

TD. T6.- Ciclos de Refrigeración

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

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

CARLOS J RENEDO renedoc@unican.es
Despachos: ETSN 236 / ETSIIT S-3 28
<http://personales.unican.es/renedoc/index.htm>
Tlfn: ETSN 942 20 13 44 / ETSIIT 942 20 13 82

1

TD. T6.- Ciclos de Refrigeración

Objetivos:

En este tema se describen los principales métodos de producción de frío industrial (compresión y absorción), y sus ciclos termodinámicos de funcionamiento

El tema se complementa con una práctica de simulación por ordenador de ciclos de refrigeración de compresión y absorción

2

- 1.- Introducción
- 2.- Refrigeración por compresión
- 3.- Refrigeración por absorción
- 4.- Bombas de calor
- 5.- Otros ciclos de refrigeración

1.- Introducción

Son máquinas térmicas inversas

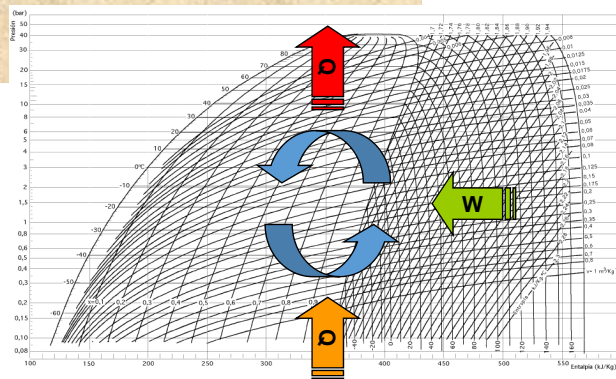
Son ciclos en los que Q va de $\downarrow T$ a T

Necesita el aporte de energía
(compresor, calor, ...)

Interviene un fluido, refrigerante, sufre transformaciones termodinámicas controladas

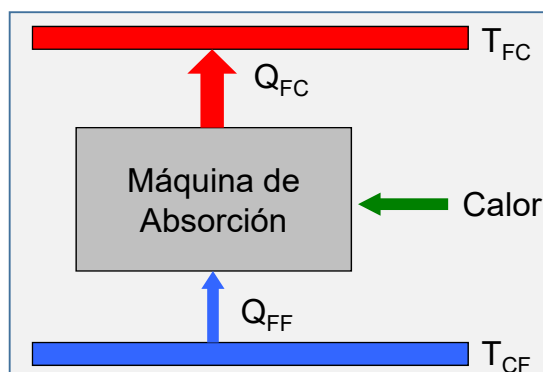
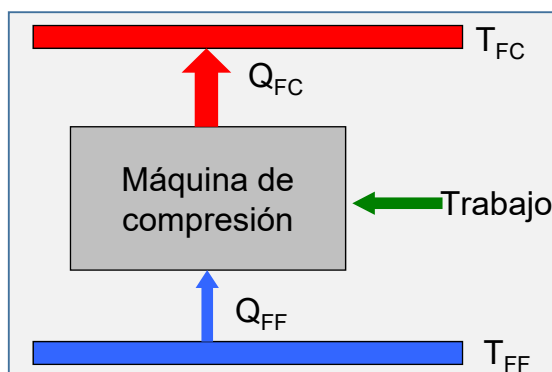
Cada refrigerante tiene un diagrama con sus propiedades termodinámicas

Además de compresión y absorción existen otros sistemas (marginales)



3

1.- Introducción (II)



No se hace frío,
se retira calor

4

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↓ la T↓, si p↑ la T↑)

Calores latente >> Calor sensibles ⇒ ↓ la cantidad refrig 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

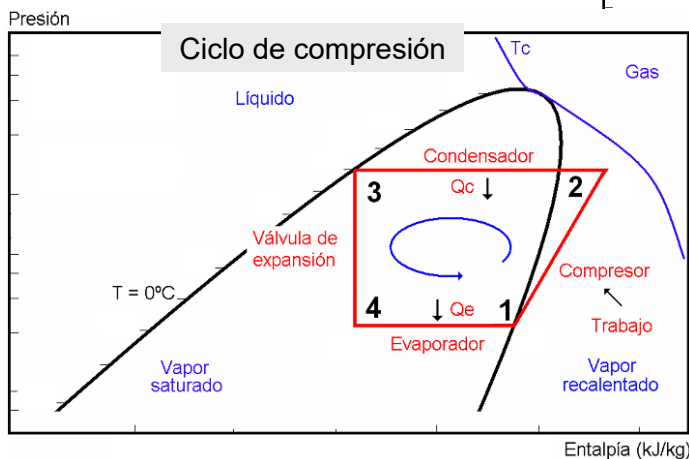
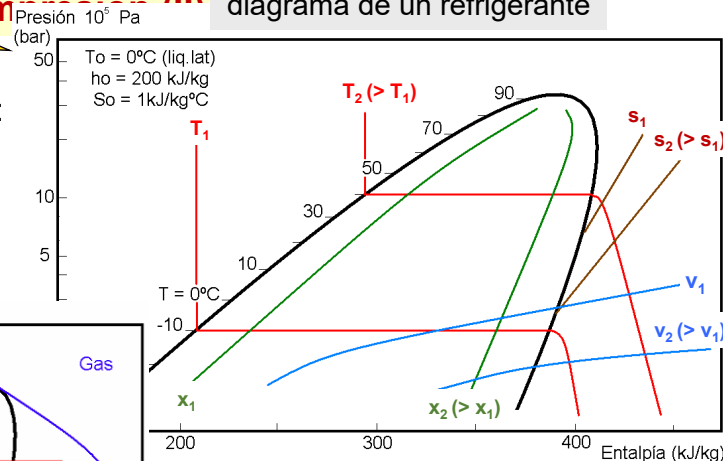
2.- Refrigeración por Compresión

Líneas características del diagrama de un refrigerante

Los **elementos** requeridos son:

- evaporador
- compresor
- condensador
- expansión

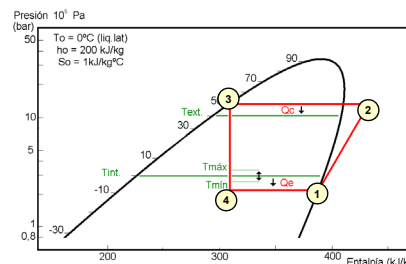
P absoluta



2.- Refrigeración por Compresión (III)

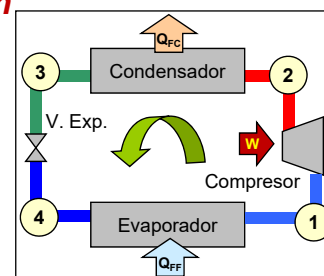
Los **límites de funcionamiento** de un equipo son:

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



Para calcular el **rendimiento del ciclo de compresión** hay que conocer las energías y los calores;

- El calor extraído de la cámara es: $(h_1 - h_4)$ (kJ/kg)
 - El calor cedido al exterior es: $(h_2 - h_3)$ (kJ/kg)
 - El trabajo útil del compresor es: $(h_2 - h_1)$ (kJ/kg)
- estos valores se obtienen del diagrama, ó de las tablas*

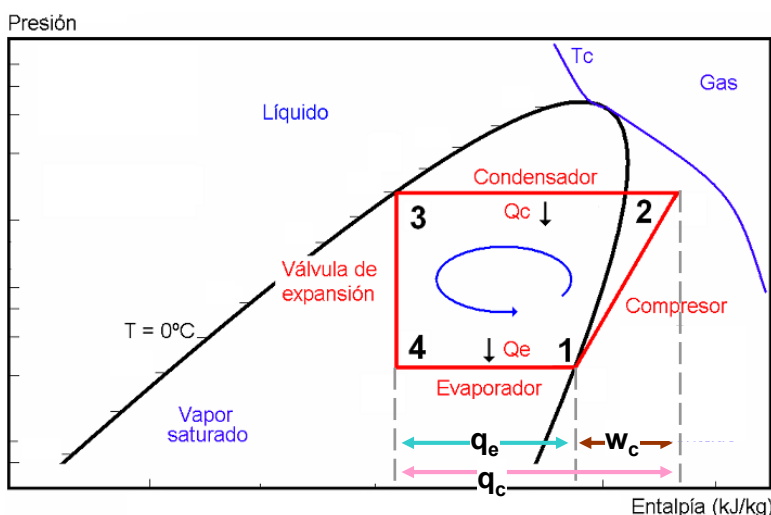


COP (coefficient of performance)
$$\text{COP} = \frac{\text{Calor Extraído}}{\text{Trabajo Compresor}} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)}$$

En función de las temperaturas del ciclo, puede ser superior a 3

2.- Refrigeración por Compresión (IV)

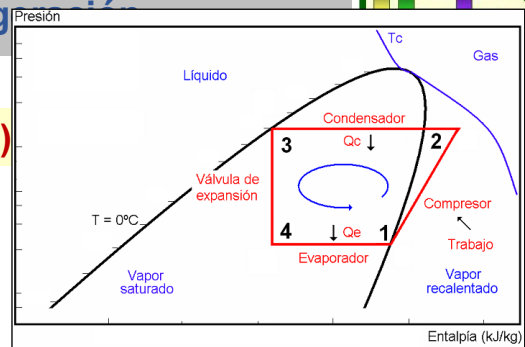
COP (coefficient of performance)
$$\text{COP} = \frac{\text{Calor Extraído}}{\text{Trabajo Compresor}} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)}$$



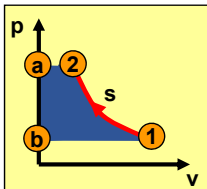
En función de las temperaturas del ciclo, puede ser superior a 3

2.- Refrigeración por Compresión (V)

Análisis Termodinámico (I):



• Etapa de compresión (1-2)



$$W_{\text{admisión (b-1)}} = p_1 \cdot v_1$$

$$W_{\text{impulsión (2-a)}} = -p_2 \cdot v_2$$

$$W_{(a-b)} = \left| \int v = \text{cte} \right| = 0$$

$$W_{\text{comp (1-2)}} = \left. \begin{array}{l} \text{si } (S = \text{cte}) \Rightarrow q = 0 \\ \text{[P.P.T.} \Rightarrow q = u + w] \end{array} \right| = -\Delta u = u_1 - u_2$$

$$W_{\text{Ciclo Comp}} = (p_1 \cdot v_1) + (u_1 - u_2) - (p_2 \cdot v_2) = h_1 - h_2$$

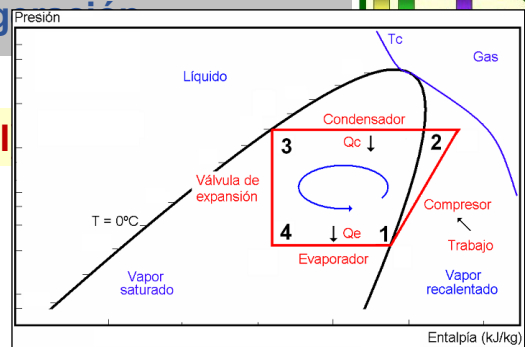
• Etapa de condensación (2-3), p cte

$$\text{[P.P.T.]} \quad q = \int_2^3 du + \int_2^3 dw = \int_2^3 du + \int_2^3 p \cdot dv = \left. \begin{array}{l} p_2 = p_3 \end{array} \right| = u_3 - u_2 + p \cdot (v_3 - v_2) = h_3 - h_2$$

Valores por kg de masa

2.- Refrigeración por Compresión (VI)

Análisis Termodinámico (II):



• Etapa de expansión (3-4)

$$\text{[P.P.T.]} \quad q = u + w \left. \begin{array}{l} \text{sin área no hay posibilidad de intercambio térmico} \\ q = 0 \end{array} \right| \Rightarrow \Delta u = -\Delta w$$

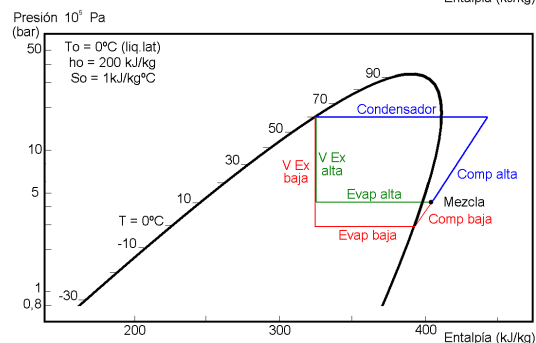
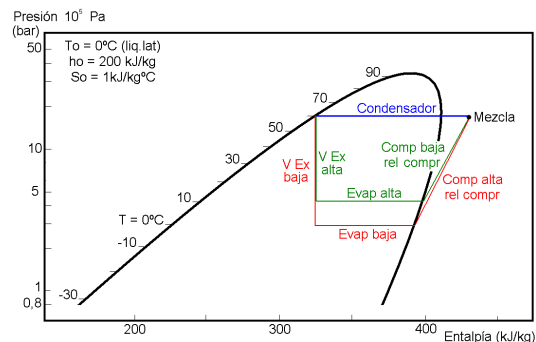
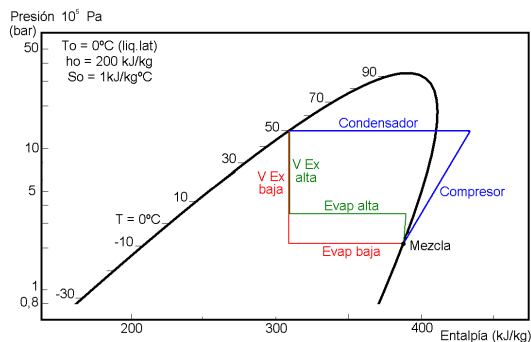
$$\int_3^4 du = -\int_3^4 dw \Rightarrow u_4 - u_3 = -p_4 \cdot v_4 + p_3 \cdot v_3 \Rightarrow u_4 + p_4 \cdot v_4 = u_3 + p_3 \cdot v_3 \quad h_3 = h_4$$

• Etapa de evaporación (4-1)

$$\text{[P.P.T.]} \quad q = \int_4^1 du + \int_4^1 dw = \int_4^1 du + \int_4^1 p \cdot dv = \left. \begin{array}{l} p_4 = p_1 \end{array} \right| = u_1 - u_4 + p \cdot (v_1 - v_4) = h_1 - h_4$$

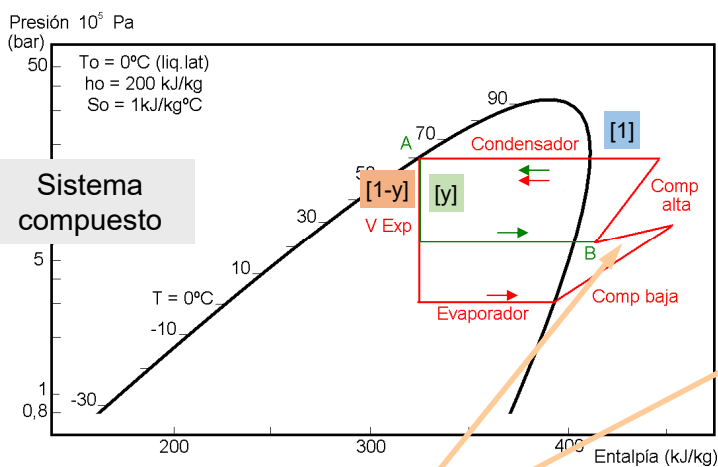
2.- Refrigeración por Compresión (VII)

Sistemas para refrigerar varios espacios distintos a diferente temperaturas:

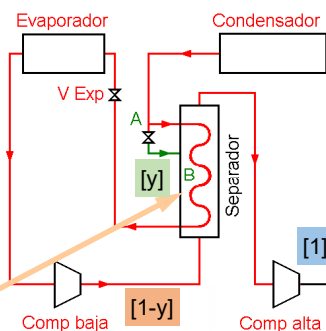


Toda la superficie del condensador disipa calor siempre
↑ η cuando una sola cámara ON

2.- Refrigeración por Compresión (VIII)

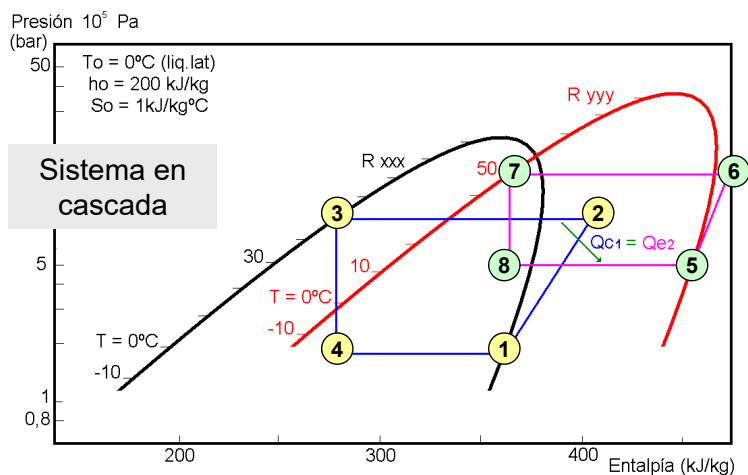


Sistema compuesto



Teoría $p = \text{cte}$

2.- Refrigeración por Compresión (IX)

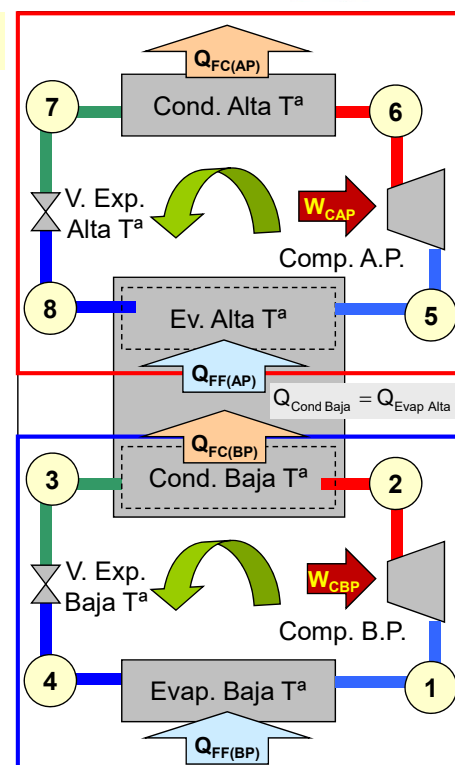


Sistema en cascada

$$Q_{\text{Cond Baja}} = Q_{\text{Evap Alta}}$$

$$m_{\text{Baja}} \cdot \Delta h_{\text{Cond Baja}} = m_{\text{Alta}} \cdot \Delta h_{\text{Evap Alta}}$$

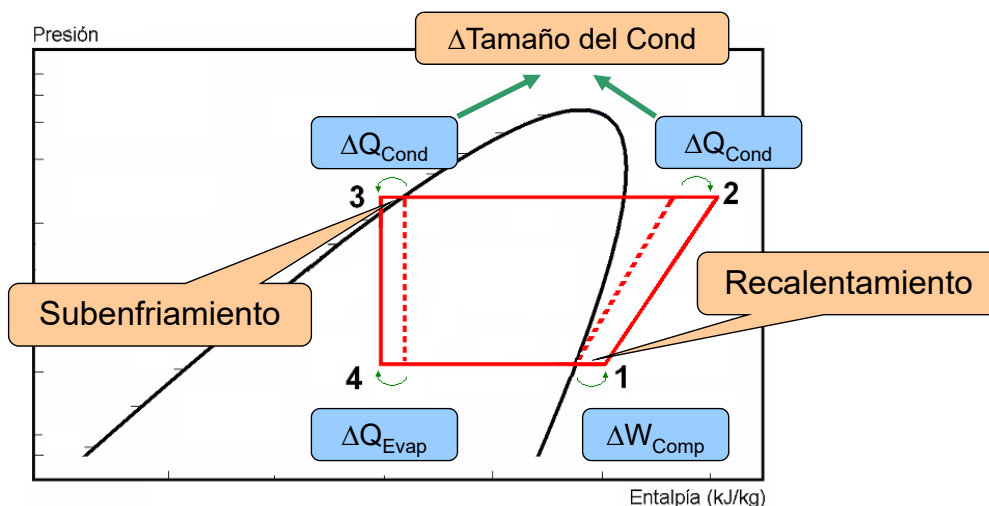
$$m_{\text{Baja}} \cdot (h_2 - h_3) = m_{\text{Alta}} \cdot (h_5 - h_8)$$



2.- Refrigeración por Compresión (X)

Subenfriamiento: salida del condensador, asegura líquido en la Val. Exp.

Recalentamiento: salida del evaporador, asegura vapor en el Comp.



2.- Refrigeración por Compresión (XI)



15

Un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor funciona con R12 entre las temperaturas de saturación de -20°C en el evaporador y $41,64^{\circ}\text{C}$ en el condensador. Calcular la capacidad de refrigeración y el coeficiente de operación (COP) si el flujo másico de refrigerantes es de $0,6 \text{ kg/s}$

16

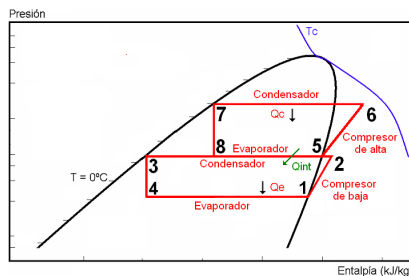
Un ciclo ideal de refrigeración por compresión del problema anterior experimenta los siguientes cambios:

- El refrigerante a la salida del evaporador está recalentado hasta -10°C
- El refrigerante a la salida del condensador está subenfriado hasta 40°C
- El compresor tiene un rendimiento adiabático del 80%

Calcular la capacidad de refrigeración real y el COP

17

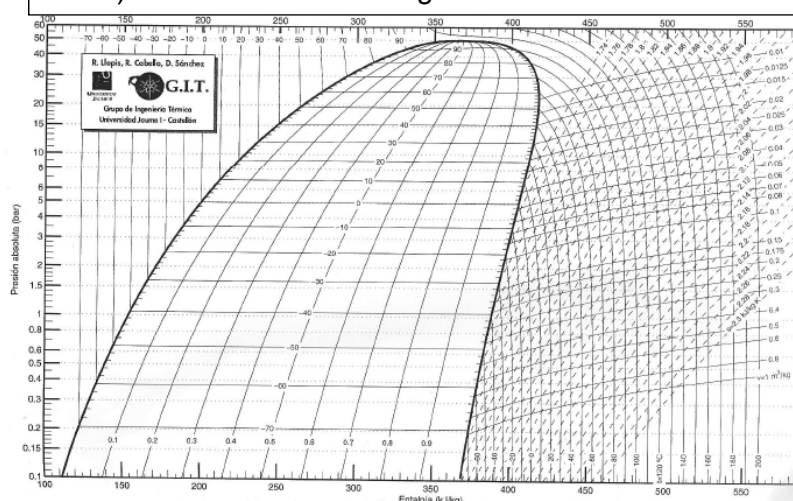
Un ciclo de dos etapas de refrigeración sustituye al ciclo del problema 1. Calcular la capacidad de refrigeración y el COP y comparar los resultados con los del problema 1. Utilizar un caudal másico en el ciclo de baja de $0,6 \text{ kg/s}$



18

Se desea producir una potencia frigorífica de 3 kW en un ciclo de refrigeración por compresión simple con refrigerante R-22. La temperatura a la que está evacuando el condensador calor son 40°C. La temperatura a la que está absorbiendo calor el evaporador son -10°C. Determinar:

- Identificar todos los puntos significativos sobre el diagrama p-h incluyendo los datos térmicos de cada uno (temperatura, presión, entalpía)
- Potencia eléctrica del compresor si tiene un rendimiento del 70%.
- COP del ciclo de refrigeración.



Pto.	Temp. (°C)	Presión (bar)	Entalpía (kJ/kg)
1			
2S			
3			
4			

19

2.- Refrigeración por Absorción (I)

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

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 la cantidad de absorbente)

Con la concentración de la mezcla, se controla la T de evaporación

Se deben emplear absorbentes con una tensión de vapor suficientemente baja, y mantener la solución en una temperatura y concentración necesaria, para que la tensión de vapor sea inferior a la del refrigerante en el evaporador

20

2.- Refrigeración por Absorción (I)

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

Se usa una **mezcla de dos componentes**: ref 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

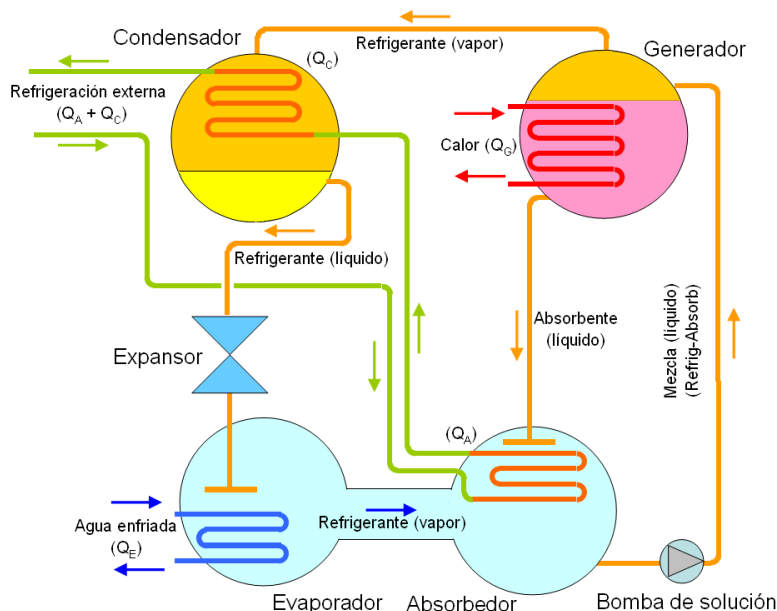
La **tensión de vapor** del refrigerante se ve al **absorbente** (\downarrow al la cantidad de absorbente)
Con la concentración de la mezcla, se controla

Se deben emplear absorbentes con una tensión baja, y mantener la solución en una temperatura y concentración necesaria, para que la tensión de vapor sea inferior a la del refrigerante en el evaporador

	BrLi-H ₂ O	H ₂ O-NH ₃
Potencia (kW _{Th})	10-10.000	30-6.000
COP	0,3-0,6	0,7
Dispon. (%)	95	95
Superficie (m ² /kW _{Th})	0,06	0,05
Coste (€/kW _{Th})	500-800	150-600
Mant. (€/kW _{Th})	0,0013	0,0013

2.- Refrigeración por Absorción (II)

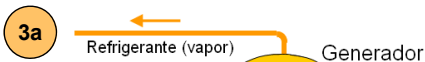
Una máquina de absorción de **efecto simple** (I)



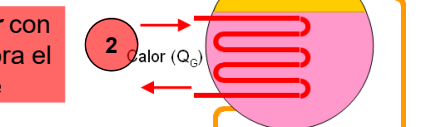
2.- Refrigeración por Absorción (III)

Una máquina de absorción de **efecto simple** (II)

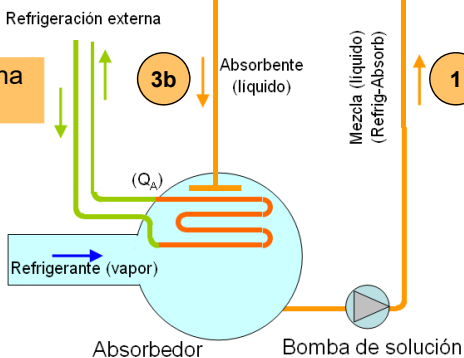
El refrigerante continúa hacia el condensador



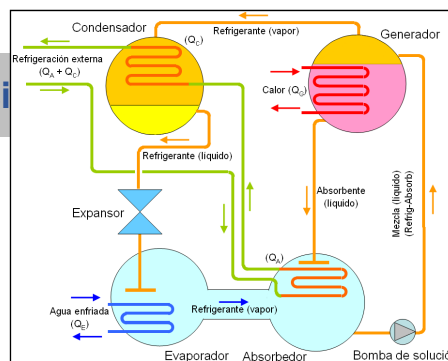
Se aporta **calor** con el que se evapora el refrigerante



Al absorbente retorna al absorbedor



Al **generador** se le aporta la mezcla líquida de refri. y absorbente

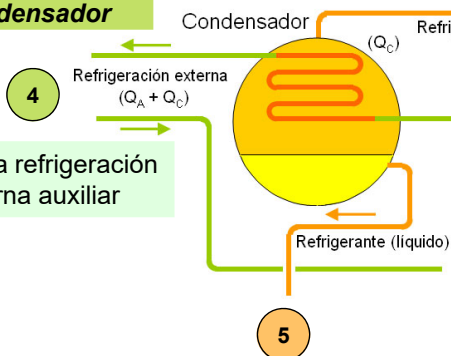


2.- Refrigeración por Absorción (IV)

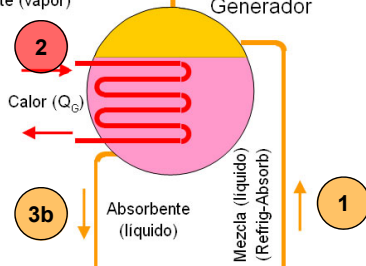
Una máquina de absorción de **efecto simple** (II)

El refrigerante se licua en el **Condensador**

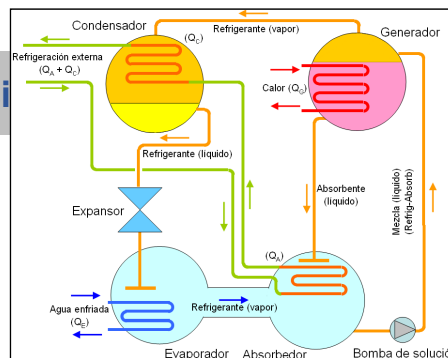
El refrigerante continúa hacia el condensador



Necesita refrigeración externa auxiliar



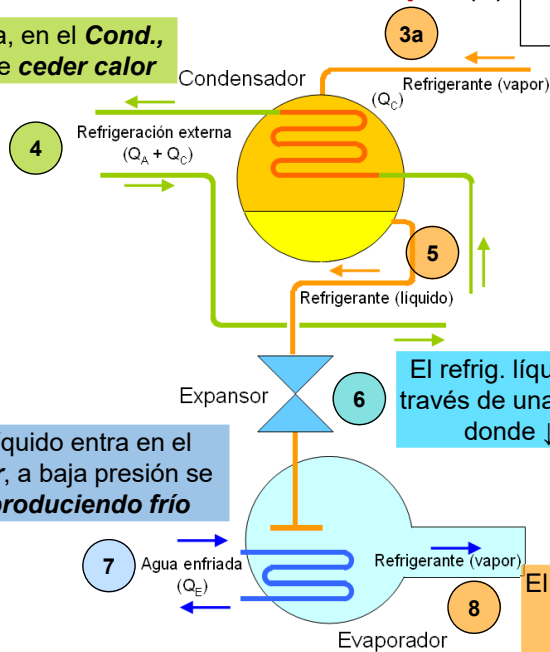
El refrigerante líquido continúa hacia la expansión



2.- Refrigeración por Absorción (V)

Una máquina de absorción de **efecto simple (II)**

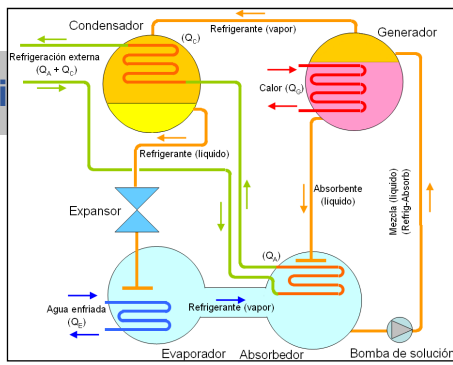
El refrigerante se licua, en el **Cond.**, lo que requiere **ceder calor**



El refrigerante líquido, pasa a través de una **expansión** donde $\downarrow p$ y $\downarrow T$

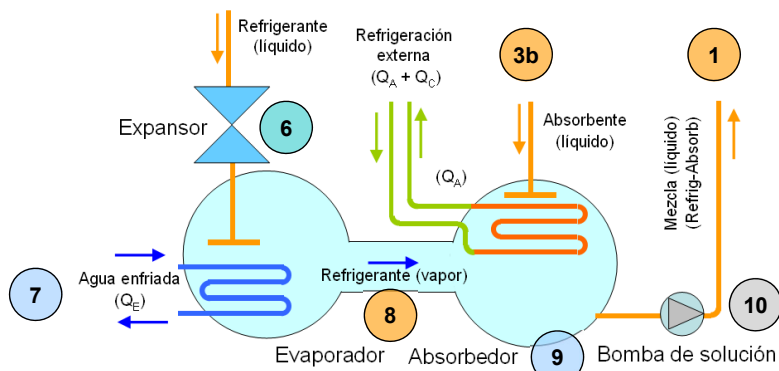
El refrigerante líquido entra en el **evaporador**, a baja presión se evapora **produciendo frío**

El vapor de refrigerante continúa hacia el **absorbedor**



2.- Refrigeración por Absorción (VI)

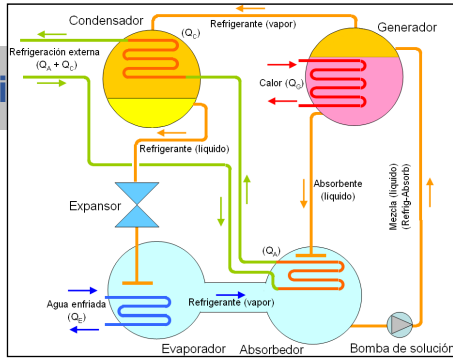
Una máquina de absorción de **efecto simple (II)**



El paso de la mezcla desde el **absorbedor** al **generador** requiere $\uparrow p$, \Rightarrow **una bomba**, (única parte móvil del sistema)

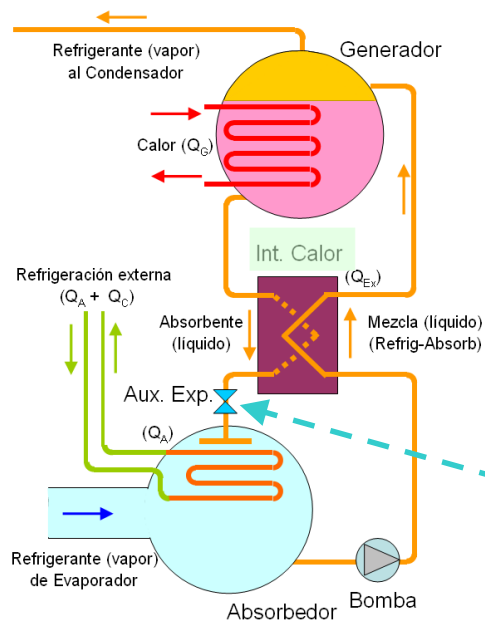
En el **Absorbedor** se mezclan:
- el vapor de refrigerante (evap); 8
- la mezcla diluida (gen.); 3b

La reacción de absorción es exotérmica, y necesita refrigeración externa auxiliar. De no ser así $\uparrow p$, dificultando la absorción



2.- Refrigeración por Absorción (VII)

Una máquina de absorción de **efecto simple** (III)



Para mejorar la eficiencia se instala un **intercambiador de calor**

- precalienta la mezcla que va al generador
- refrigera el absorbente que retorna al absorbedor

Se puede instalar una expansión auxiliar en el absorbente que retorna del generador

27

2.- Refrigeración por Absorción (VIII)

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 2,5 x Potencia Frig. maquina

$$|Q_C| + |Q_A| = |Q_G| + |Q_E| \quad \left| \text{COP} \approx \frac{|Q_E|}{|Q_G|} = 0.7 \Rightarrow |Q_G| = \frac{|Q_E|}{0.7} = 2.43 |Q_E| \right.$$

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

$$|Q_C| = W_{comp} + |Q_E| \quad \left| \text{COP} \approx \frac{|Q_E|}{W_{comp}} = 4 \Rightarrow W_{comp} = \frac{|Q_E|}{4} = 1.25 |Q_E| \right.$$

Q eliminado en absorción \cong 2.Q eliminado en compresión

→ **Condensadores de gran tamaño**

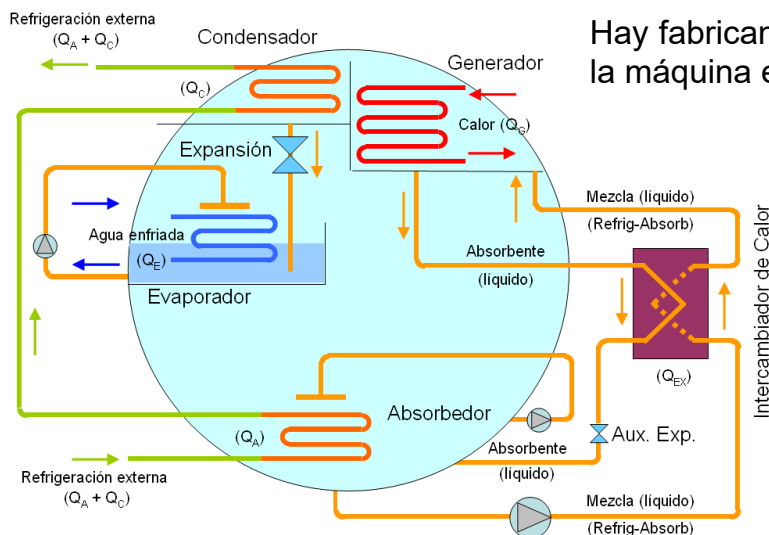
28

2.- Refrigeración por Absorción (IX)

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



2.- Refrigeración por Absorción (X)

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

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

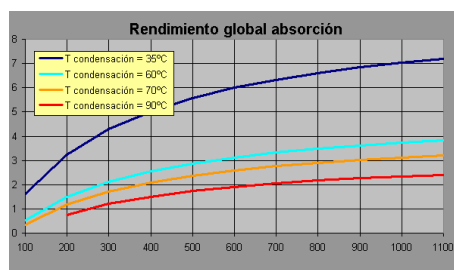
El COP típico de las máquinas comerciales puede ser de 0,7

El rendimiento total está condicionado por el de la producción del frío y la de calor (“caldera”)

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

η al T en el generador

$\eta \downarrow$ al T en el condensador/absorbedor



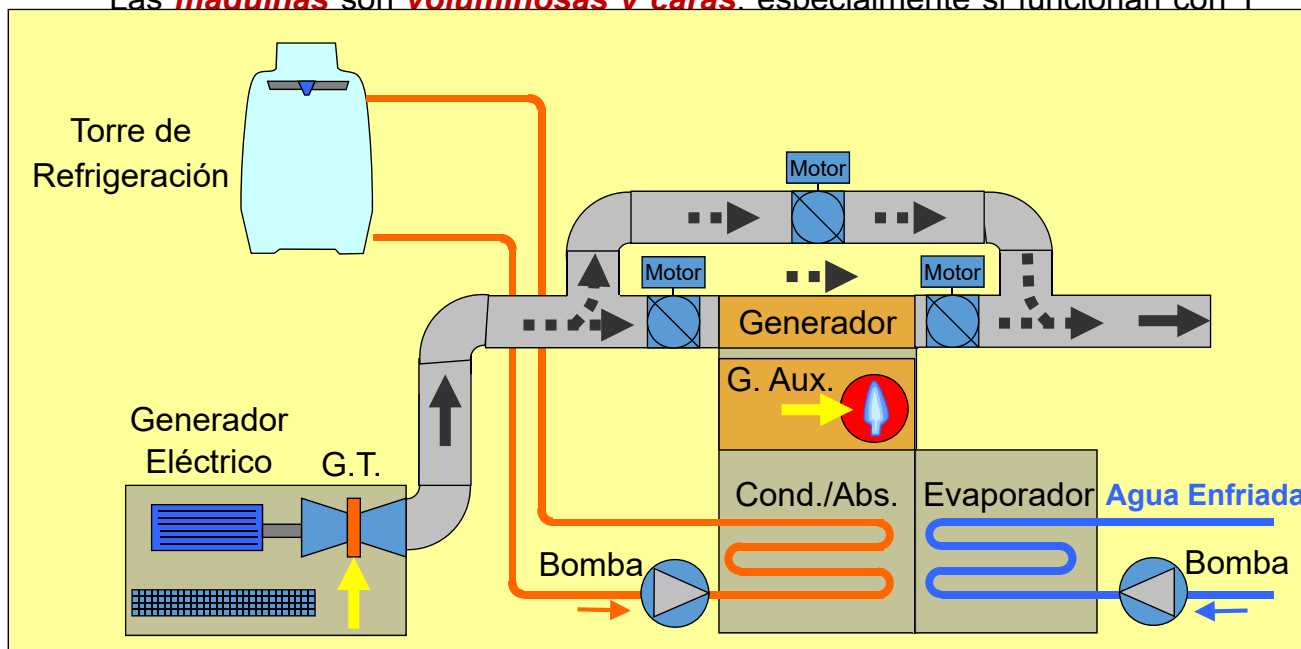
2.- Refrigeración por Absorción (XI)

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

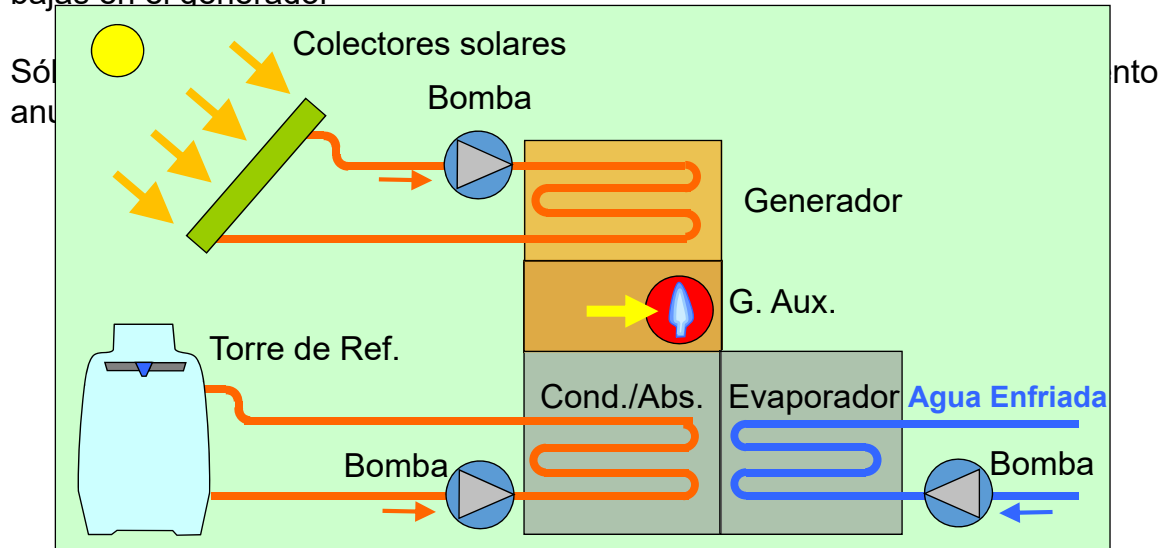
2.- Refrigeración por Absorción (XI)

Las **máquinas** son **voluminosas y caras**, especialmente si funcionan con T



2.- Refrigeración por Absorción (XI)

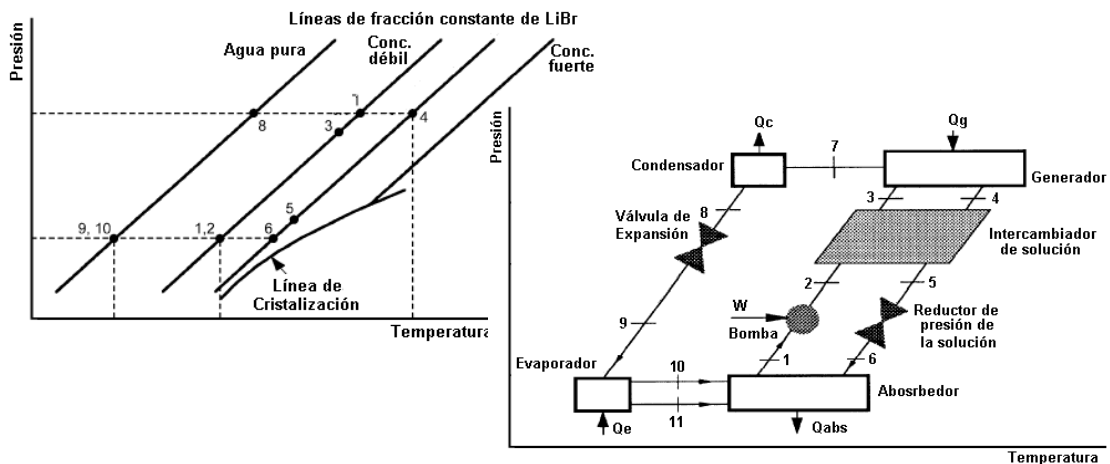
Las **máquinas** son **voluminosas y caras**, especialmente si funcionan con T bajas en el generador



33

2.- Refrigeración por Absorción (XII)

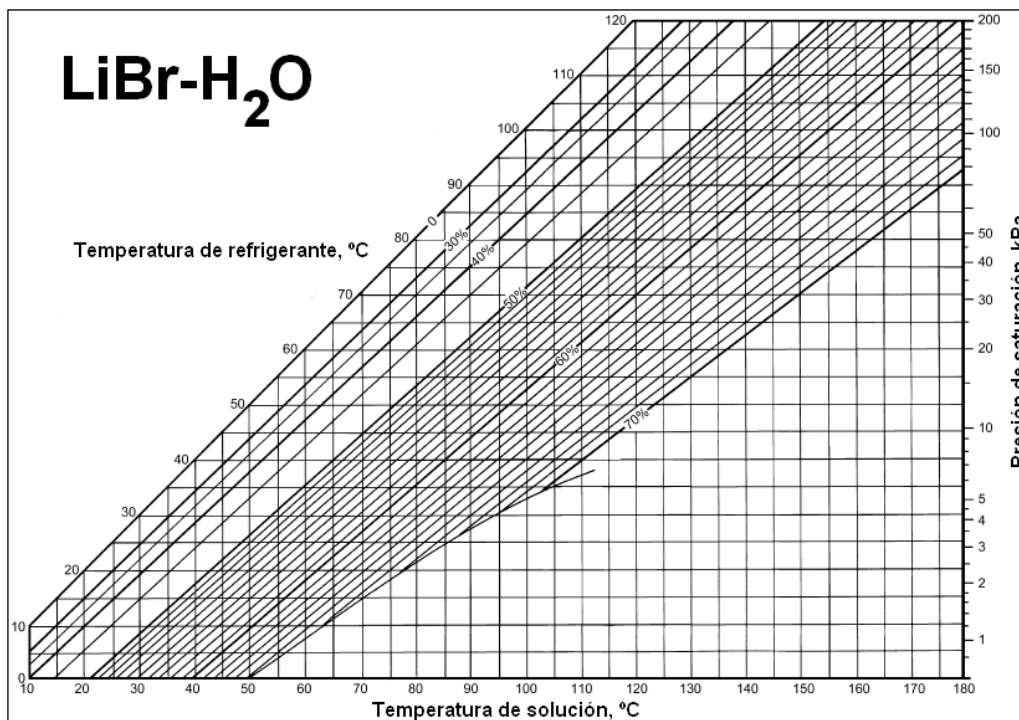
El diagrama que representa la mezcla de trabajo es el **Dühring (P-T)**



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

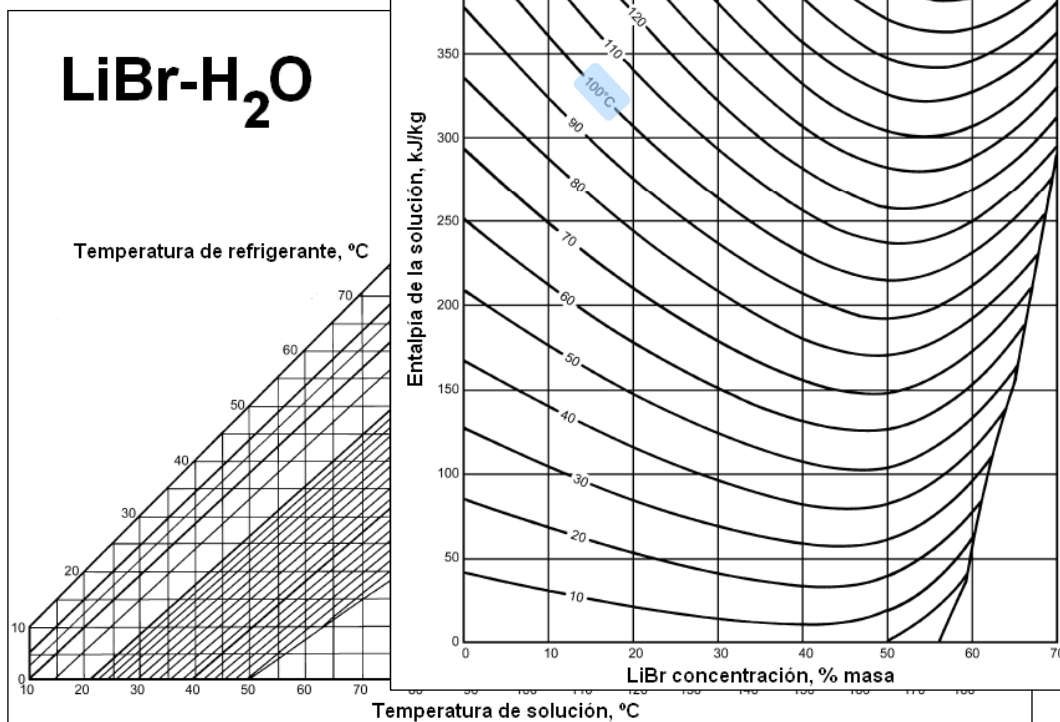
34

2.- Refrigeración por Absorción (XIII)



35

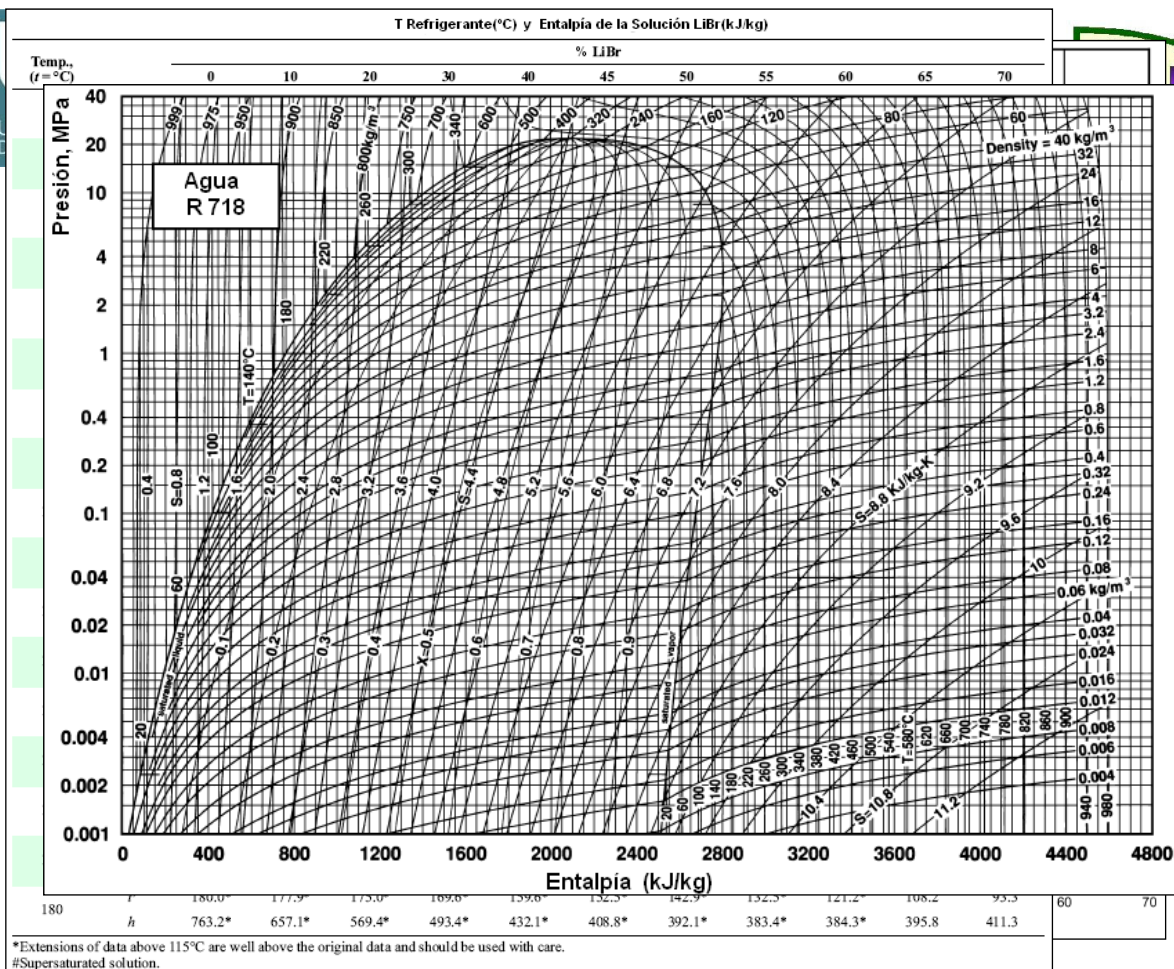
2.- Refrigeración por A



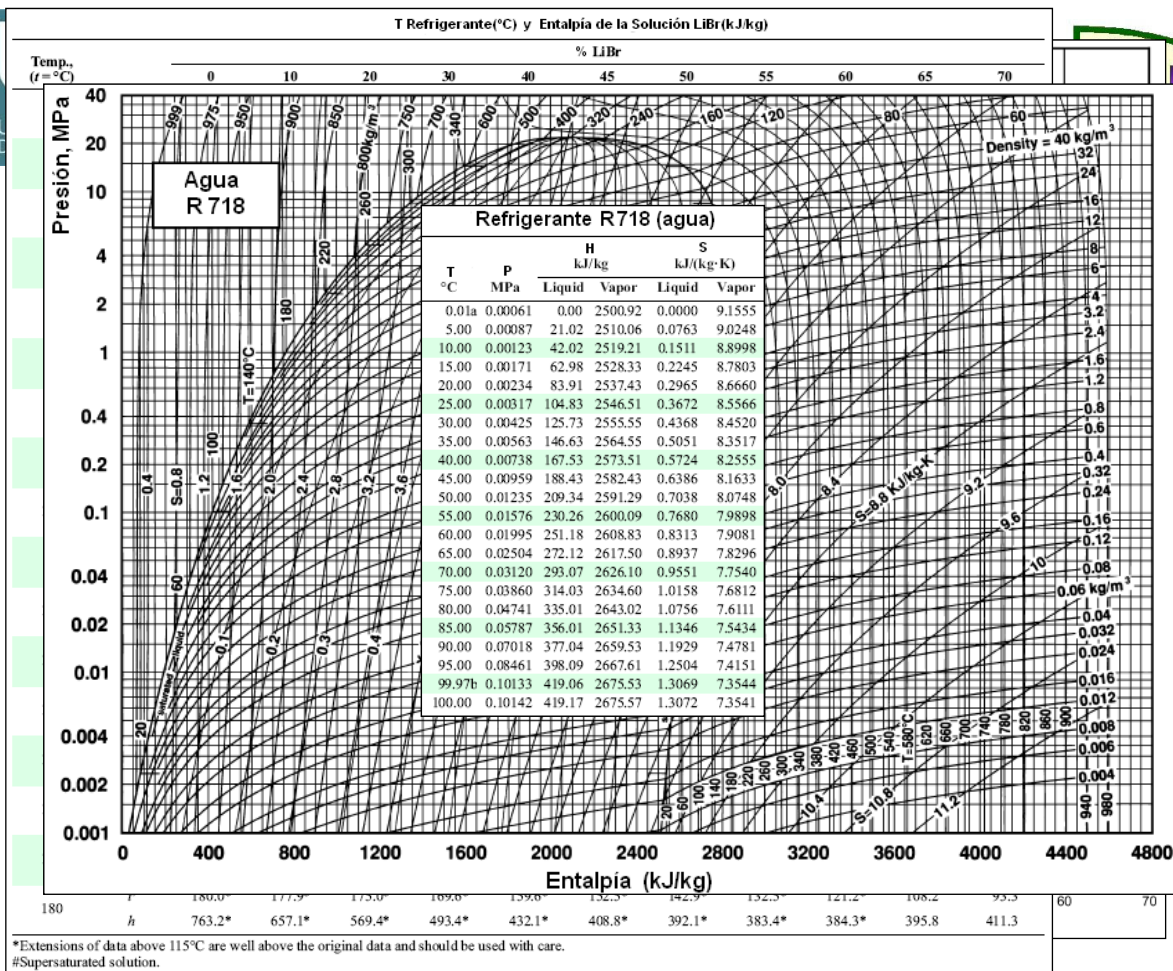
36

		T Refrigerante(°C) y Entalpia de la Solución LiBr(KJ/kg)										
Temp., (t = °C)		% LiBr										
		0	10	20	30	40	45	50	55	60	65	70
20	t'	20	19.1	17.7	15.0	9.8	5.8	-0.4	-7.7	-15.8	-23.4#	-29.3#
	h	84.0	67.4	52.6	40.4	33.5	33.5	38.9	53.2	78.0	111.0#	145.0#
30	t'	30.0	29.0	27.5	24.6	19.2	15.0	8.6	1.0	-7.3	-15.2#	-21.6#
	h	125.8	103.3	84.0	68.6	58.3	56.8	60.5	73.5	96.8	128.4#	161.7#
40	t'	40.0	38.9	37.3	34.3	28.5	24.1	17.5	9.8	1.3	-7.0#	-14.0#
	h	167.6	139.5	115.8	96.0	82.5	79.7	82.2	93.5	115.4	146.0#	178.3#
50	t'	50.0	48.8	47.2	44.0	37.9	33.3	26.5	18.5	9.9	1.3	-6.3#
	h	209.3	175.2	147.0	123.4	106.7	102.6	103.8	114.0	134.5	163.5	195.0#
60	t'	60.0	58.8	57.0	53.6	47.3	42.5	35.5	27.3	18.4	9.5	1.4#
	h	251.1	211.7	179.1	151.4	131.7	125.8	125.8	134.7	153.7	181.4	211.9#
70	t'	70.0	68.7	66.8	63.3	56.6	51.6	44.4	36.1	27.0	17.7	9.0#
	h	293.0	247.7	210.5	178.8	155.7	148.9	148.0	155.6	173.2	199.4	228.8#
80	t'	80.0	78.6	76.7	73.0	66.0	60.8	53.4	44.8	35.6	26.0	16.7#
	h	334.9	287.8	243.6	207.3	181.0	172.8	170.0	176.2	192.6	217.2	245.7#
90	t'	90.0	88.6	86.5	82.6	75.4	70.0	62.3	53.6	44.1	34.2	24.3#
	h	376.9	321.1	275.6	235.4	206.1	195.8	192.3	197.1	212.2	235.6	262.9#
100	t'	100.0	98.5	96.3	92.3	84.7	79.1	71.3	62.4	52.7	42.4	32.0
	h	419.0	357.6	307.9	263.8	231.0	219.9	214.6	218.2	231.5	253.5	279.7
110	t'	110.0	108.4	106.2	101.9	94.1	88.3	80.2	71.1	61.3	50.6	39.7
	h	461.3	394.3	340.1	292.4	255.9	243.3	236.8	239.1	251.0	271.4	296.3
120	t'	120.0*	118.3*	116.0*	111.6	103.4	97.5	89.2	79.9	69.8	58.9	47.3
	h	503.7*	431.0*	372.5*	320.9	281.0	267.0	259.0	260.0	270.2	289.5	313.4
130	t'	130.0*	128.3*	125.8*	121.3*	112.8	106.7	92.8	88.7	78.4	67.1	55.0
	h	546.5*	468.4*	404.5*	349.6*	306.2	290.7	281.0	280.4	289.1	306.9	330.2
140	t'	140.0*	138.2*	135.7*	130.9*	122.2*	115.8	107.1	97.4	87.0	75.3	62.7
	h	589.1*	505.6*	437.8*	377.9*	331.3*	314.2	303.2	301.1	308.1	324.7	346.9
150	t'	150.0*	148.1*	145.5*	140.6*	131.5*	125.0*	116.1*	106.2	95.5	83.5	70.3
	h	632.2*	542.7*	470.5*	406.8*	356.6*	337.8*	325.5*	321.6	327.3	342.7	363.6
160	t'	160.0*	158.1*	155.3*	150.3*	140.9*	134.2*	125.0*	115.0	104.1	91.8	78.9
	h	675.6*	580.8*	503.1*	435.4*	381.9*	361.2*	347.7*	342.2	346.1	360.3	380.1
170	t'	170.0*	168.0*	165.2*	159.9*	150.3*	143.3*	134.0*	123.7	112.7	100.0	85.7
	h	719.2*	618.9*	536.1*	464.3*	406.8*	384.9*	369.9*	362.9	365.4	378.3	396.0
180	t'	180.0*	177.9*	175.0*	169.6*	159.6*	152.5*	142.9*	132.5*	121.2*	108.2	93.3
	h	763.2*	657.1*	569.4*	493.4*	432.1*	408.8*	392.1*	383.4*	384.3*	395.8	411.3

*Extensions of data above 115°C are well above the original data and should be used with care.
#Supersaturated solution.



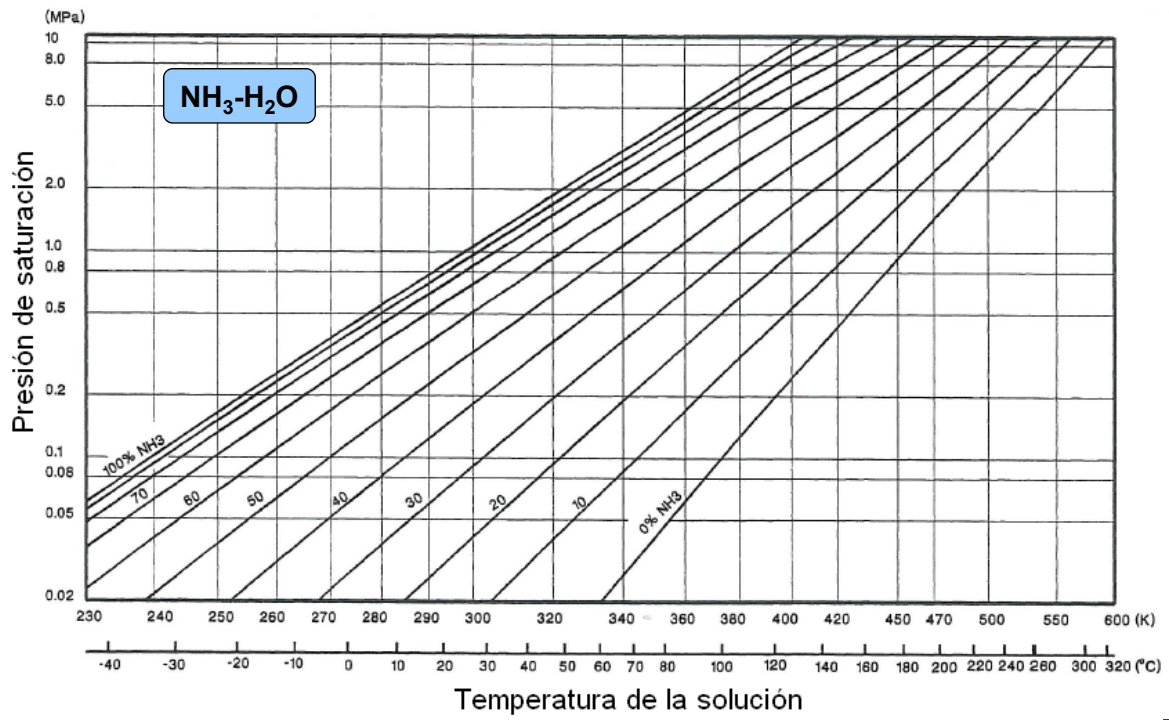
*Extensions of data above 115°C are well above the original data and should be used with care.
#Supersaturated solution.



T6.- Ciclos de Refrigeración



2.- Refrigeración por Absorción (XIV)

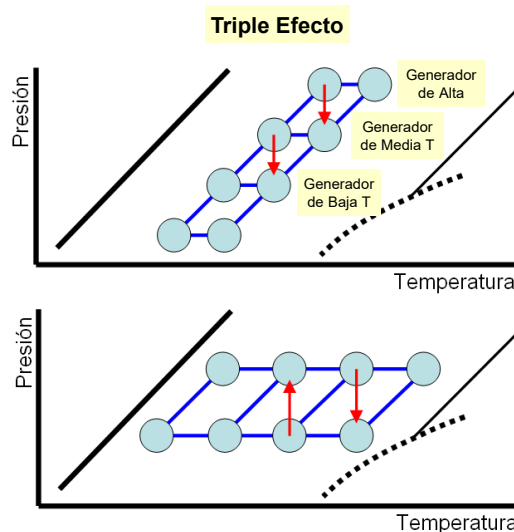


2.- Refrigeración por Absorción (XV)

2.1.- Otros Ciclos de Absorción (I)

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

- **Ciclos multistage** (uno o más de los intercambiadores -generador, condensador, evaporador o absorbedor- está presente más de una vez en el ciclo a diferentes presiones o concentraciones)
- **Ciclos multiefect** (el calor se aprovecha varias veces -número de efectos-, tiene varias variantes)



2.- Refrigeración por Absorción (XVI)

2.1.- Otros Ciclos de Absorción (II)

• **Double Effect Cycle:**

- Este ciclo aprovecha el calor desprendido en la refrigeración de un condensador de alta en un generador de baja (máquina grande y cara)
- Tiene un COP del orden de 1,2
- Necesita un 40% menos de calor que el de simple efecto
- La refrigeración auxiliar libera al exterior 25% menos de calor

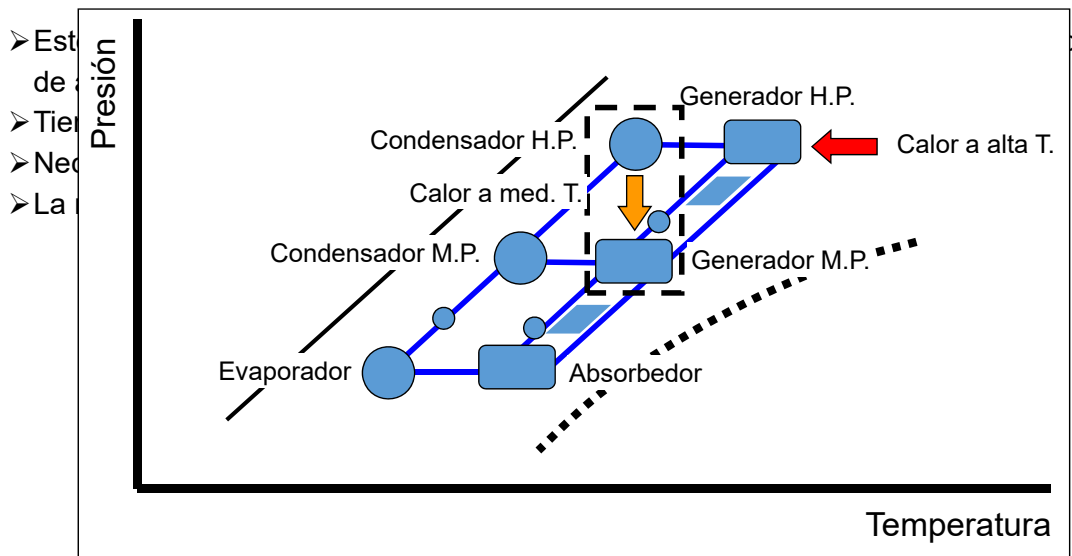
$$\frac{|Q_G|_{D.E.}}{|Q_G|_{S.E.}} = \frac{\frac{|Q_E|}{COP_{D.E.}}}{\frac{|Q_E|}{COP_{S.E.}}} = \frac{\frac{|Q_E|}{1,2}}{\frac{|Q_E|}{0,7}} = \frac{0,83}{1,43} \approx 60\%$$

$$\frac{|Q_C| + |Q_A|_{D.E.}}{|Q_C| + |Q_A|_{S.E.}} = \frac{|Q_G| + |Q_E|_{D.E.}}{|Q_G| + |Q_E|_{S.E.}} = \frac{\frac{|Q_E|}{COP_{D.E.}} + |Q_E|}{\frac{|Q_E|}{COP_{S.E.}} + |Q_E|} = \frac{\frac{|Q_E|}{1,2} + |Q_E|}{\frac{|Q_E|}{0,7} + |Q_E|} = 75\%$$

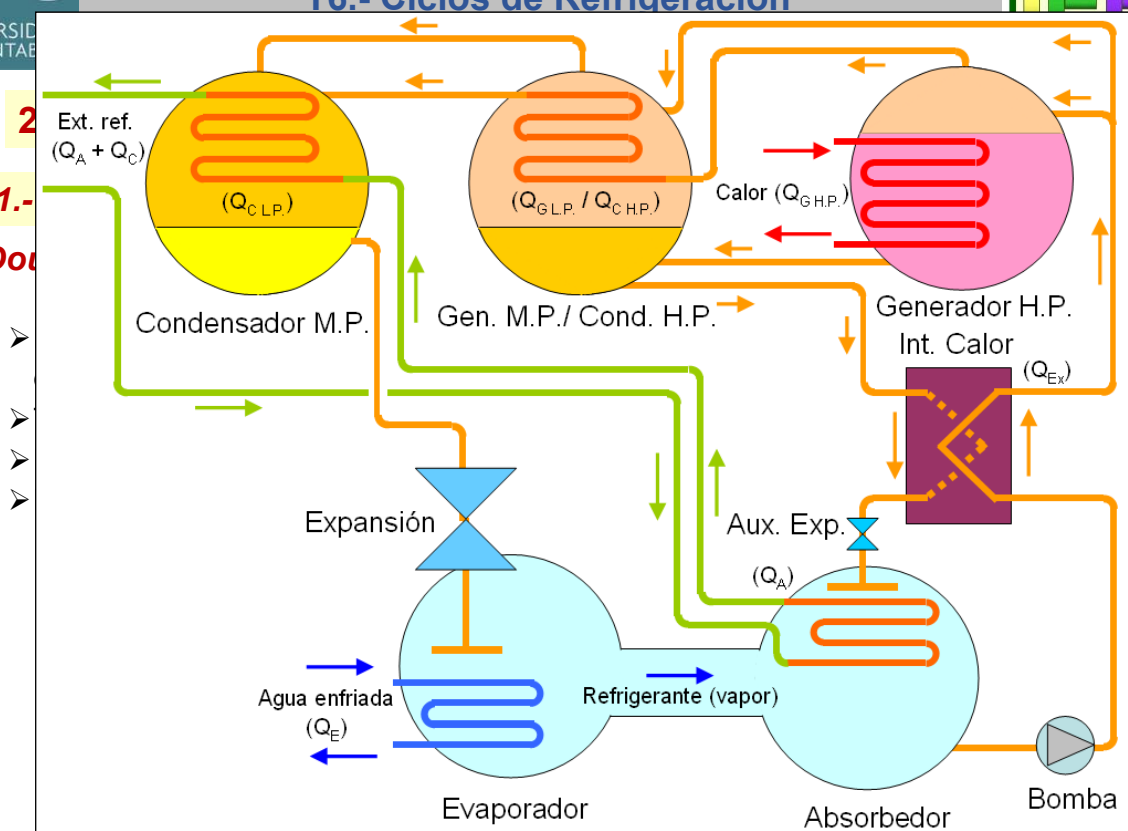
2.- Refrigeración por Absorción (XVI)

2.1.- Otros Ciclos de Absorción (II)

• Double Effect Cycle:



2.1.-
• Do



2.- Refrigeración por Absorción (XVII)

2.1.- Otros Ciclos de Absorción (III)

• Half Effect Cycle:

- Este ciclo aprovecha el calor a dos focos térmicos distintos (alta y media temperatura)
- Tiene un COP del orden de 0,5
- Necesita un 40% más de calor que el de simple efecto
- La refrigeración auxiliar libera al exterior 25% más de calor

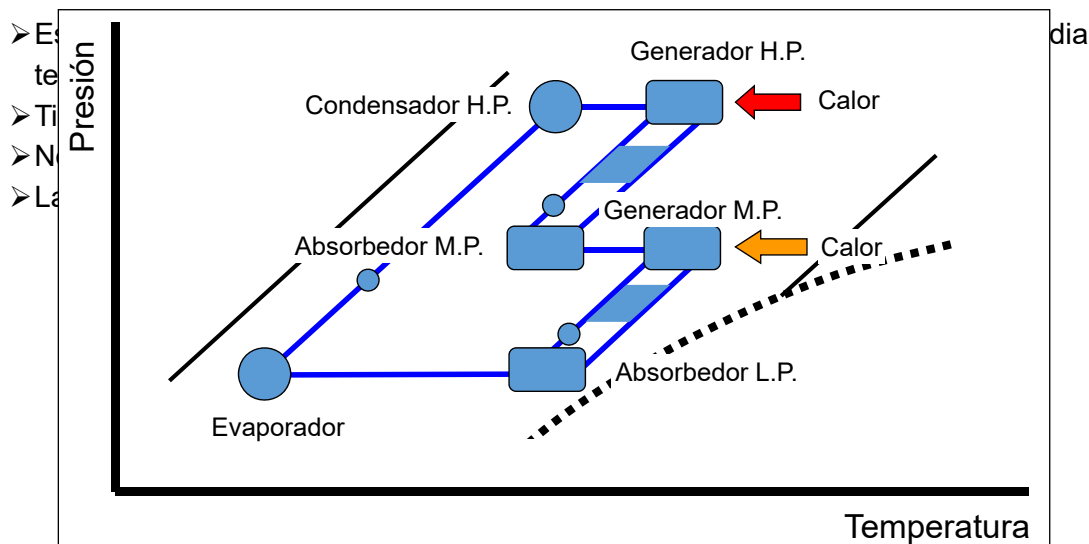
$$\frac{|Q_G|_{H.E.}}{|Q_G|_{S.E.}} = \frac{\frac{|Q_E|}{COP_{H.E.}}}{\frac{|Q_E|}{COP_{S.E.}}} = \frac{\frac{|Q_E|}{0,5}}{\frac{|Q_E|}{0,7}} = \frac{2}{1,43} = 140\%$$

$$\frac{|Q_C| + |Q_A|_{D.E.}}{|Q_C| + |Q_A|_{S.E.}} = \frac{|Q_G| + |Q_E|_{H.E.}}{|Q_G| + |Q_E|_{S.E.}} = \frac{\frac{|Q_E|}{COP_{H.E.}} + |Q_E|}{\frac{|Q_E|}{COP_{S.E.}} + |Q_E|} = \frac{\frac{0,5}{0,5} + |Q_E|}{\frac{0,5}{0,7} + |Q_E|} \approx 125\%$$

2.- Refrigeración por Absorción (XVII)

2.1.- Otros Ciclos de Absorción (III)

• Half Effect Cycle:



2.- Refrigeración por Absorción (XVIII)

2.1.- Otros Ciclos de Absorción (IV)

• Single-effect/double-lift:

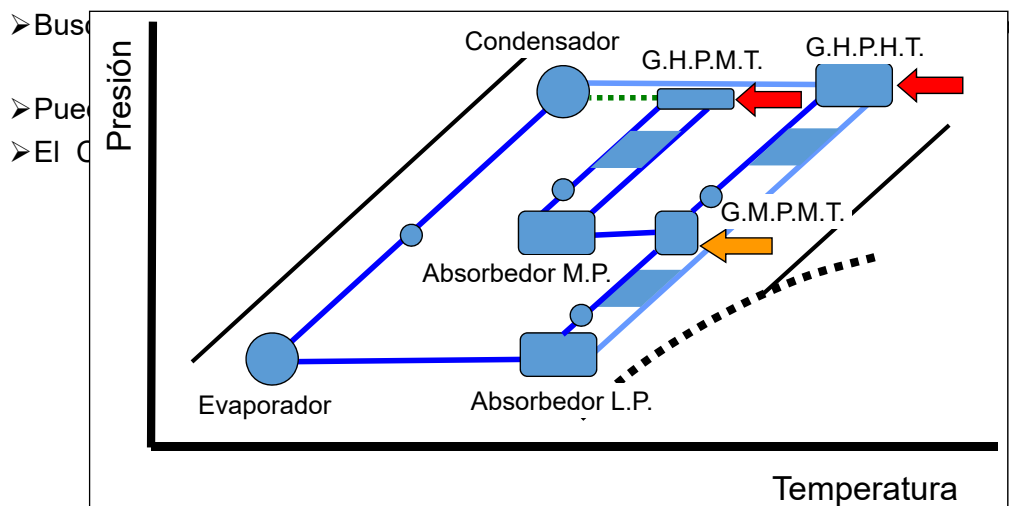
- Busca conseguir gran enfriamiento en el agua de alimentación al generador (del orden de 30°C frente a los 10 de un ciclo convencional)
- Puede funcionar como uno de Double Effect, o como Half Effect
- El COP varía en función de como trabaja

47

2.- Refrigeración por Absorción (XVIII)

2.1.- Otros Ciclos de Absorción (IV)

• Single-effect/double-lift:



48

2.-

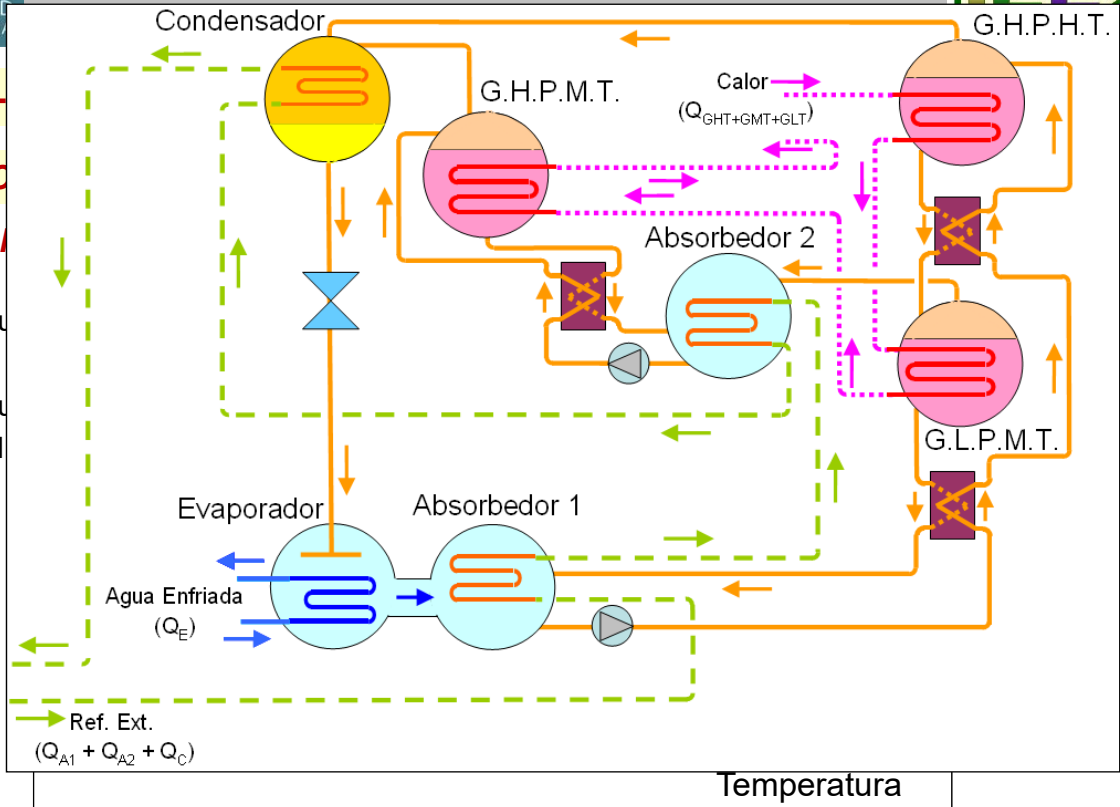
2.1.- C

• Singl

➤ Bu

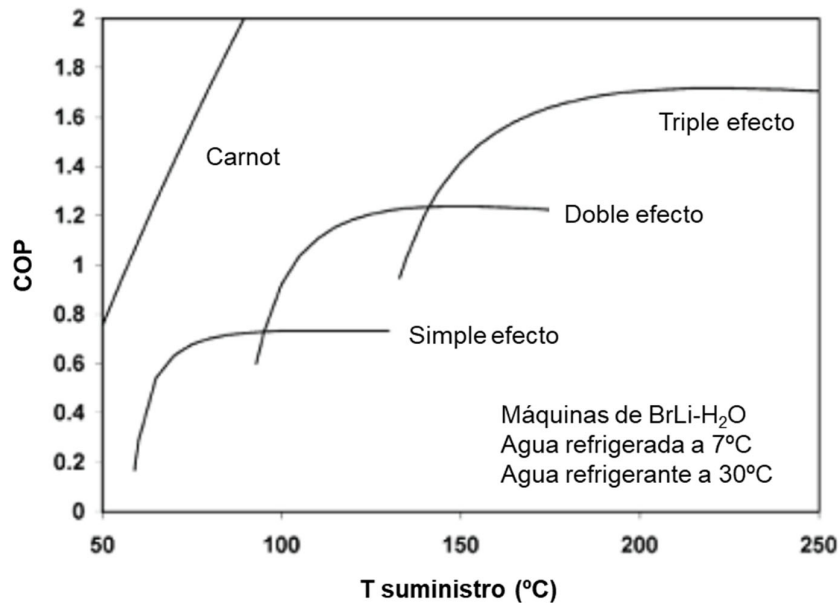
➤ Pu

➤ EI



2.- Refrigeración por Absorción (XIX)

2.1.- Otros Ciclos de Absorción (V)



Solkane 7.0.2 - [SOLKANE® 134a]

Medio refrigerante: R134a

Temperatura: 101.06 °C
 R: 40.59 bar
 v: 1.954 dm³/kg

Vaporizador
 Temperatura: 10.00 °C
 Recalentamiento: 7.00 K
 Pérdida de presión: 0.00 bar
 Capacidad frigorífica: 1.000 kW

Condensador
 Temperatura: 35.00 °C
 Subenfriamiento: 0.00 K
 Pérdida de presión: 0.00 bar

Compresor
 Rendimiento isentrópico: 0.800 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento: 0.00 K
 Pérdida de presión: 0.00 bar

Conducto de gas de presión
 Enfriamiento: 0.00 K
 Pérdida de presión: 0.00 bar

Chemours Refrigerant Expert 1.0

Ciclo 1: CRE 1.0

Refrigerante: Freon(TM) 134a

Condensación t_c [°C]: 40.0
 Temperatura media [°C]: 40.0
 Presión de condensación p_c [bar]: 10.1659

Evaporación t_e [°C]: -10.0
 Temperatura media [°C]: -10.0
 Presión de evaporación p_e [bar]: 2.0060

Capacidad frigor. Q₀ [kW]: 100.00
 Potencia del Compresor P [kW]: 25.01

Rendimiento isentrópico [-]: 0.70
 Rendimiento volumétrico [-]: 1.0
 Tasa de Compresión p₂/p₁ [-]: 5.068
 Diferencia de Presión p₂-p₁ [bar]: 8.160

Ciclos

Modo de Operación: Ciclo Simple

Int. Rec. Subenfriamiento: Con Intercambiador

Número de Evaporadores: 1 Evaporador

E.E.R.:

Solkane 7.0.2 - [SOLKANE® 134a]

Temperatura: 101.06 °C
 R: 40.59 bar
 v: 1.954 dm³/kg

Vaporizador
 Temperatura: 10.00 °C
 Recalentamiento: 7.00 K
 Pérdida de presión: 0.00 bar
 Capacidad frigorífica: 1.000 kW

Condensador
 Temperatura: 35.00 °C
 Subenfriamiento: 0.00 K
 Pérdida de presión: 0.00 bar

Compresor
 Rendimiento isentrópico: 0.800 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento: 0.00 K
 Pérdida de presión: 0.00 bar

Conducto de gas de presión
 Enfriamiento: 0.00 K
 Pérdida de presión: 0.00 bar

RESOLVER

Q_{con} = 307 [kW]
 T_{con} = 45 [°C]
 COP = 4.806 [p.u.]

Chemours Refrigerant Expert 1.0

Ciclo 1: CRE 1.0

Refrigerante: Freon(TM) 134a

Condensación t_c [°C]: 40.0
 Temperatura media [°C]: 40.0
 Presión de condensación p_c [bar]: 10.1659

Evaporación t_e [°C]: -10.0
 Temperatura media [°C]: -10.0
 Presión de evaporación p_e [bar]: 2.0060

Capacidad frigor. Q₀ [kW]: 100.00
 Potencia del Compresor P [kW]: 25.01

Rendimiento isentrópico [-]: 0.70
 Rendimiento volumétrico [-]: 1.0
 Tasa de Compresión p₂/p₁ [-]: 5.068
 Diferencia de Presión p₂-p₁ [bar]: 8.160

Ciclos

Modo de Operación: Ciclo Simple

Int. Rec. Subenfriamiento: Con Intercambiador

Número de Evaporadores: 1 Evaporador

E.E.R.:

Solkane 7.0.2 - [SOLKANE® 134a]

Temperatura: 101.06 °C
 R: 40.59 bar
 v: 1.954 dm³/kg

Vaporizador
 Temperatura: 10.00 °C
 Recalentamiento: 7.00 K
 Pérdida de presión: 0.00 bar
 Capacidad frigorífica: 1.000 kW

Condensador
 Temperatura: 35.00 °C
 Subenfriamiento: 0.00 K
 Pérdida de presión: 0.00 bar

Compresor
 Rendimiento isentrópico: 0.800 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento: 0.00 K
 Pérdida de presión: 0.00 bar

Conducto de gas de presión
 Enfriamiento: 0.00 K
 Pérdida de presión: 0.00 bar

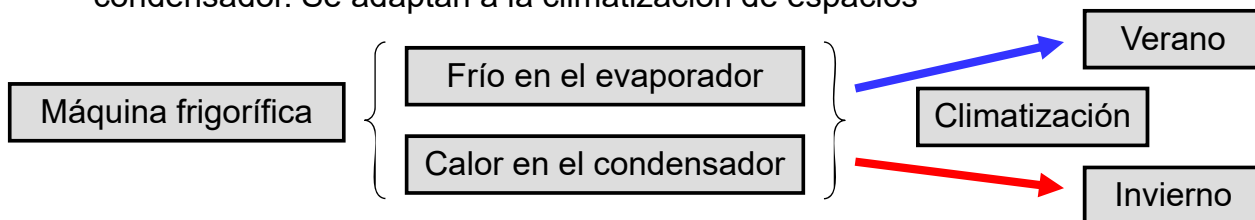
RESOLVER

Q_{con} = 323.2 [kW]
 T_{con} = 45 [°C]
 COP = 0.7153 [p.u.]

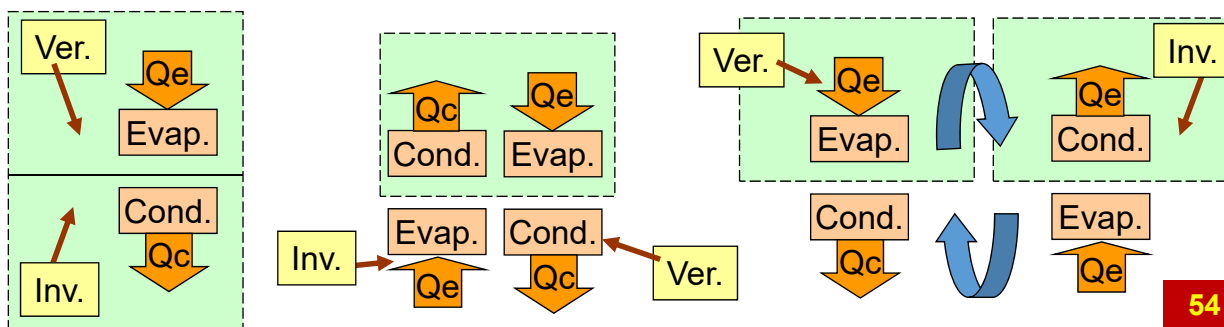
Una máquina de absorción de LiBr Agua funcionando con $T_{gen.} 70^{\circ}C$, $T_{evap.} 10^{\circ}C$, $T_{cond.} 30^{\circ}C$ y eficacia del intercambiador de la solución del 75%. Se desea conocer el COP del sistema suponiendo $T_{abs.} = T_{cond.}$.

3.- La Bomba de Calor (I)

Las Máquinas Frigoríficas toman calor en el evaporador y lo ceden en el condensador. Se adaptan a la climatización de espacios



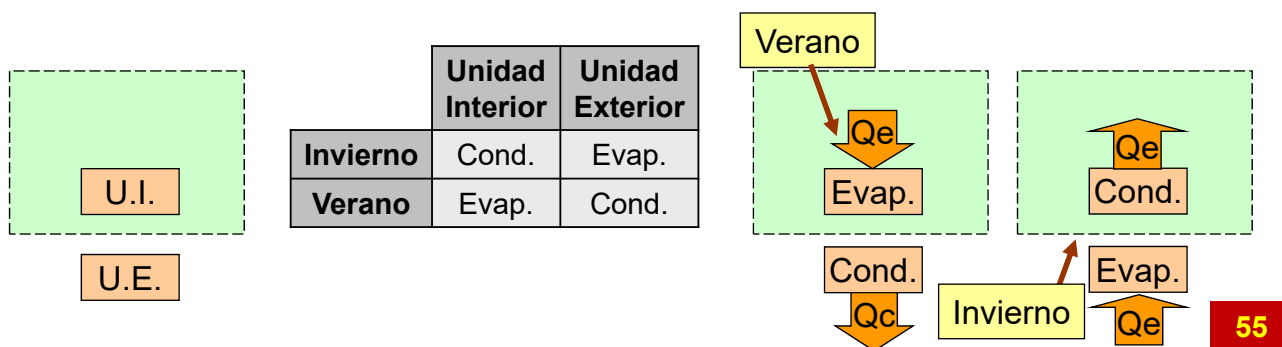
Bompear calor del exterior al interior en invierno
Bompear calor del interior al exterior en de verano



3.- La Bomba de Calor (II)

La **Bomba de Calor** es una M.F. que **aprovecha el calor del condensador**
Pueden ser reversibles: aprovechar calor o frío (calefacción en invierno y refrigeración en verano, aptas para climatización)

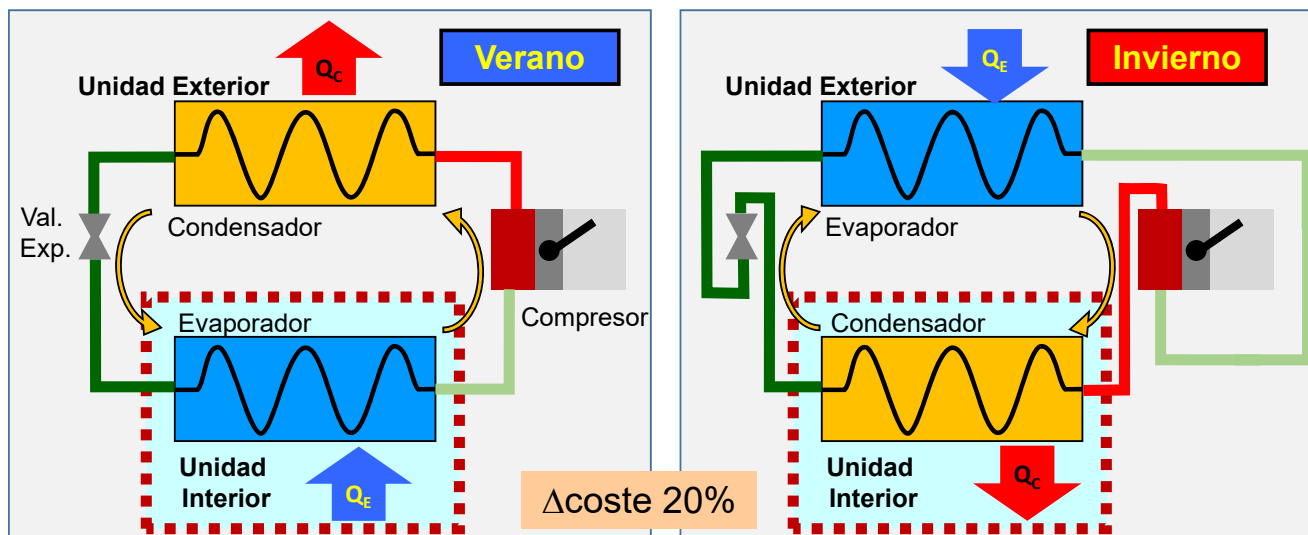
- Los intercambiadores de calor no son ni condensadores ni evaporadores; se les puede hacer funcionar como ...
- En la unidad interior es donde se consigue el efecto útil
- La refrigeración se realiza con el calor retirado en el evaporador
- El calentamiento se hace con el calor cedido en el condensador



3.- La Bomba de Calor (III)

Para ser reversibles deben incorporar algún elemento nuevo

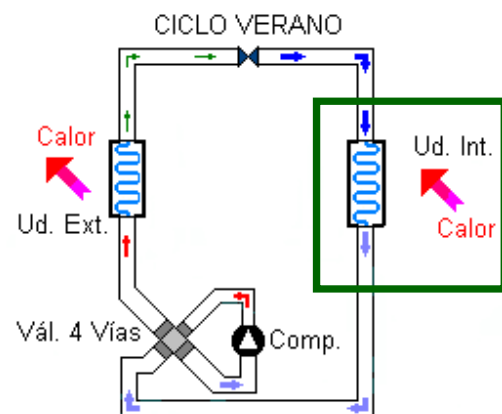
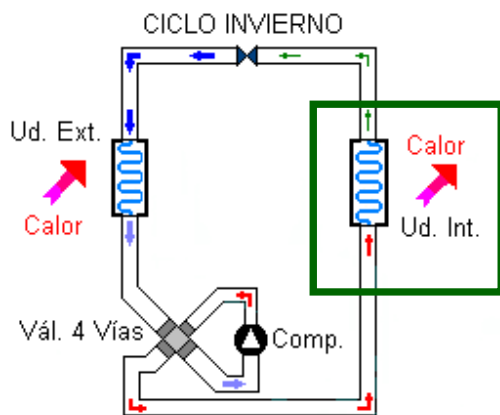
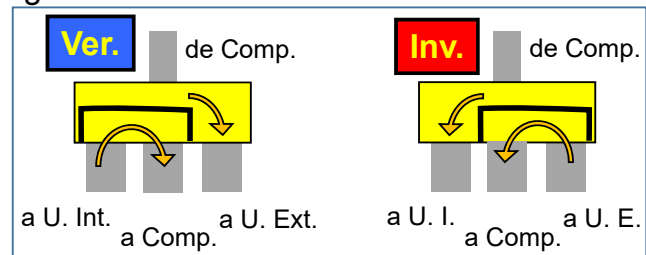
a) **B.C. de compresión mecánica**
"Invierte el sentido del refrigerante por las tuberías"



3.- La Bomba de Calor (IV)

Para se reversibles deben incorporar algún elemento nuevo

a) **B.C. de compresión mecánica**
"Invierte el sentido del refrigerante por las tuberías" con una válvula de 4 vías



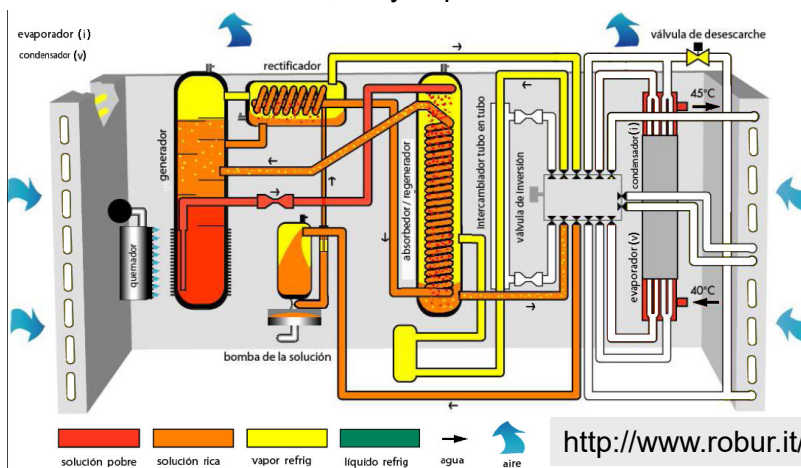
3.- La Bomba de Calor (V)

Para se reversibles deben incorporar algún elemento nuevo

b) **Bomba de Calor de absorción**

Se aporta calor a alta T en el generador, y se obtiene una cantidad mayor, pero a media T, tanto en el absorbedor y en el condensador.

Las máquinas de llama directa, en el funcionamiento en invierno pueden llegar a alcanzar rendimientos del 150%, muy superior al de las calderas.



3.- La Bomba de Calor (VI)

El rendimiento de la B.C.

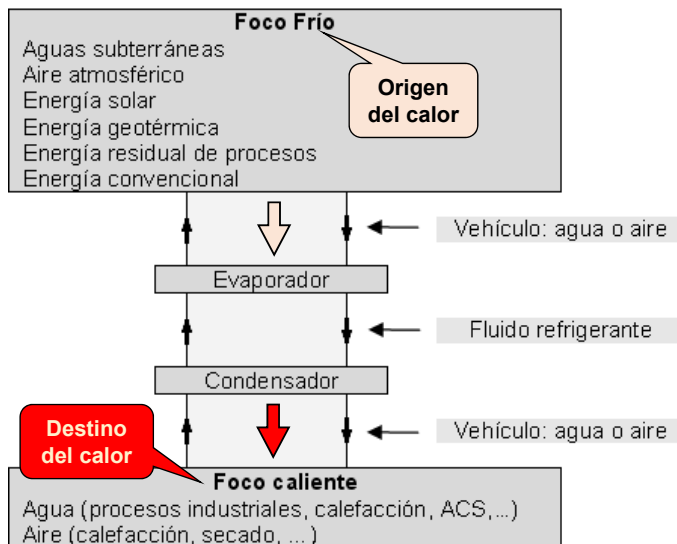
$$COP_{VERANO} = \frac{Q_{EVAPORADOR}}{W_{COMPRESOR}}$$

$$COP_{INVIERNO} = \frac{Q_{CONDENSADOR}}{W_{COMPRESOR}}$$

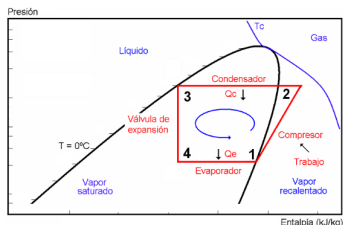
Si se aprovechan a la vez el Q_{CON} y el Q_{EVAP} aumenta considerablemente el COP

$$COP = \frac{Q_{CONDENSADOR} + Q_{EVAPORADOR}}{W_{COMPRESOR}}$$

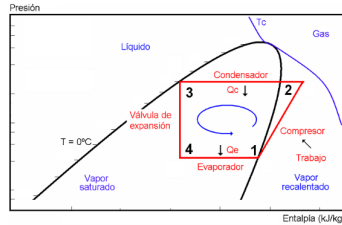
Los **focos** son los medios de los que extrae o cede calor



Una bomba de calor con R12 se utiliza para calentar una vivienda que requiere una carga de calentamiento de 300 kW. EL evaporador funciona a -10°C y la presión del condensador es de 900 kPa. Suponiendo un ciclo ideal calcular: el COP, el coste de funcionamiento (0,07 €/kWh), comparar el coste con una caldera de gas natural con un rendimiento del 90% (0,5 € termia de gas; 1 termia = 100 MJ = 27,8 kWh).



Una bomba de calor utiliza agua a 12°C como fuente de energía. Si la energía térmica proporcionada por la bomba es de 60 MJ/h, estimar el flujo de agua necesario si el compresor funciona con R12 entre las presiones de 100 kPa y 1 MPa, y la mínima potencia consumida por el compresor



4.- Otros ciclos de Refrigeración

Existen **otros ciclos y métodos** que se pueden emplear para producir refrigeración, entre los que se puede destacar:

- Ciclo compresión / absorción
- Ciclo de adsorción
- Ciclo de eyección
- Ciclo termoeléctrico
- Ciclo magnético
- Criogenia

Escasa aplicación

Experimentación

No son competitivos