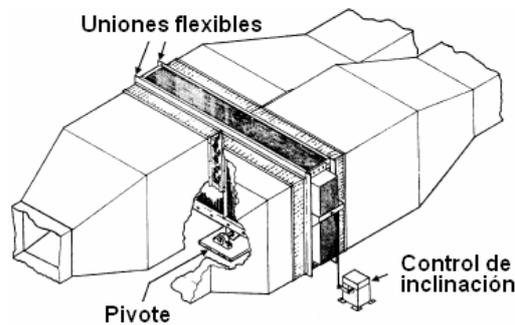
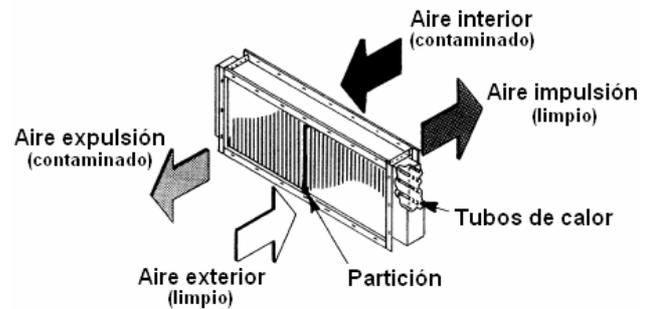
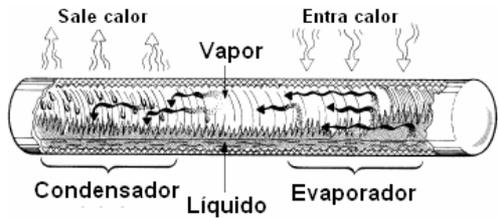
- De aire

Requieren “juntar” los conductos



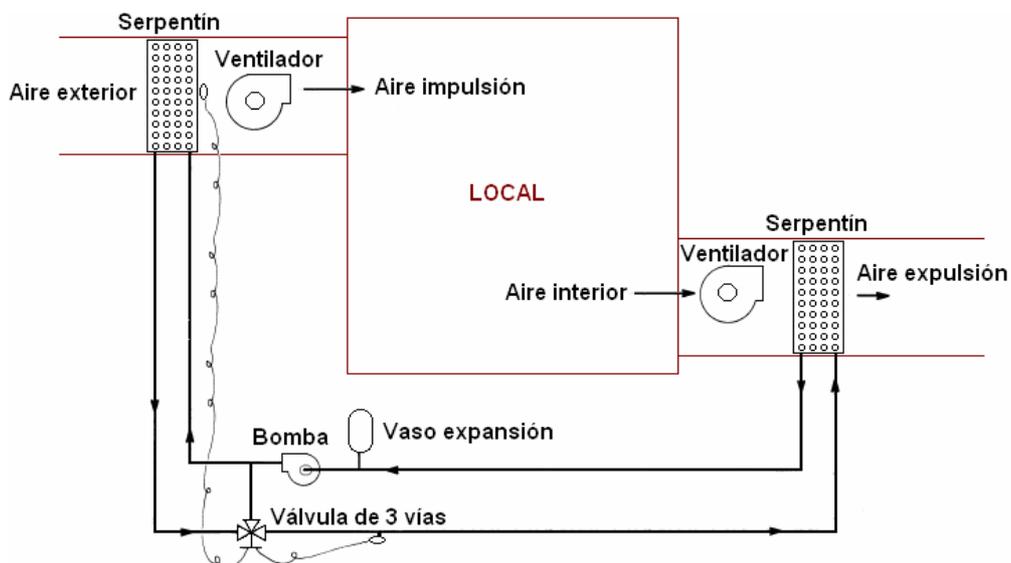
3.- Tubos de Calor

Evaporador y condensación de un fluido contenido en un tubo "hueco"
La inclinación puede favorecer el retorno del condensado



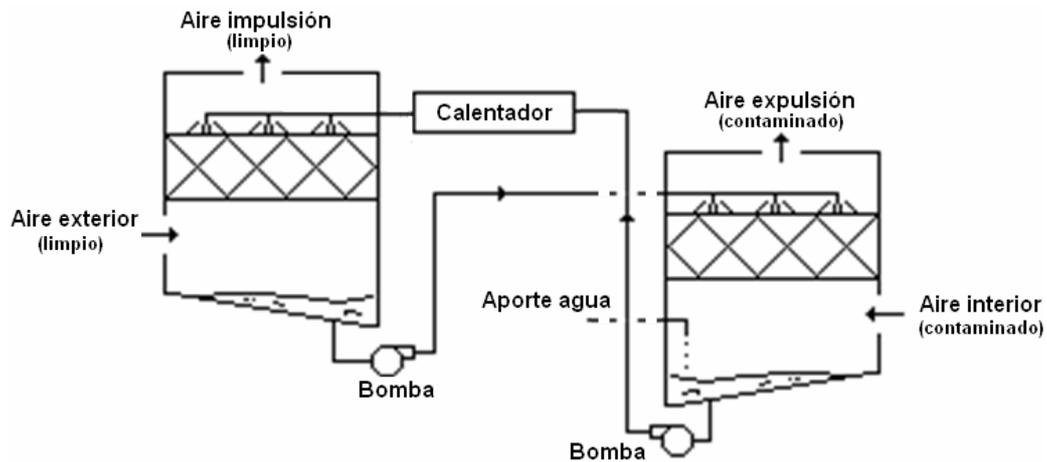
4.- Baterías con Bomba Circuladora

No requiere juntar los conductos
Menor eficacia térmica



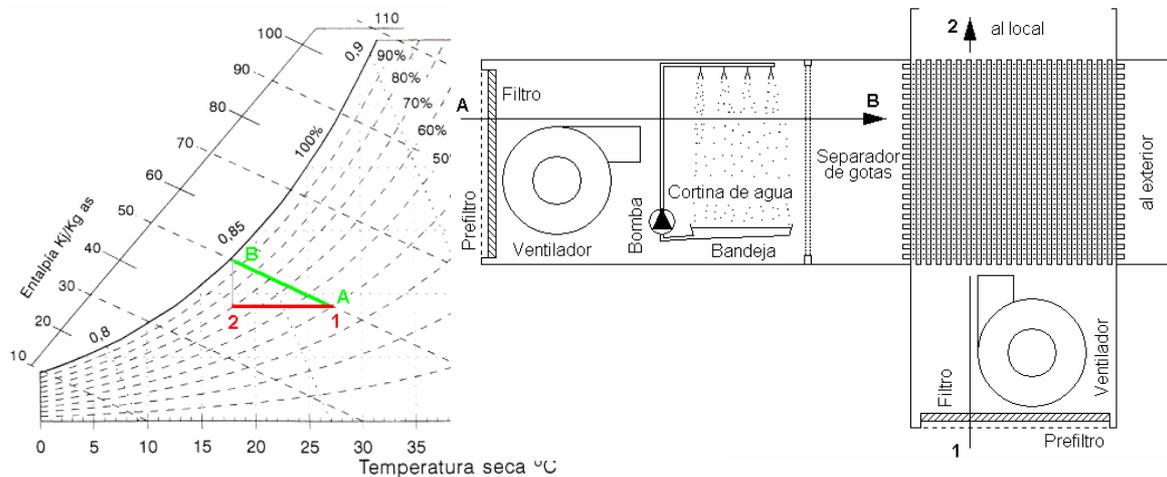
5.- Circulación y Rociado

- No requiere juntar los conductos
- Menor eficacia térmica
- Permite humectar
- Calentador auxiliar en invierno



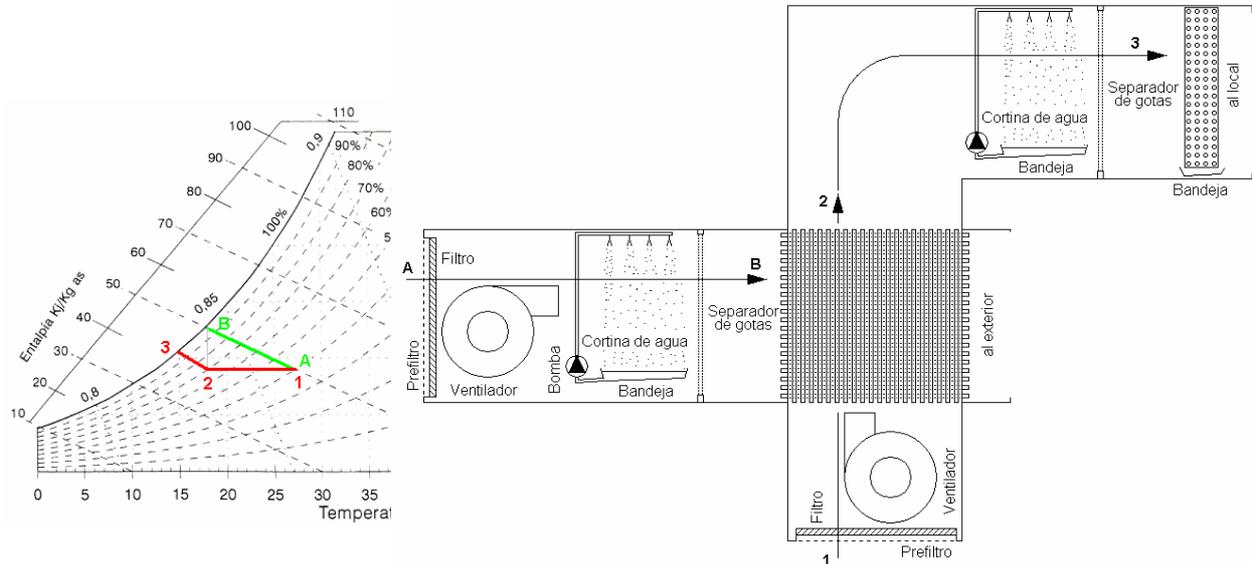
6.- Refrigeración Evaporativa (I)

- **Indirectos**



6.- Refrigeración Evaporativa (II)

- **Indirectos** (y Mixtos)



7.- Intercambiadores Rotativos (I)

Son intercambiadores **aire-aire**, para iguales caudales

Para grandes volúmenes de aire y poca exigencia de IAQ

Requieren contacto entre conducto de expulsión y de renovación

De calor sensible (temperatura), y de calor latente (humedad)

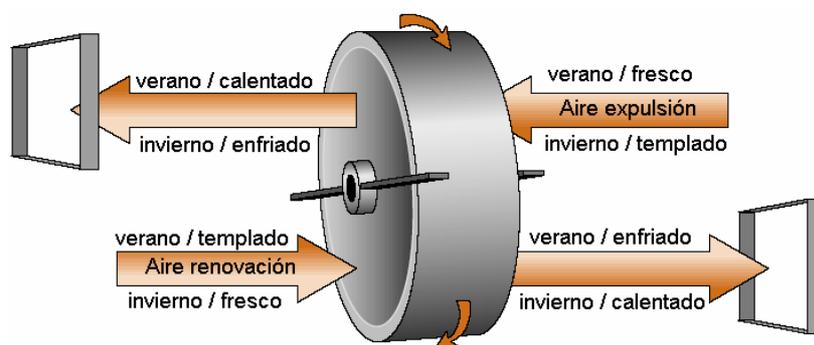
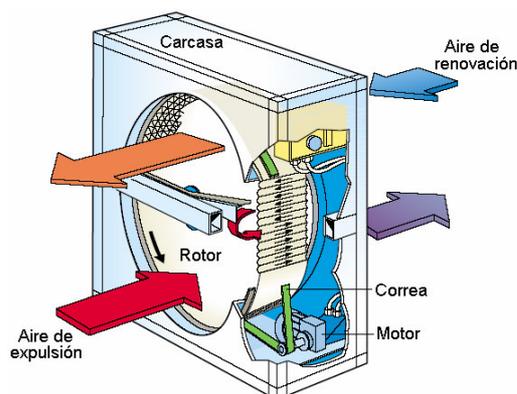
Han de tener un bypas para el freecooling



7.- Intercambiadores Rotativos (II)

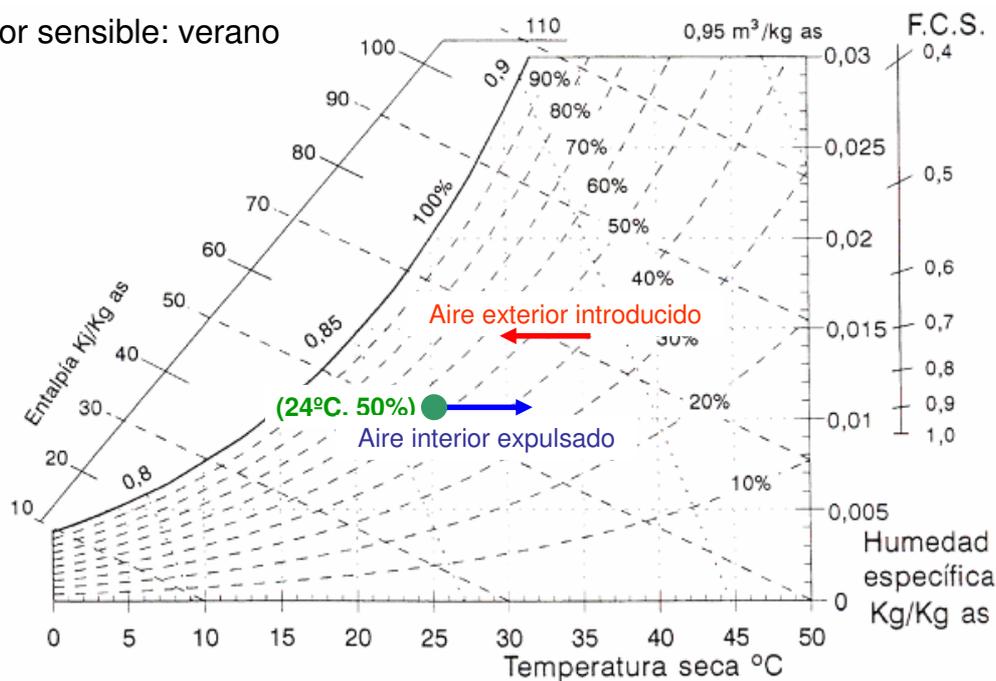
Se componen de:

- Un rotor, que es la masa acumuladora de calor, dividido en dos mitades ¿recubierto de absorbente de humedad?
- Un motor eléctrico
- Una carcasa



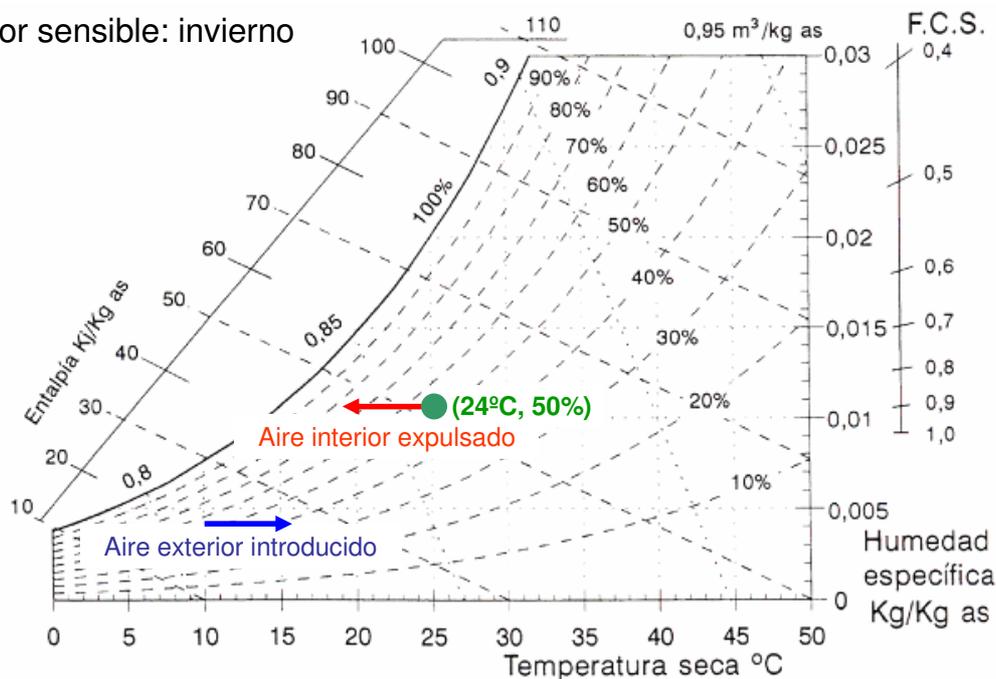
7.- Intercambiadores Rotativos (III)

De calor sensible: verano



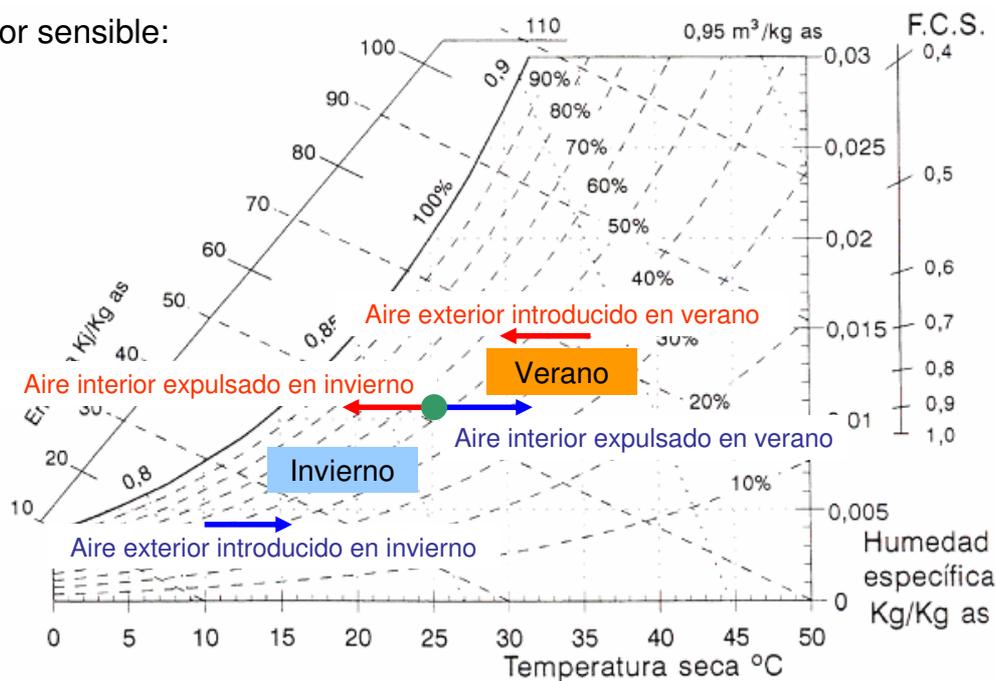
7.- Intercambiadores Rotativos (IV)

De calor sensible: invierno



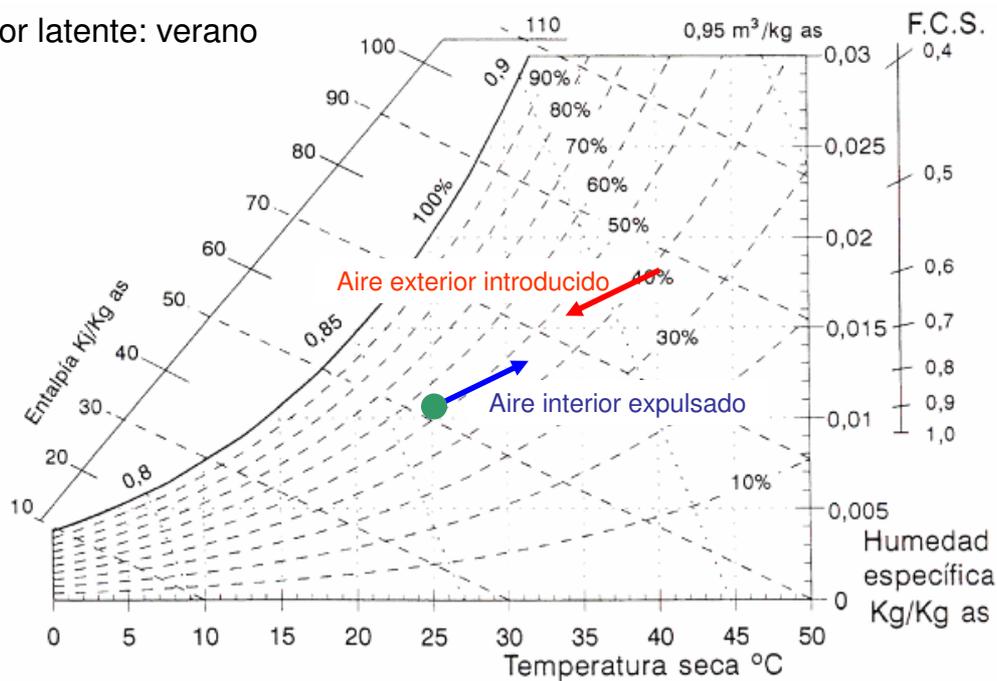
7.- Intercambiadores Rotativos (V)

De calor sensible:



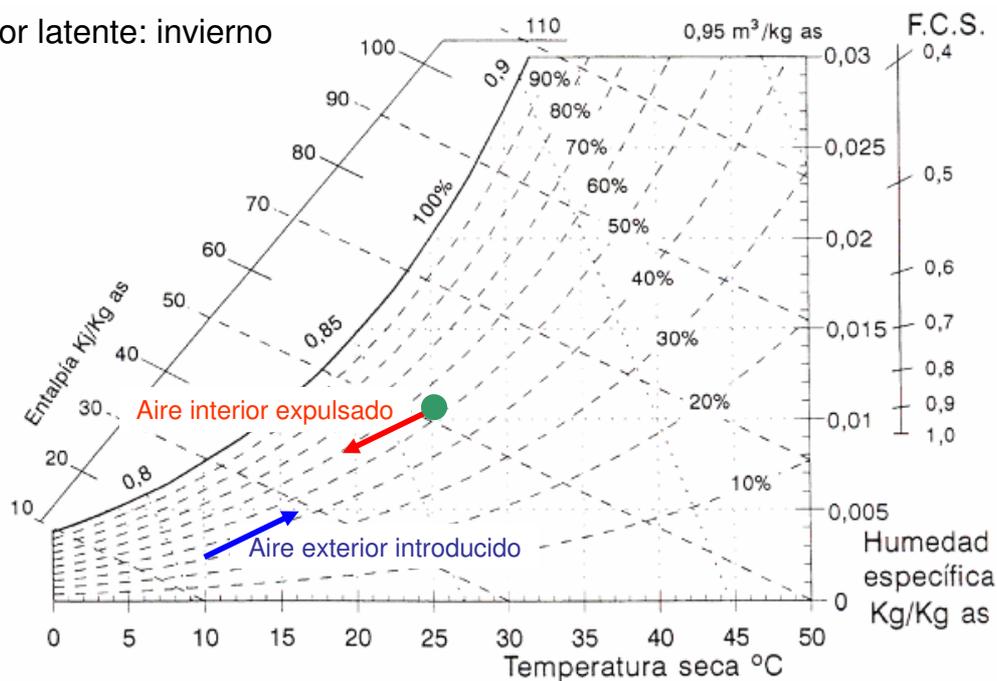
7.- Intercambiadores Rotativos (VI)

De calor latente: verano



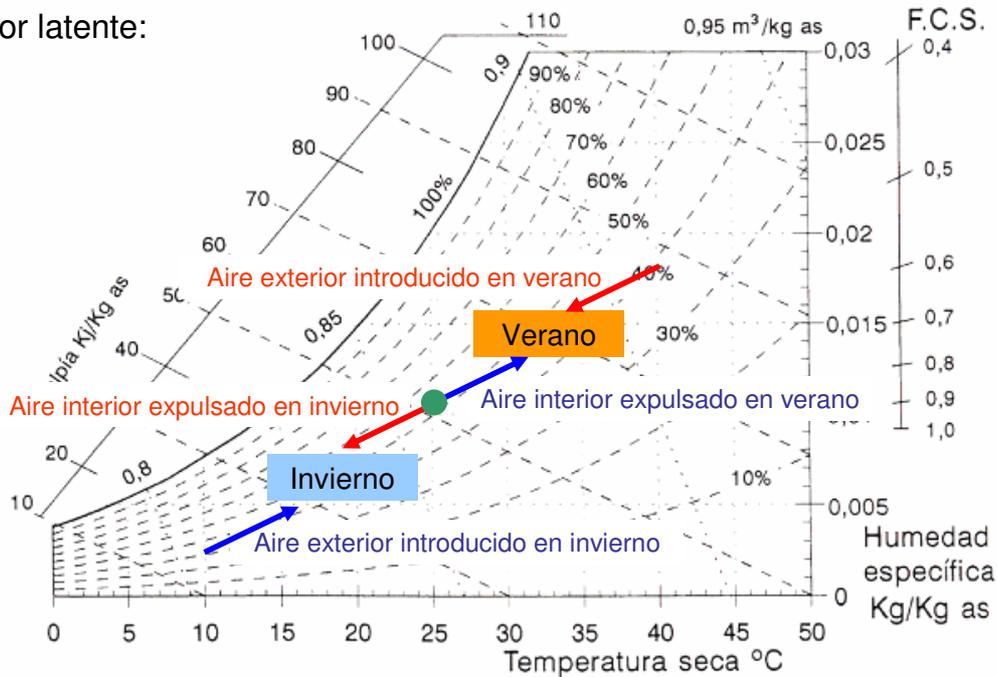
7.- Intercambiadores Rotativos (VII)

De calor latente: invierno



7.- Intercambiadores Rotativos (VIII)

De calor latente:



7.- Intercambiadores Rotativos (IX)

$$\epsilon = \frac{T_{ent\ aire\ renov} - T_{sal\ aire\ renov}}{T_{ent\ aire\ renov} - T_{ent\ aire\ expul}}$$

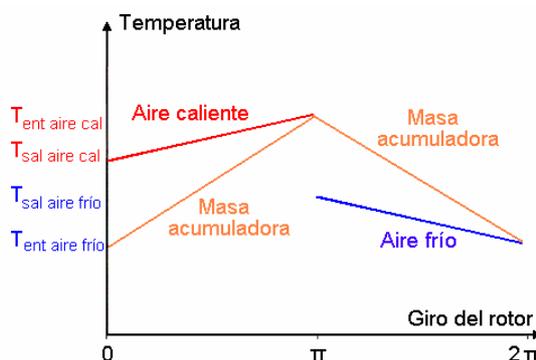
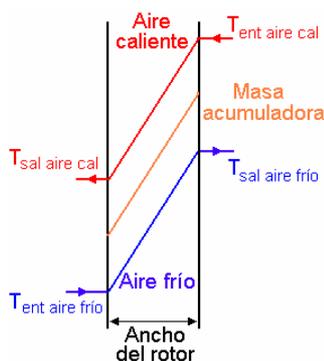
Calor transferido

Max calor transferido

$$\epsilon = \epsilon_{cc} \left[1 - \frac{1}{9 \left(\frac{C_M}{C_{min}} \right)^{1,93}} \right]$$

$C_M = rpm \ M_M \ c_{pM}$ (M masa acum.)

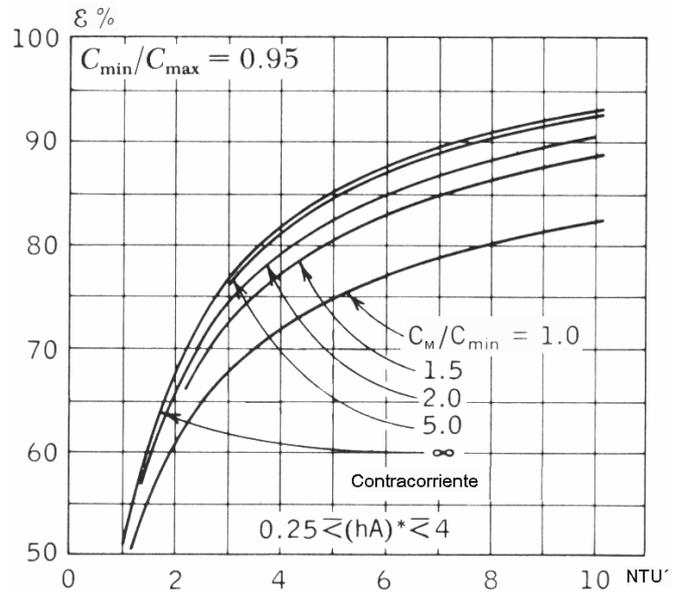
ϵ_{cc} la eficacia de un intr en contracorr.



7.- Intercambiadores Rotativos (X)

Curvas genéricas para diferentes relaciones

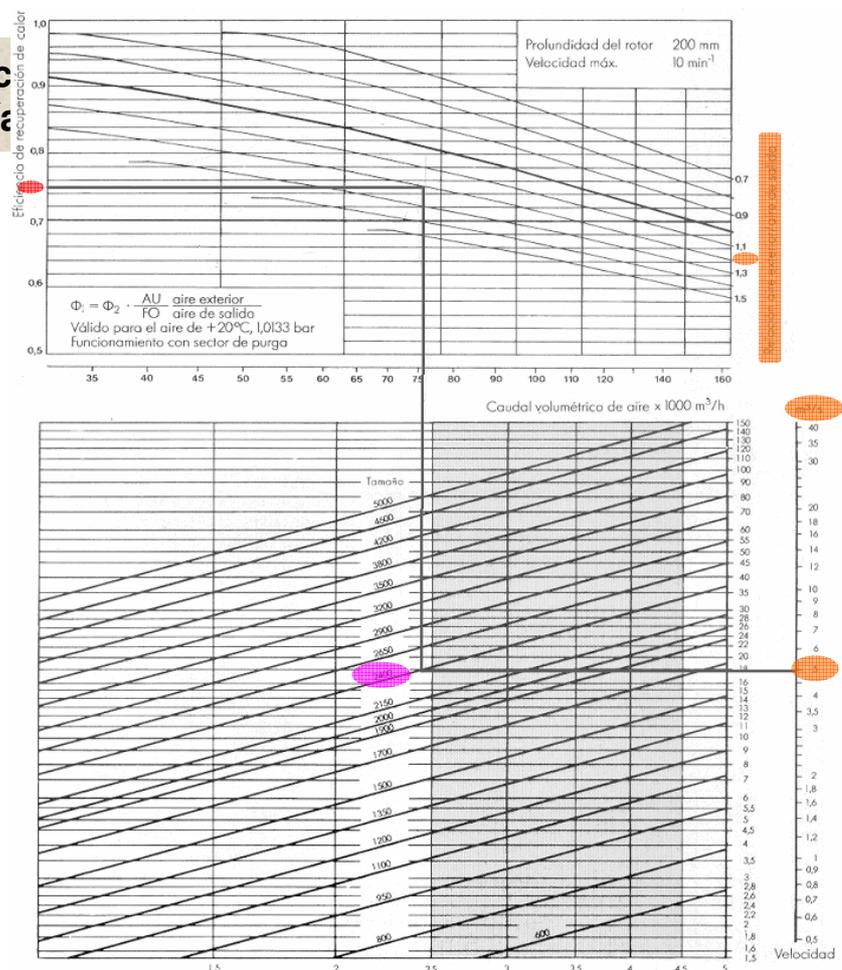
$$\frac{C_{\min}}{C_{\max}}$$



$$hA^* = \frac{hA \text{ en } C_{\min}}{hA \text{ en } C_{\max}} \text{ (normalmente 1)}$$

7.- Int. Rot. (XI)

Curvas particulares las dan los fabricantes



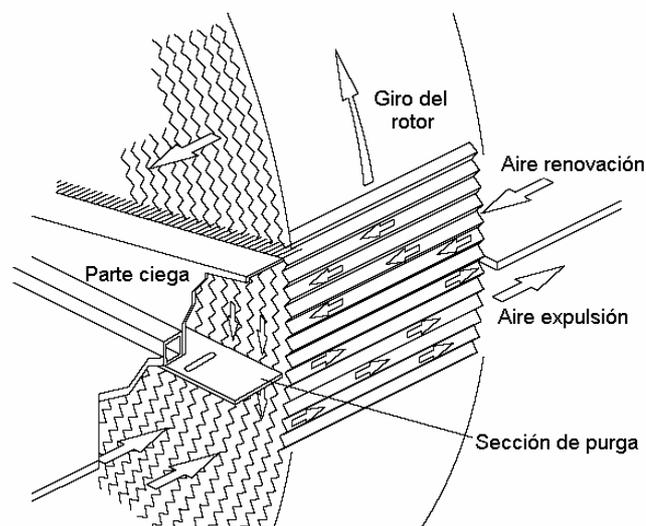
7.- Intercambiadores Rotativos (XII)

Problema con la contaminación del aire de renovación con el de expulsión

Un **sector de purga** de unos 10°, el aire de renovación limpia el rotor

Disminuye la eficacia

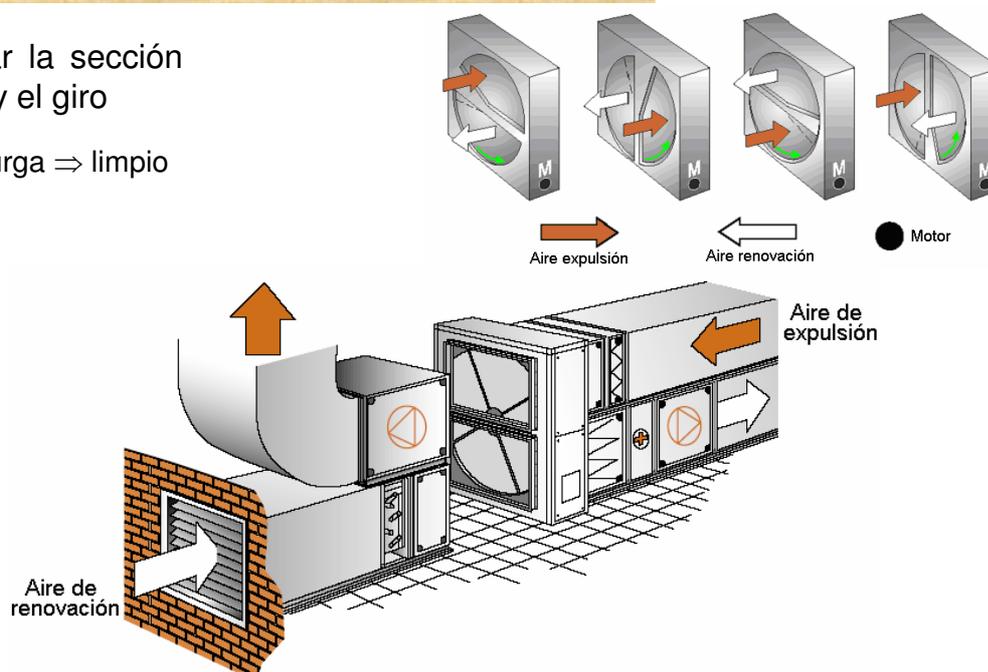
Requiere control de las presiones



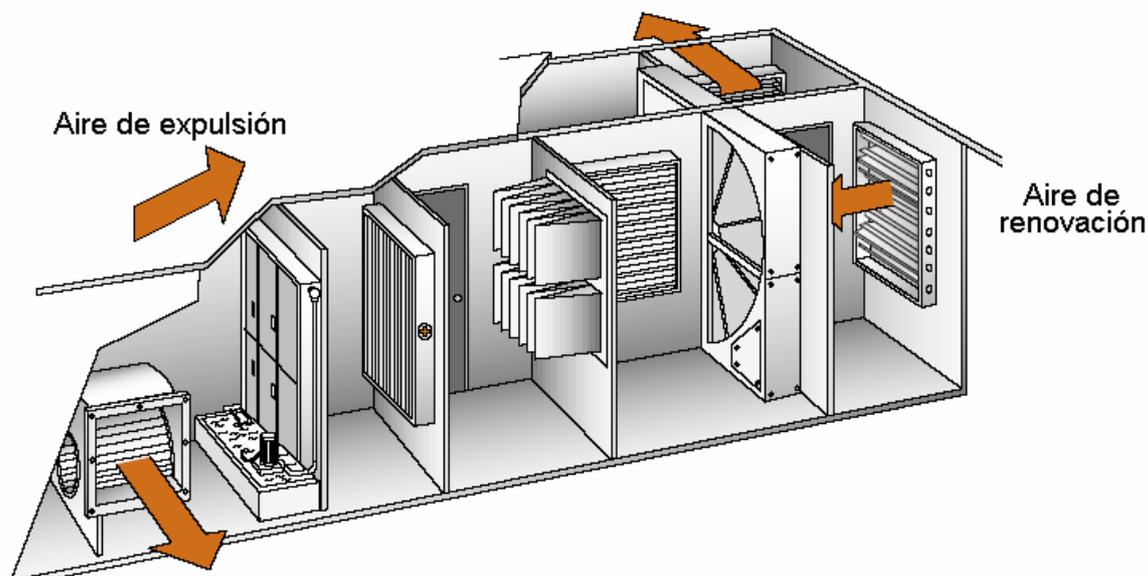
7.- Intercambiadores Rotativos (XIII)

Considerar la sección de purga y el giro

Sucio ⇒ purga ⇒ limpio



7.- Intercambiadores Rotativos (XIV)



7.- Intercambiadores Rotativos (XV)

Eficiencias de diferentes fabricantes para intercambiadores rotativos con:

- rotor de 2,4 m de diámetro
- velocidad del aire de 5 m/s
- tasa de aire renovación / expulsión de 1,2

Fabricante	Eficiencia (%)	Pérdida de carga (mm.c.a.)
Nº 1	68	13,26
Nº 2	71	9,48
Nº 3	77	9,39
Nº 4	75	7,75
Nº 5	67	7,75
Nº 6	64	7,75
Nº7	72	7,14
Media	70,57	8,93

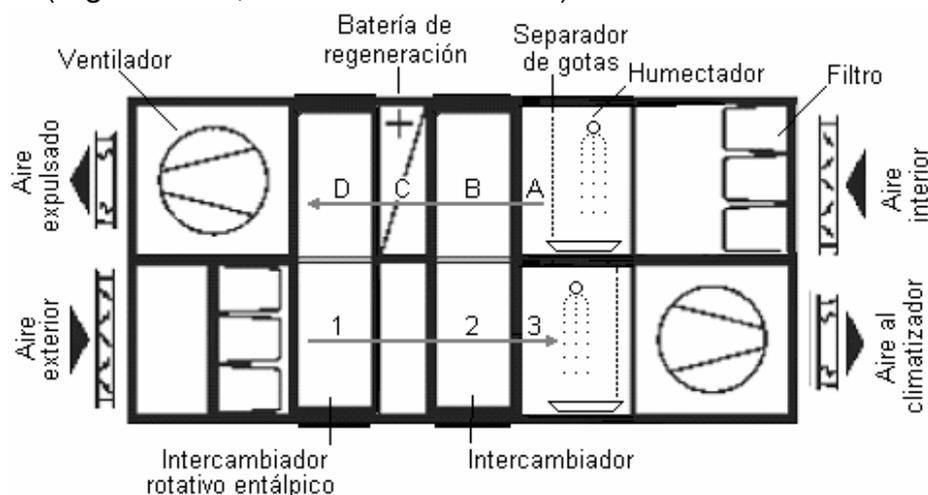
8.- Recuperador Entálpico

Intercambiador de calor

Sistema de humectación

Intercambiador rotativo (recubierto de material adsorbente)

Batería (regenerador, calienta hasta 70°C)



9.- Criterios de Selección

Eficiencia

Caudales

Estudio energía / economía

Pérdidas de carga

Localización

Impacto medioambiental

**Catálogos de
Fabricantes**

Recuperador	Eficiencia %	Per Pres (Pa)	Elemento	Per Pres (Pa)
Rotativo	70 a 90 %	100 a 180	Batería de frío	80 a 150
Placas	45 a 65 %	120 a 400	Batería de calor	20 a 80
Tubos de calor	50 a 80 %	100 a 500	Difusores	45 a 120
Dos baterías	40 a 60 %	150 a 300	Filtros	40 a 80
Circulación y rociado	60 a 70 %	150 a 300	Filtros de alto rend.	100 a 250
Evaporativo indirecto	50 a 70 %	50 a 350		

Acumulación de Hielo

- 1.- Introducción
- 2.- Ventajas e Inconvenientes del Hielo
- 3.- Tipos de Acumulación
- 4.- Conexión Enfriadora-Acumulación
- 5.- Modos de Operación
- 6.- Técnicas Producción y Almacenamiento de Hielo

1.- Introducción

Posibles acumulaciones térmicas:

- Mediante **calor sensible** (agua, $T > 0^{\circ}\text{C}$; glicoles, $T < 0^{\circ}\text{C}$)
- Mediante **calor latente** (hielo)

Resulta interesante el almacenamiento si:

- Cargas térmicas demandadas de corta duración y gran valor de pico
- Cargas térmicas esporádicas
- Cargas térmicas periódicas (más interesante cuanto menor es el periodo del consumo)
- La demanda no se adapta "en el tiempo" al precio de la energía
- Limitación de la máxima potencia primaria disponible en punta
- Necesidad de garantizar unos servicios mínimos

2.- Ventajas e Inconvenientes

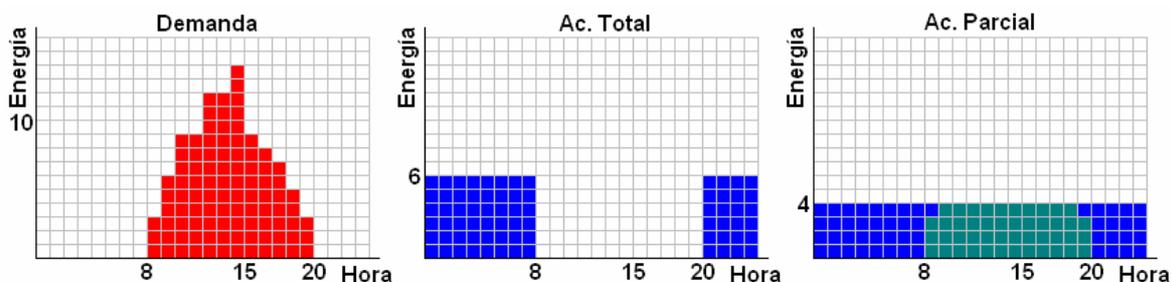
	Agua	Hielo
Calor latente de fusión	-	335 kJ/kg
Densidad	1000 kg/m ³	920 kg/m ³
Viscosidad	1,793 10 ⁻³ kg/ms	-
Conductividad térmica	0,5619 W/m°C	1,88 W/m°C
Calor específico	4,18 kJ/kg°C	2,04 kJ/kg°C

- Gran relación kJ/m³
- Disminuye tamaño de enfriadora, y la potencia contratada
- El rendimiento nocturno de las enfriadoras es mayor
- Aumenta la fiabilidad del sistema
 - Problemas de oxidación y corrosión
 - Necesita tecnología “no convencional”
 - Requiere mayores aislamientos térmicos
 - No se puede bombear directamente

3.- Tipos de Acumulación

Existen dos tipos:

- Almacenamiento total de la carga
- Almacenamiento parcial de la carga



- Enfriadora más grande
- No tiene pérdidas térmicas
- Consume en tarifa pico

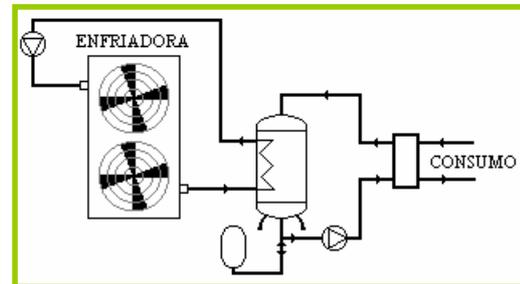
Estudio económico

+	Enfriadora	-
+	Acumulación	-
+	Pérdidas térmicas	-
-	Electricidad	+

4.- Conexión Enfriadora-Acumulación (I)

Instalación en paralelo:

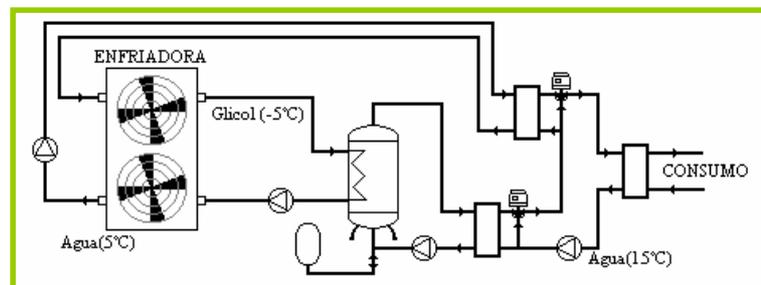
La acumulación debe ser capaz de soportar toda la demanda en solitario
Es sistema típico con agua fría



En serie implica dos temperaturas de consigna

Instalación en serie aguas arriba

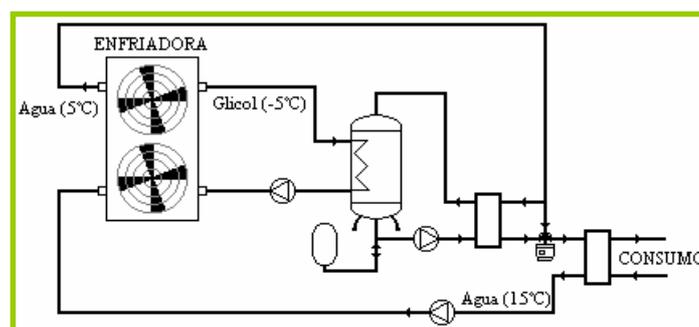
La Acum. preenfía el agua y la enfriadora la termina de enfriar
Hay buena regulación de la T de salida del agua.



4.- Conexión Enfriadora-Acumulación (II)

Instalación en serie aguas abajo

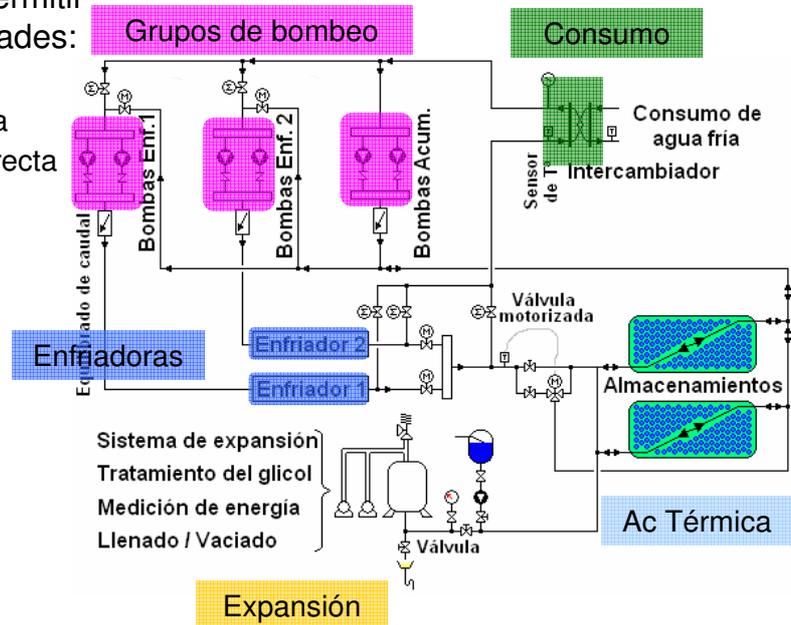
La enfriadora trabaja con mejor rendimiento (recibe el agua más caliente)
El control de temperatura es peor, se realiza con la acumulación



5.- Modos de Operación (I)

El sistema ha de ser flexible y permitir operar en función de las necesidades:

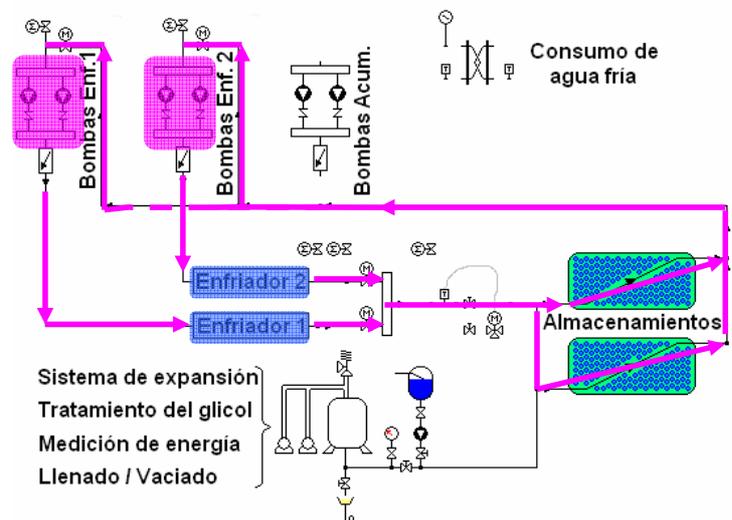
- Acumulación
- Acumulación y producción directa
- Desacumulación y producción directa
- Desacumulación
- Producción directa



5.- Modos de Operación (II)

El sistema ha de ser flexible y permitir operar en función de las necesidades:

- **Acumulación**
- Acumulación y producción directa
- Desacumulación y producción directa
- Desacumulación
- Producción directa

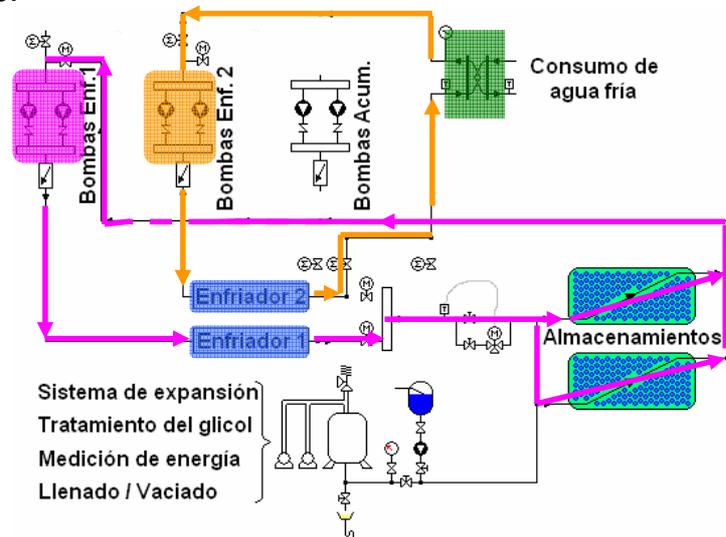


*Horas valle sin demanda y
acumulación no cargada*

5.- Modos de Operación (III)

El sistema ha de ser flexible y permitir operar en función de las necesidades:

- Acumulación
- **Acumulación y producción directa**
- Desacumulación y producción directa
- Desacumulación
- Producción directa

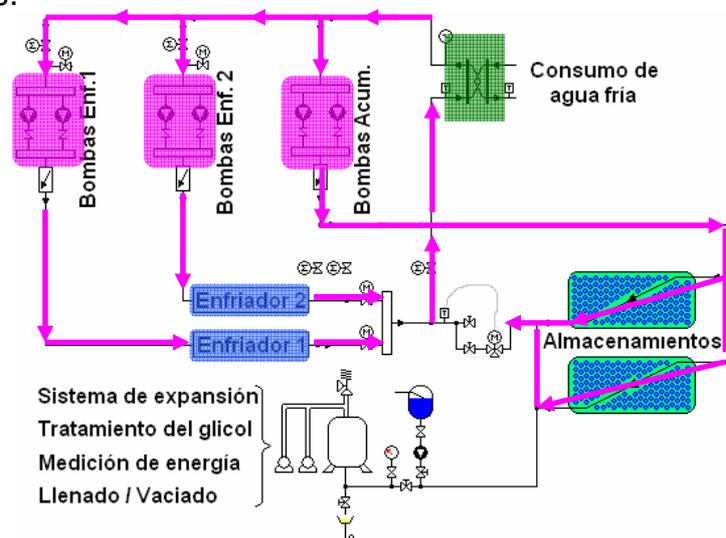


**Horas valle con demanda y
acumulación no cargada**

5.- Modos de Operación (IV)

El sistema ha de ser flexible y permitir operar en función de las necesidades:

- Acumulación
- Acumulación y producción directa
- **Desacum. y producción directa**
- Desacumulación
- Producción directa

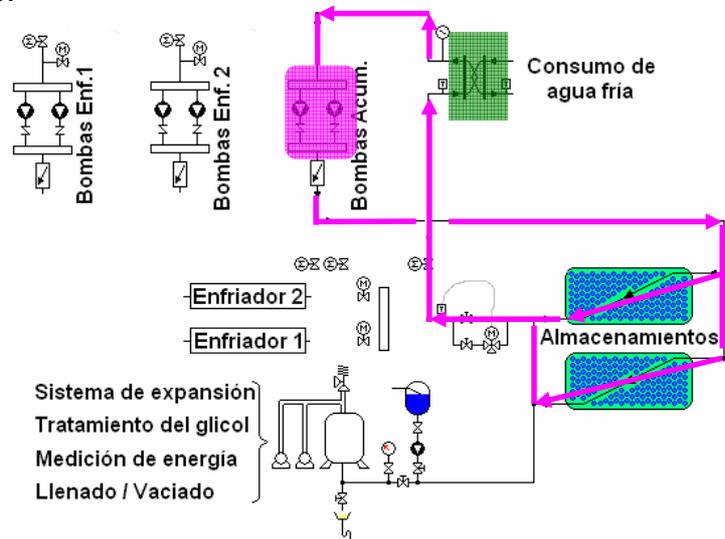


Fuerte demanda

5.- Modos de Operación (V)

El sistema ha de ser flexible y permitir operar en función de las necesidades:

- Acumulación
- Acumulación y producción directa
- Desacumulación y producción directa
- **Desacumulación**
- Producción directa

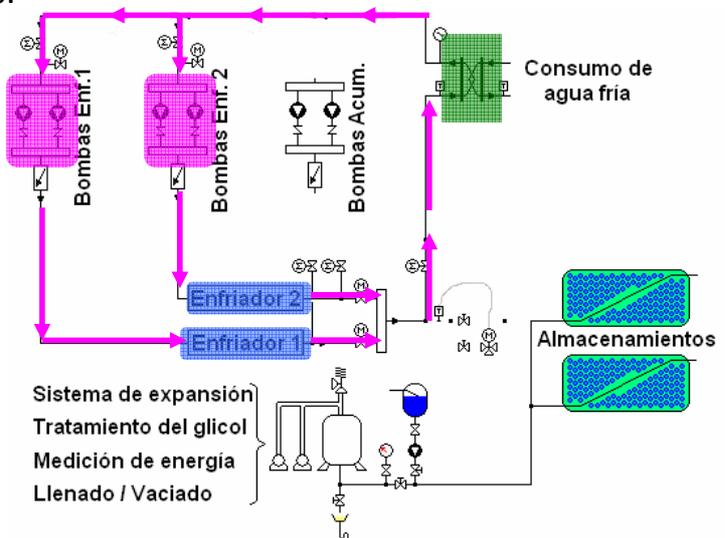


Demanda moderada en horas pico

5.- Modos de Operación (VI)

El sistema ha de ser flexible y permitir operar en función de las necesidades:

- Acumulación
- Acumulación y producción directa
- Desacumulación y producción directa
- Desacumulación
- **Producción directa**



*Demanda en horas valle y con
acumulación ya cargada*

6.- Técnicas de Producción y Almac. de Hielo (I)

Existen varias técnicas entre ellas se pueden destacar:

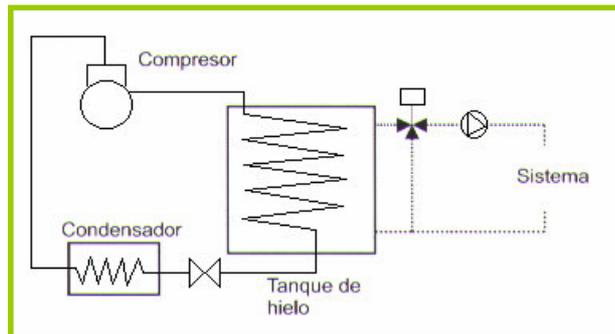
- **Congelación por serpentín y fusión exterior**

El evaporador de la enfriadora está sumergido en un tanque de agua

El agua que rodea el serpentín se va congelando

El agua de utilización se enfría por contacto con el hielo

La T del agua se controla con una válvula mezcladora entre el agua de entrada y salida del tanque



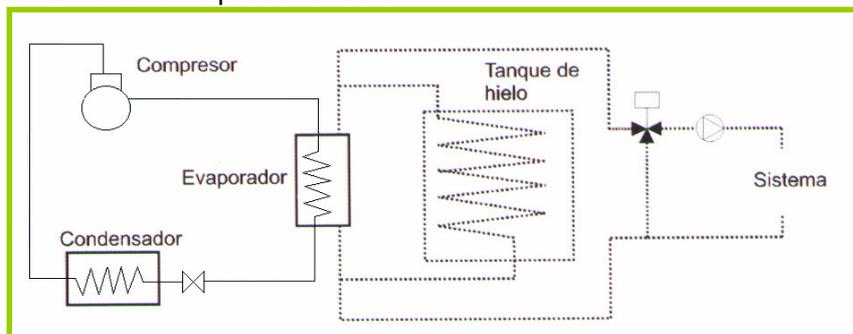
A medida que se produce hielo, la enfriadora funciona con peor rendimiento (el hielo es un aislante en el evaporador)

6.- Técnicas de Producción y Almac. de Hielo (II)

- **Congelación por serpentín y fusión interior**

Se circula por el evaporador un refrigerante secundario (agua glicolada)

El refrigerante secundario es el que se pasa por el serpentín del tanque de acumulación en el produce hielo



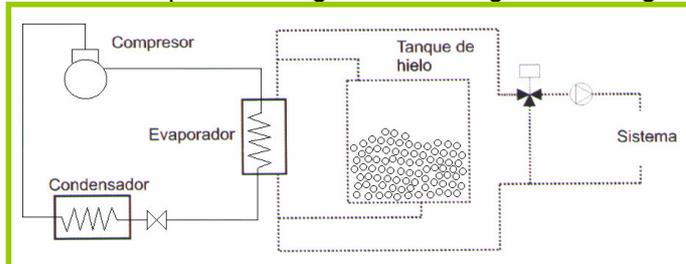
Es más flexible, permite trabajar en paralelo enfriadora y acumulación

Puede bypasarse la acumulación, al hacer pasar por el evaporador el agua de utilización en vez del agua glicolada

6.- Técnicas de Producción y Almac. de Hielo (III)

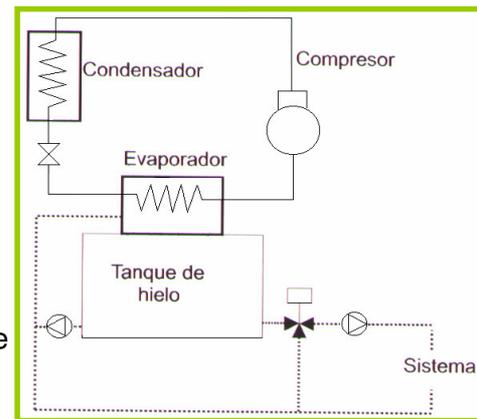
• **Sistema de hielo encapsulado**

Es un tanque de acumulación lleno de cuerpos flexibles que contienen agua
Los cuerpos se congelan/descongelan con agua glicolada (en función de su T)



• **Sistema de hielo en placas**

Se produce hielo sobre el evaporador
Cuando este hielo adquiere un grosor suficiente (0,6 a 1 cm), se desprende y cae a la acum.



6.- Técnicas de Producción y Almac. de Hielo (IV)

• **Sistema de hielo líquido**

Se produce una suspensión de hielo líquido (con una concentración de hasta el 60% en agua), que permite su bombeo por las tuberías

Problemas del bombeo:

- Medida de la concentración
- Perfil de concentración en la sección del tubo (diferencia de densidad de las fases)
- Perfil de velocidad (mezcla e hielo)
- Conocimiento de la viscosidad
- Cálculo del factor de fricción
- Pérdidas de carga en tubos e intercambiadores

} ? Medida de caudal ¿

Problemas del transmisión de calor:

- Temperatura de cambio de fase
- Calor específico
- Temperaturas locales (estratificación)
- Perfil de temperaturas
- Correlaciones de convección en tubos e intercambiadores

} ? Medida de energía ¿

6.- Técnicas de Producción y Almac. de Hielo (V)

Las **características** que deben tener las **Enfriadoras** son:

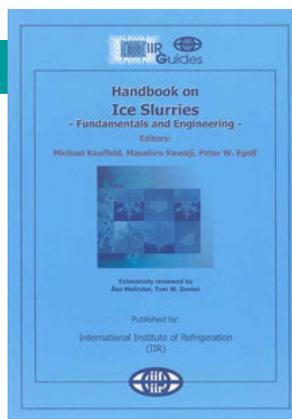
- El aislamiento térmico reforzado
- Expansión con doble punto de consigna
(a baja T para acumulación, y más alta para producción directa)
- Los compresores trabajarán a diferentes presiones dependiendo del régimen de trabajo
- La entrada de líquido en el compresor es una avería frecuente
(se les ha de proteger contra el golpe de líquido)
- Los glicoles tienen peores características térmicas que el agua
(evaporadores e intercambiadores de calor mayores)
- Se deben proteger los evaporadores contra la congelación

Las **características** que deben tenerse en cuenta en el **Sistema** son:

- Los glicoles requieren más energía de bombeo para la misma energía térmica
- Los intercambiadores deben tener el tamaño suficiente para acumular y desacumular la energía demandada
- Evitar congelaciones en intercambiadores y válvulas
- Estudiar cuidadosamente el sistema de control

Trabajo propuesto: Hielo Líquido

Handbook on Ice Slurries



International Journal of Refrigeration

Dialnet

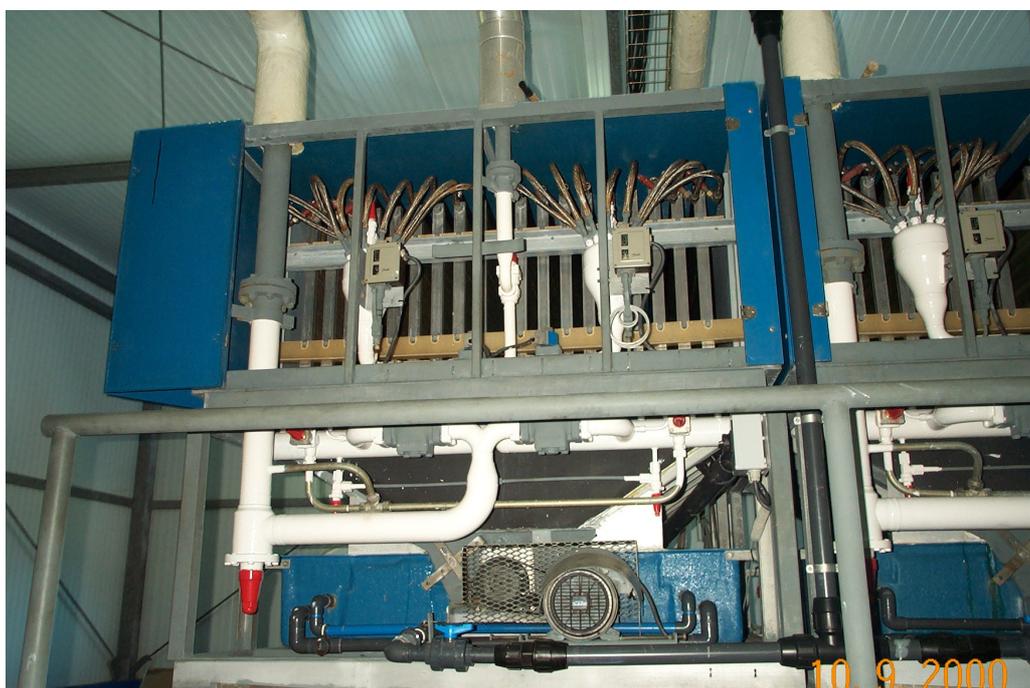
ISI Web of KnowledgeSM

SCOPUS

Fabrica de Hielo de Colindres (I)



Fabrica de Hielo de Colindres (II)



Fabrica de Hielo de Colindres (III)



Fabrica de Hielo de Laredo (I)



Fabrica de Hielo de Laredo (II)



10. 9. 2000



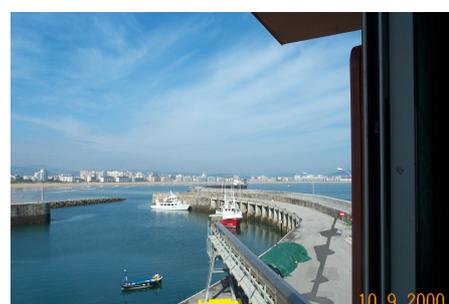
10. 9. 2000



10. 9. 2000



10. 9. 2000



10. 9. 2000

**Departamento: Ingeniería Eléctrica y Energética
Área: Máquinas y Motores Térmicos**

CARLOS J RENEDO renedoc@unican.es

Despachos: ETSN 236 / ETSIIT S-3 28

<http://personales.unican.es/renedoc/index.htm>

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