

T.3.2.- Producción de Frío mediante Absorción

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

T.3.2.- Producción de Frío mediante Absorción

1.- 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)

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 ($T_{\text{evap}} > 0^\circ\text{C}$, entre 5 y 10°C)

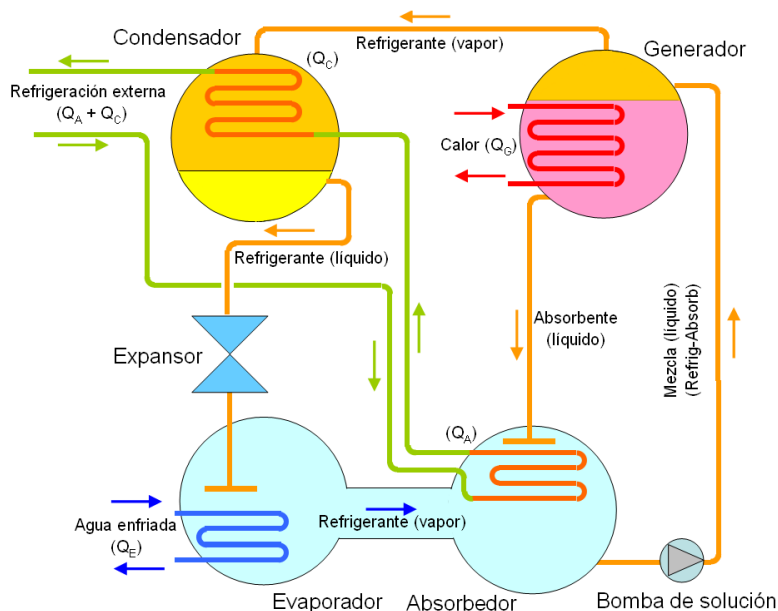
La tensión de vapor del refrigerante **se ve alterada por** la presencia del **absorbente** (\downarrow al la cantidad de absorbente)

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

2

1.- Refrigeración por Absorción (II)

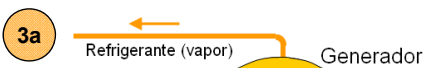
Una máquina de absorción de **efecto simple (I)**



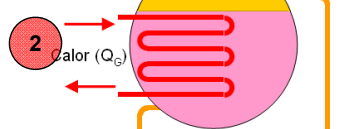
1.- Refrigeración por Absorción (III)

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

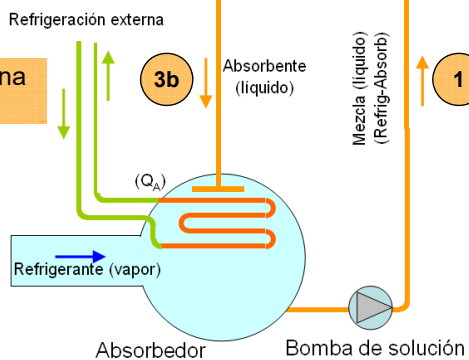
El refrigerante continúa hacia el condensador



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



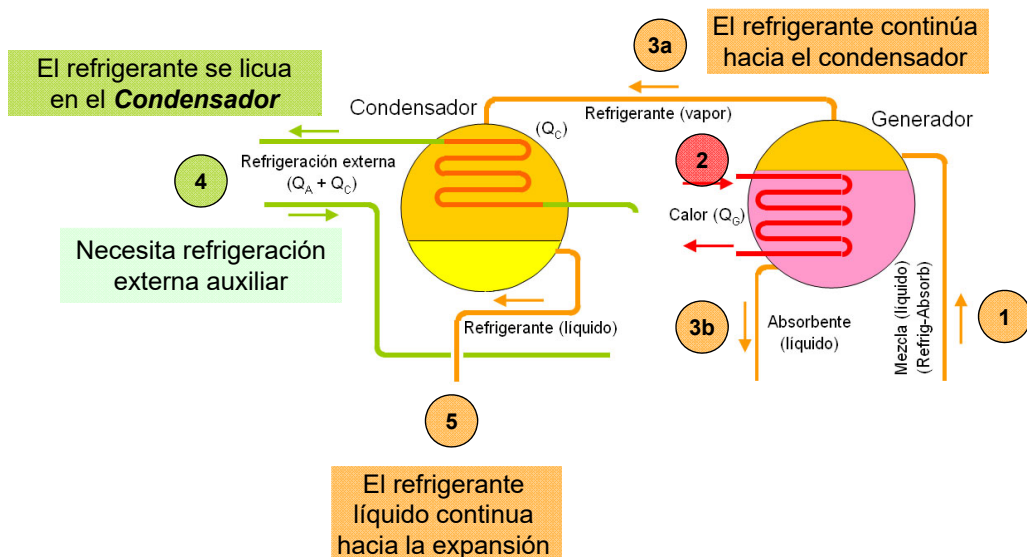
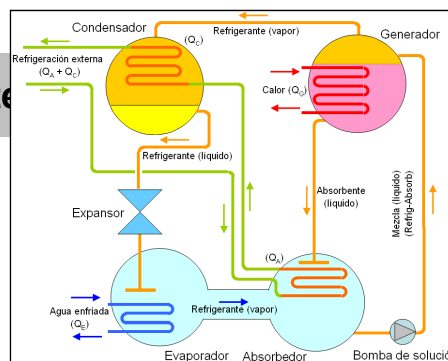
Al absorbente retorna al absorbedor



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

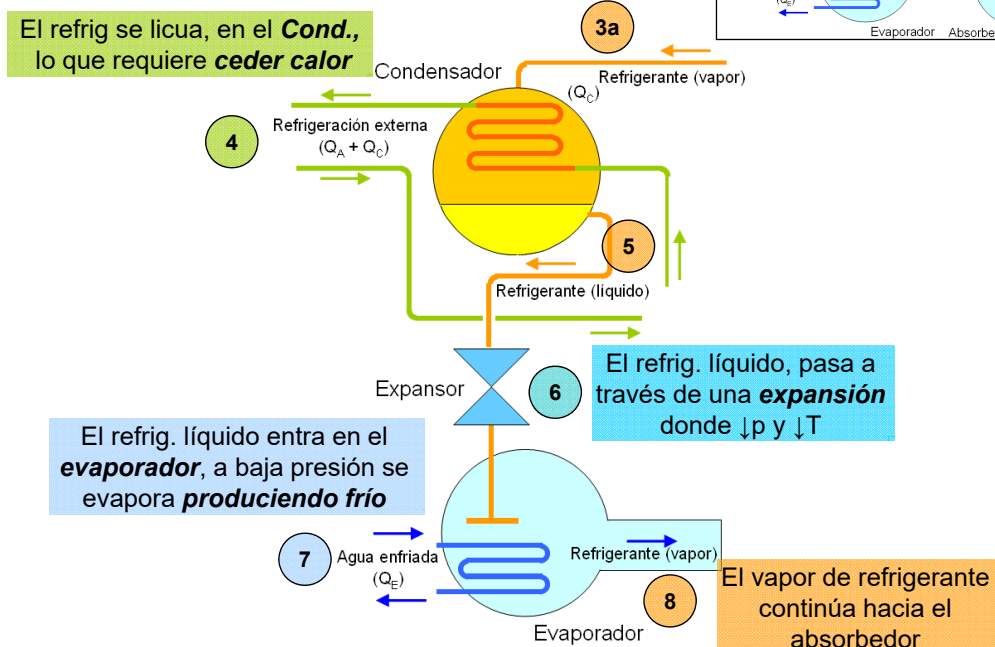
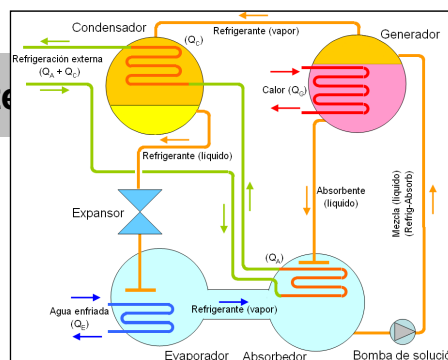
1.- Refrigeración por Absorción (III)

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



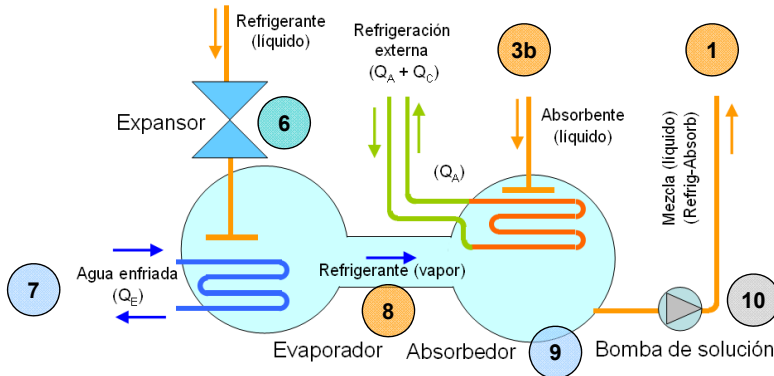
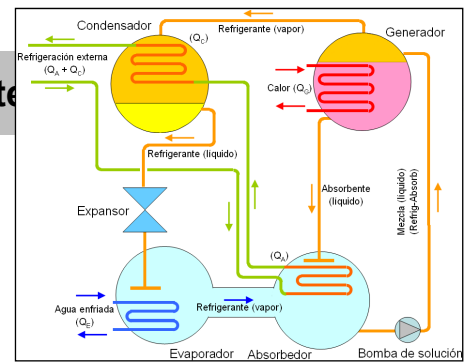
1.- Refrigeración por Absorción (III)

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



1.- Refrigeración por Absorción (III)

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)

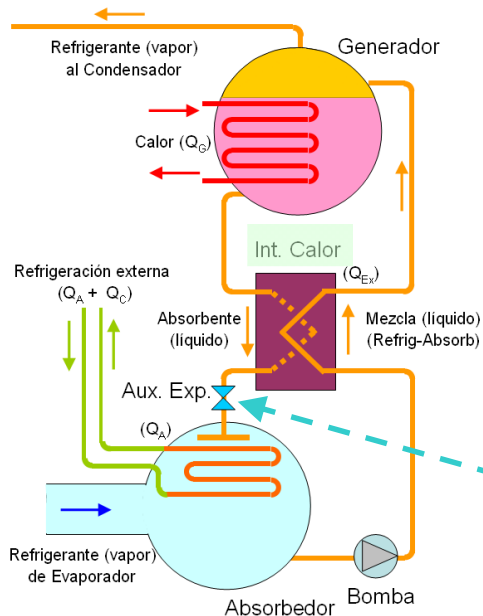
En el **Absorbedor** se mezclan:
- el vapor de refrig. (evap); 8
- la mezcla diluida (gen.); 3b

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



1.- Refrigeración por Absorción (IV)

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

1.- Refrigeración por Absorción (V)

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 Potencia maquina

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

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

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

Q eliminado en absorción \cong 2 Q eliminado en compresión

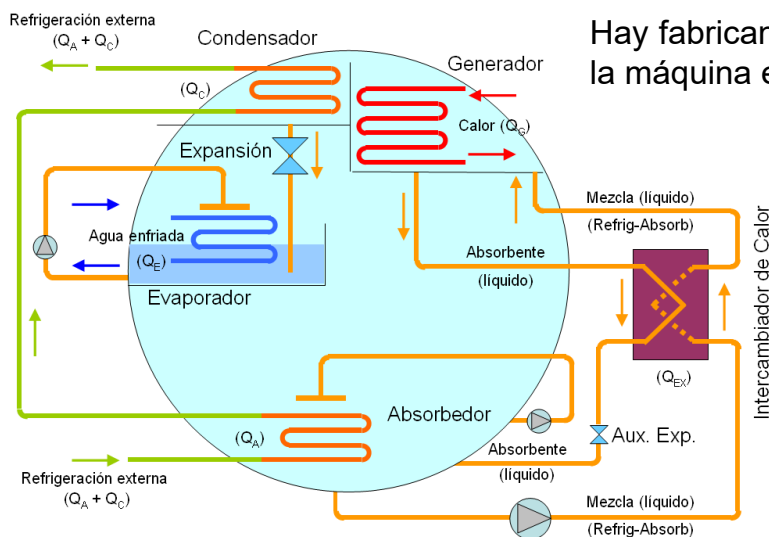
→ Condensadores de gran tamaño

1.- Refrigeración por Absorción (VI)

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



1.- Refrigeración por Absorción (VII)

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)

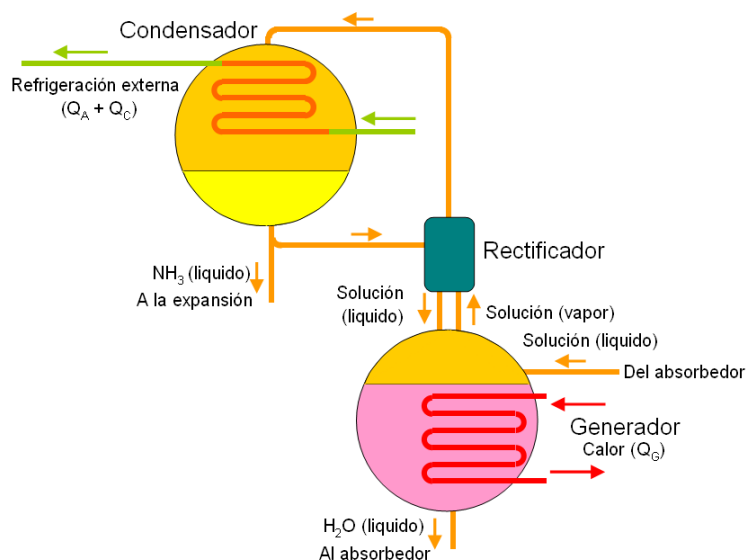
Sistema bromuro de litio-agua (BrLi-H₂O), requiere en el generador T^a de 100°C

11

1.- Refrigeración por Absorción (VIII)

Sistema amoniaco-agua (NH₃-H₂O), requiere en el generador de 120-150°C

- El NH₃ es tóxico y además ataca el cobre
- Las máquinas y tuberías tienen que ser de acero e inoxidable
- Necesita un rectificador entre el generador y el condensador ya que con el amoniaco se evapora agua



12

1.- Refrigeración por Absorción (IX)

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

El COP típico de las máquinas comerciales de LiBr-H₂O, es de 0,7

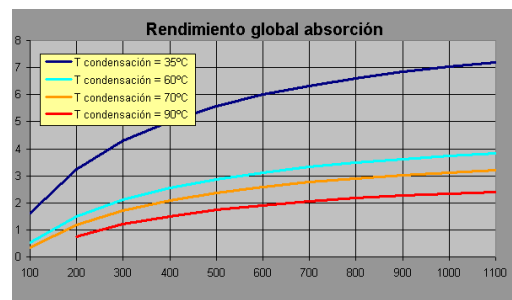
El COP de las de NH₃-H₂O es de 0,5 (trabajan a menores T_{evap})

El rendimiento total es el de la producción del frío por el de la de calor

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

∝ al T en el generador

∝↓ al T en el condensador/absorbedor



13

1.- Refrigeración por Absorción (X)

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

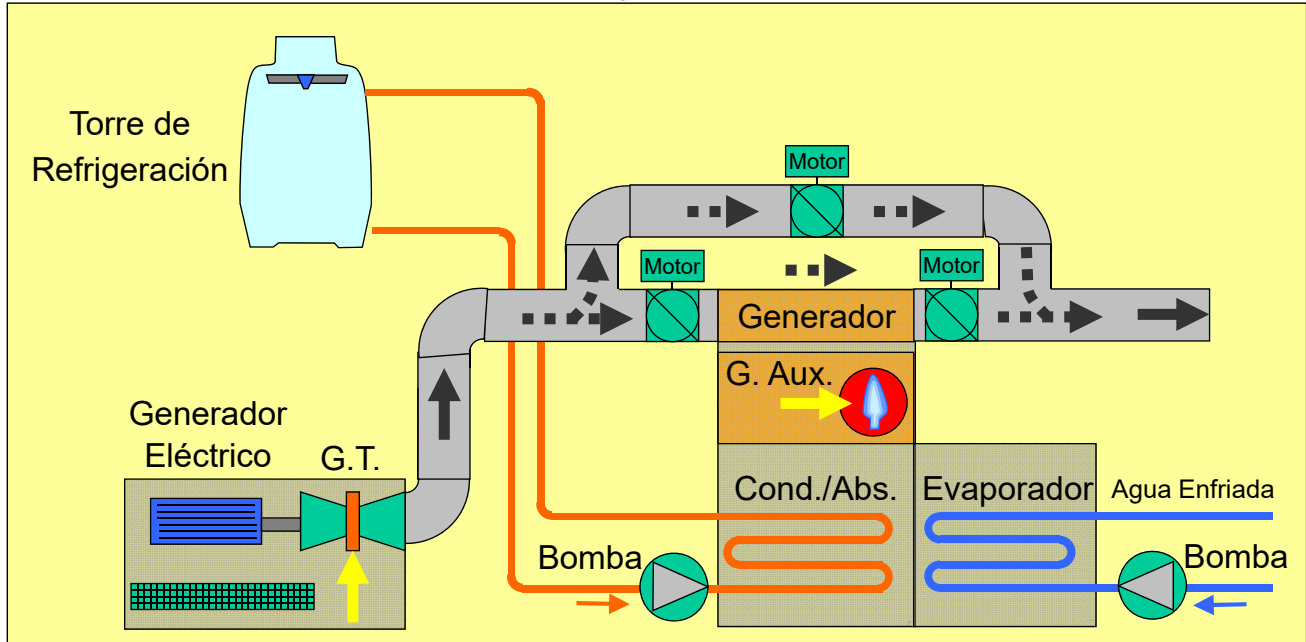
La intermitencia del Sol hace necesario un sistema de almacenamiento térmico

No son rentables

14

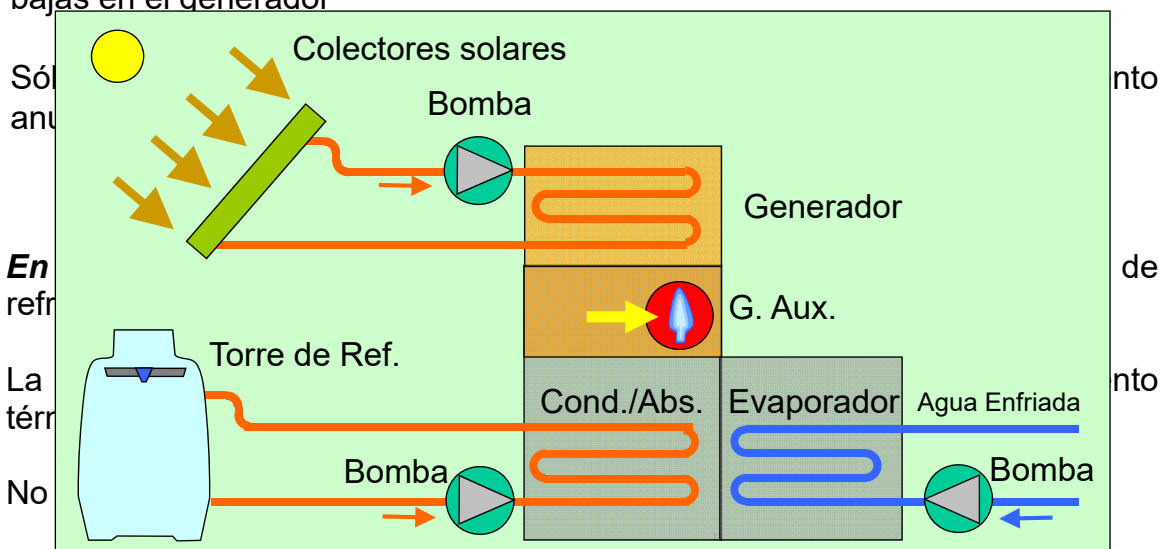
1.- Refrigeración por Absorción (X)

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



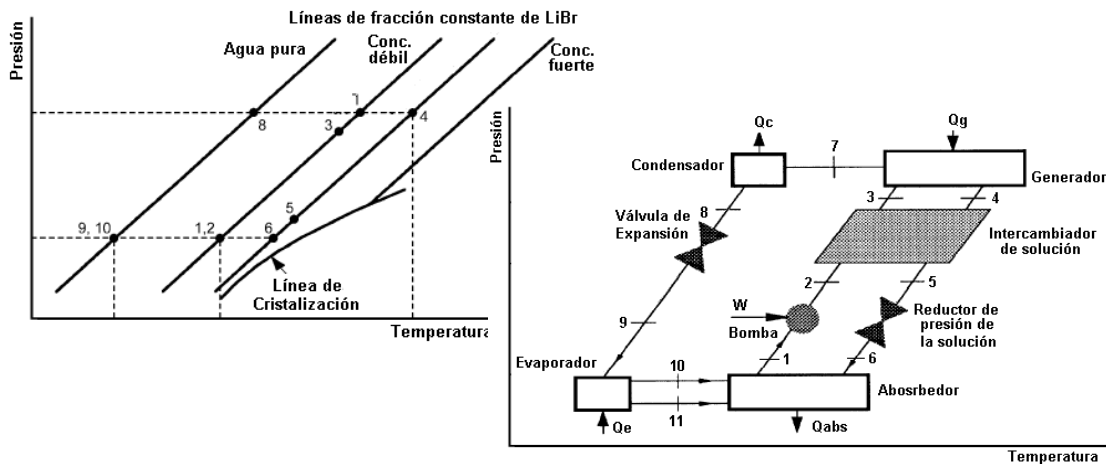
1.- Refrigeración por Absorción (X)

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



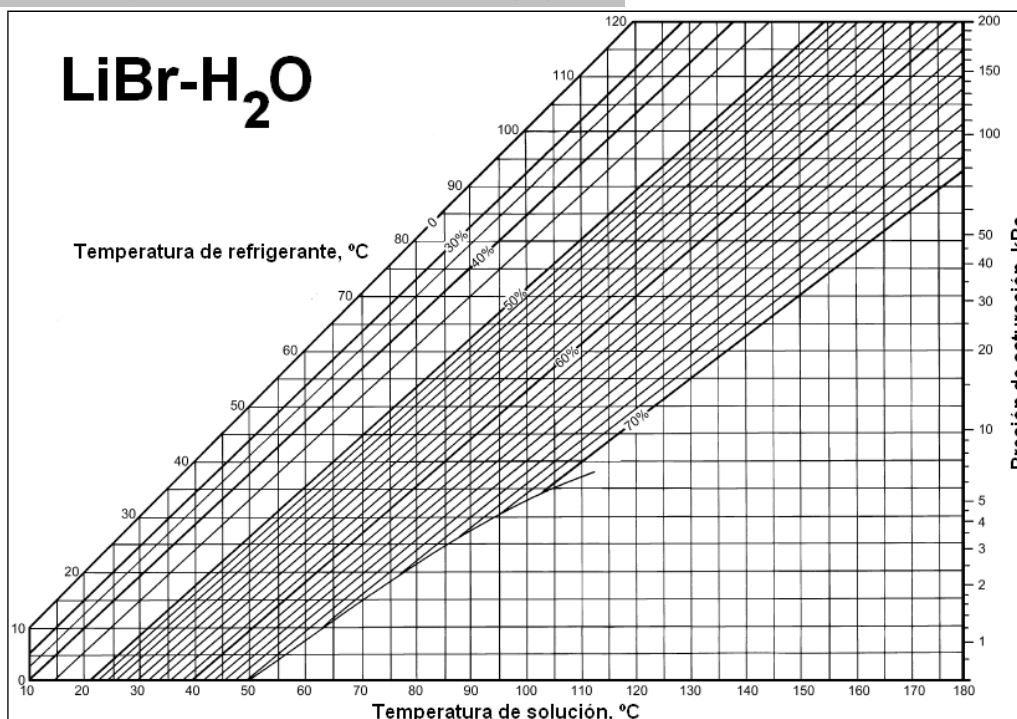
1.- Refrigeración por Absorción (IX)

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

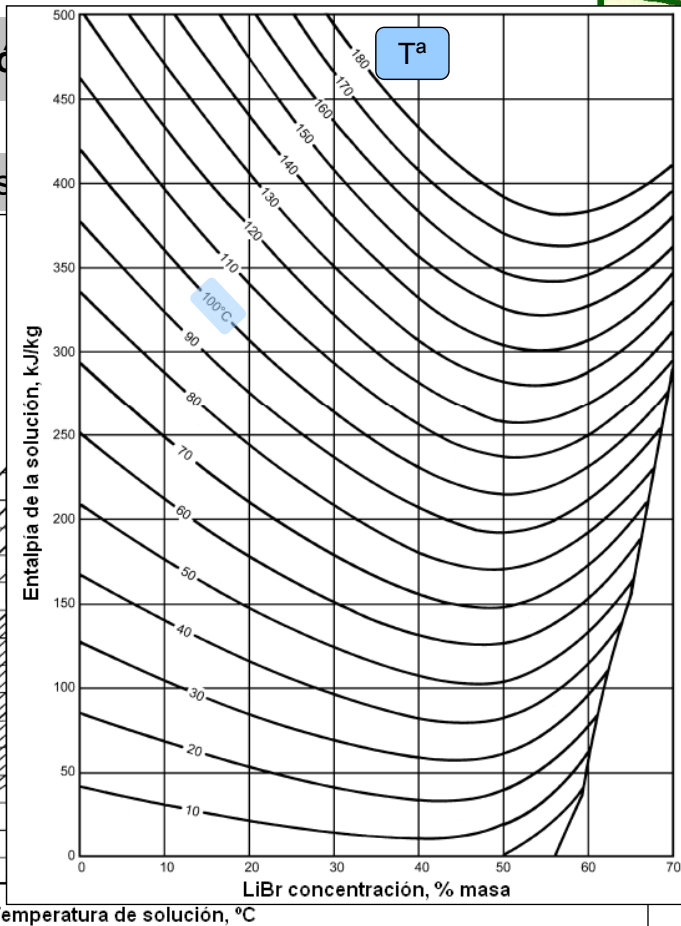
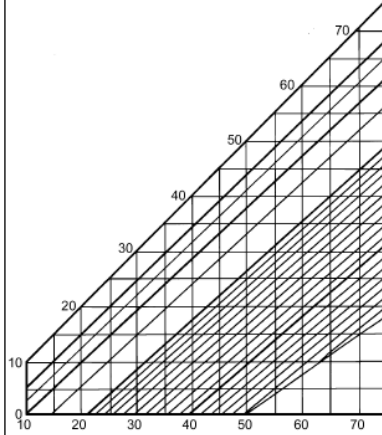
1.- Refrigeración por Absorción (X)



1.- Refrigeración por Absorción

LiBr-H₂O

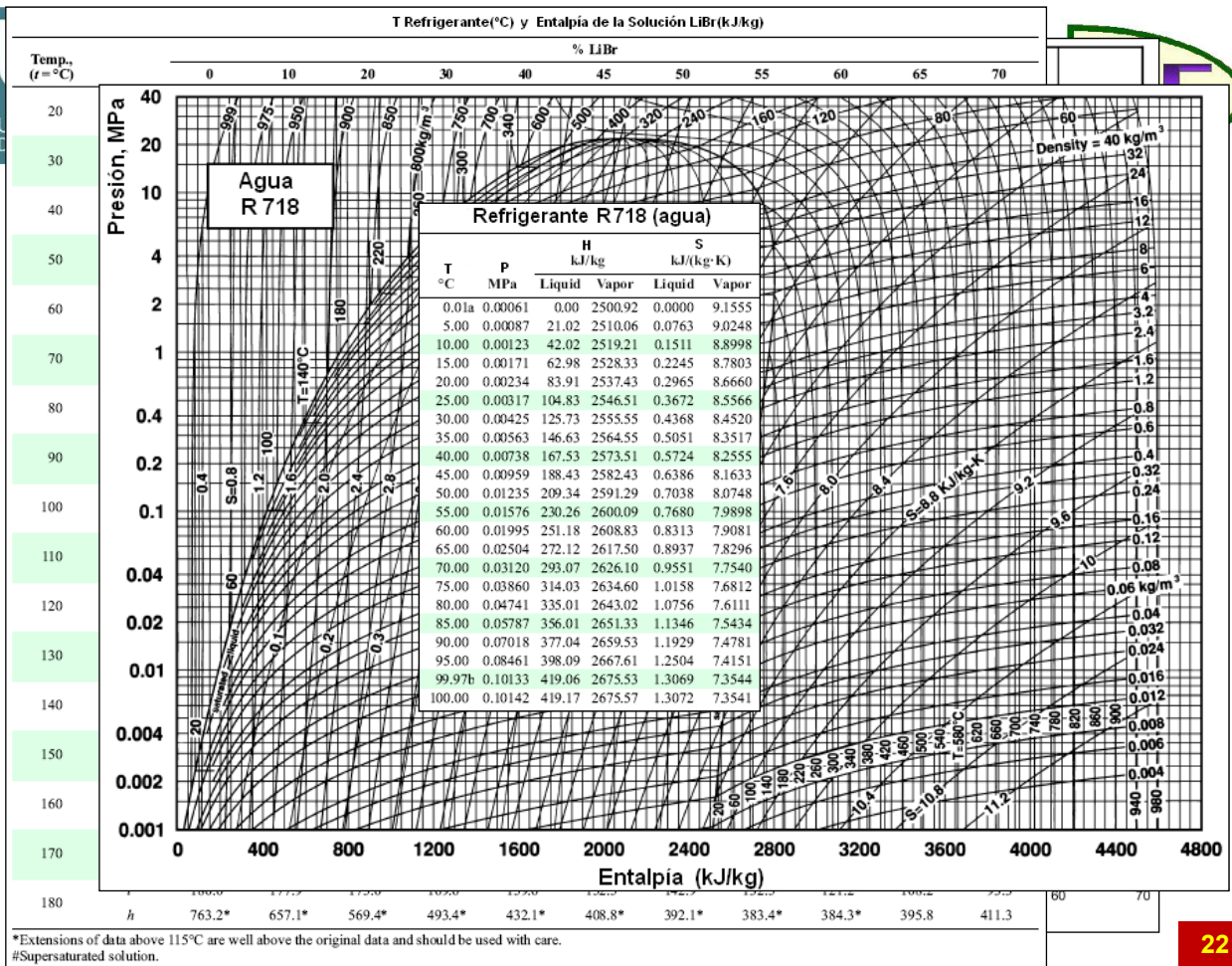
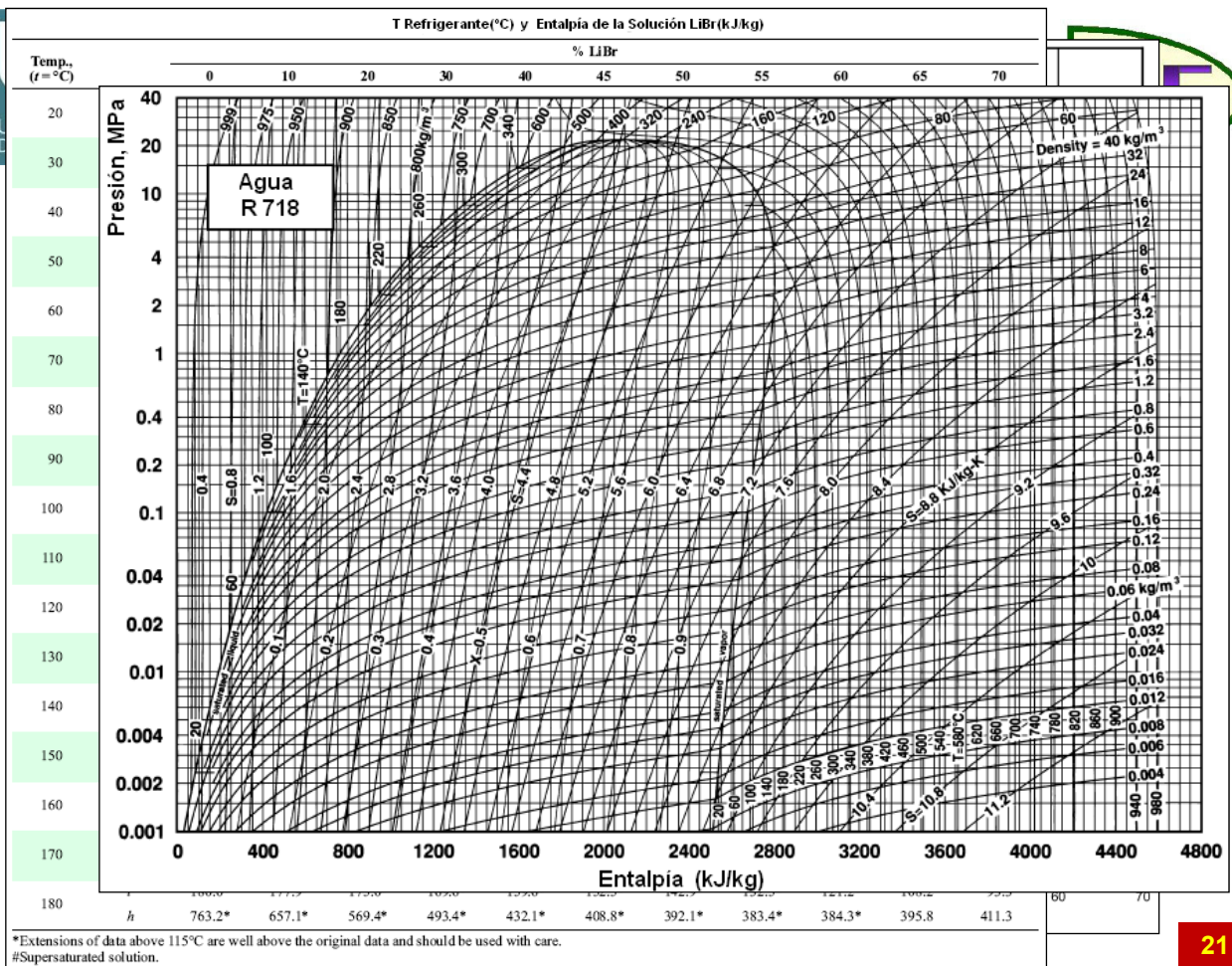
Temperatura de refrigerante, °C



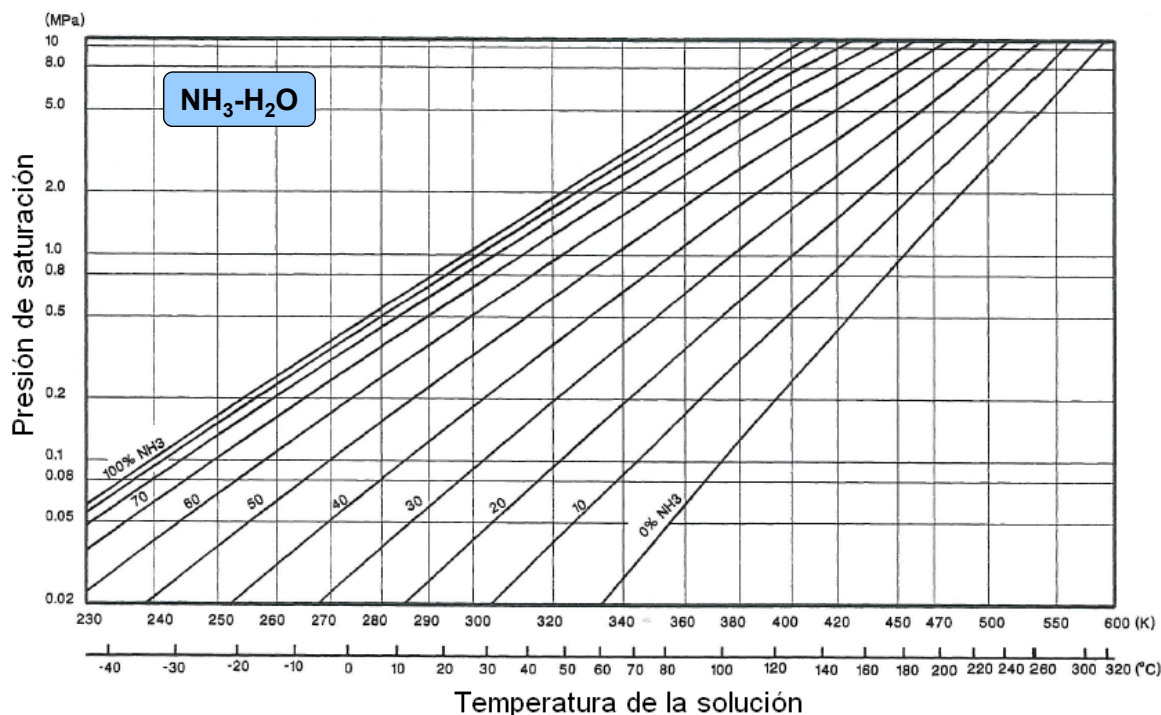
T Refrigerante(°C) y Entalpia de la Solución LiBr(kJ/kg)

Temp., (r = °C)	% LiBr											
	0	10	20	30	40	45	50	55	60	65	70	
20	r'	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	r'	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	r'	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	r'	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	r'	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	r'	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	r'	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	r'	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	r'	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	r'	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	r'	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	r'	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	r'	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	r'	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	r'	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	r'	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	r'	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.



1.- Refrigeración por Absorción (XI)



23

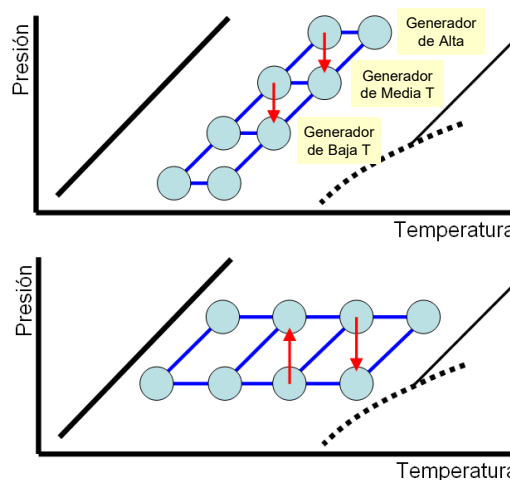
1.- Refrigeración por Absorción (XII)

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)

Triple Efecto



24

1.- Refrigeración por Absorción (XIII)

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 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

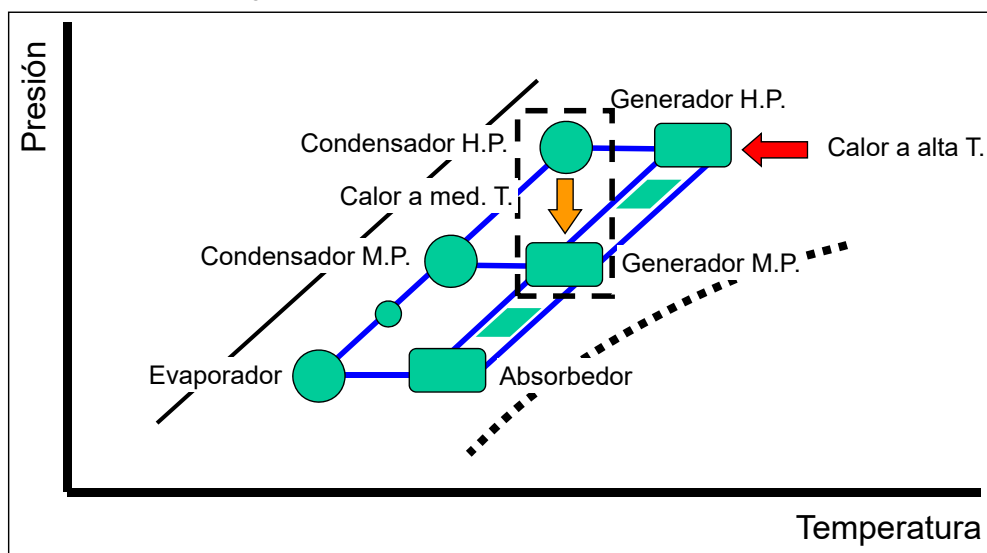
$$\frac{|Q_G|_{D.E.}}{|Q_G|_{S.E.}} = \frac{\frac{|Q_E|}{COP_{D.E.}}}{\frac{|Q_E|}{COP_{S.E.}}} = \frac{1,2}{0,7} = \frac{0,83}{1,43} \approx 60\%$$

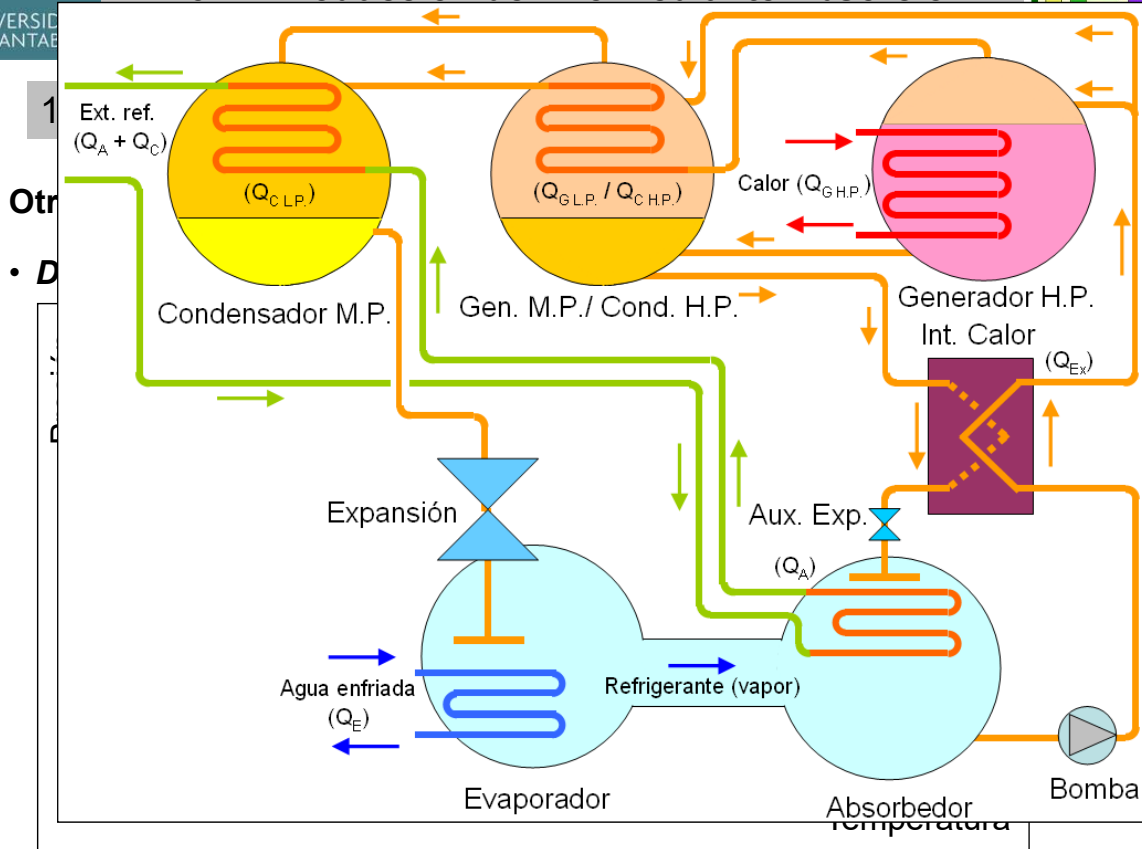
$$\frac{|Q_C| + |Q_A|_{D.E.}}{|Q_C| + |Q_A|_{S.E.}} = \frac{|Q_G| + |Q_E|_{D.E.}}{|Q_G| + |Q_E|_{S.E.}} = \frac{\frac{|Q_E|}{COP_{D.E.}} + |Q_E|}{\frac{|Q_E|}{COP_{S.E.}} + |Q_E|} = \frac{1,2}{0,7} = 75\%$$

1.- Refrigeración por Absorción (XIII)

Otros ciclos de absorción (II)

• **Double Effect Cycle**





1.- Refrigeración por Absorción (XIV)

Otros ciclos de absorción (III)

• **Half Effect Cycle:**

- Este ciclo aprovecha el calor a dos focos térmicos distintos (alta y media temperatura)
- Tiene 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

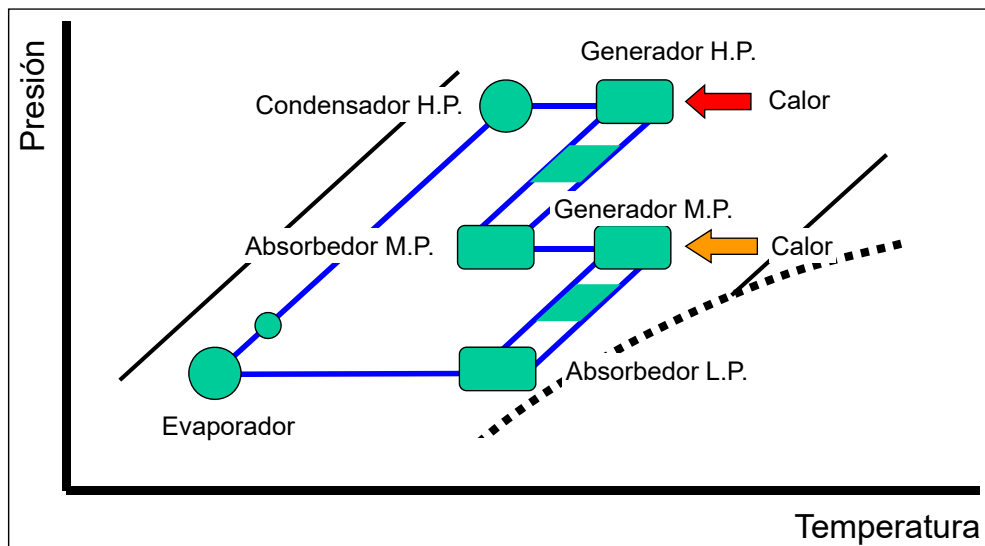
$$\frac{|Q_G|_{H.E.}}{|Q_G|_{S.E.}} = \frac{\frac{|Q_E|}{COP_{H.E.}}}{\frac{|Q_E|}{COP_{S.E.}}} = \frac{0,5}{0,7} = \frac{2}{1,43} = 140\%$$

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

1.- Refrigeración por Absorción (XIV)

Otros ciclos de absorción (III)

• *Half Effect Cycle:*



29

1.- Refrigeración por Absorción (XV)

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

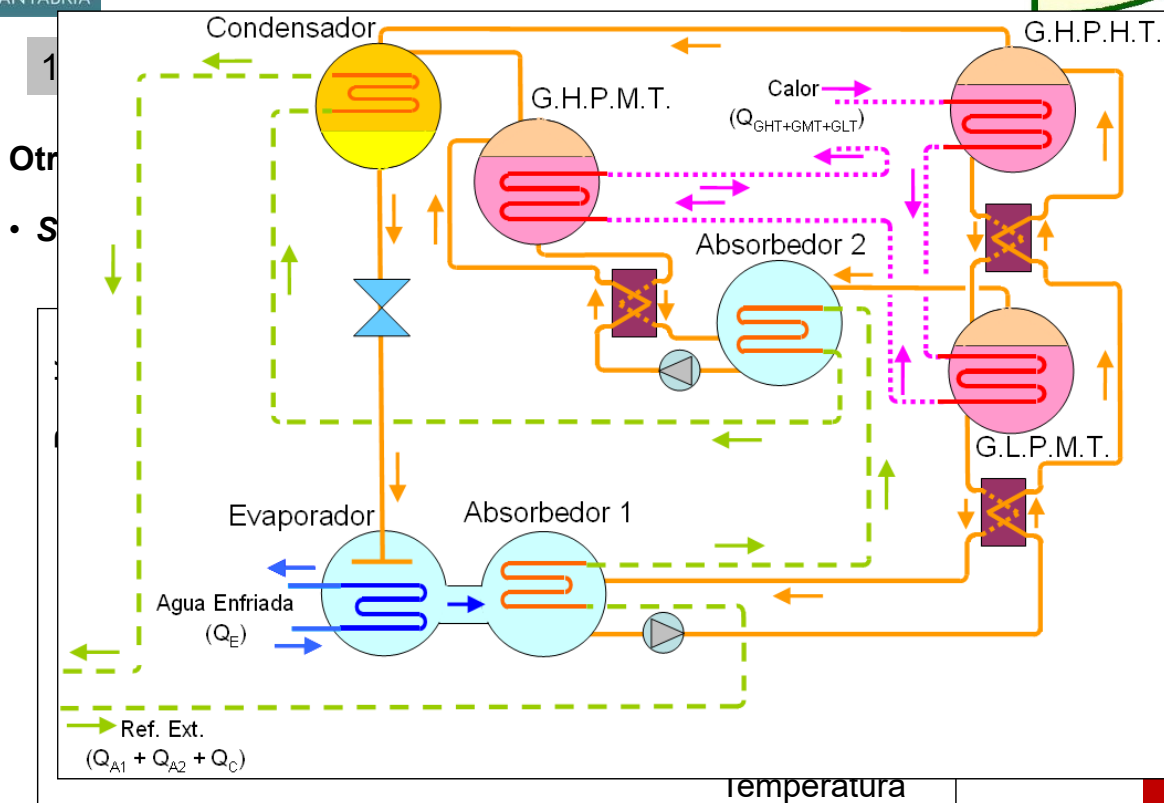
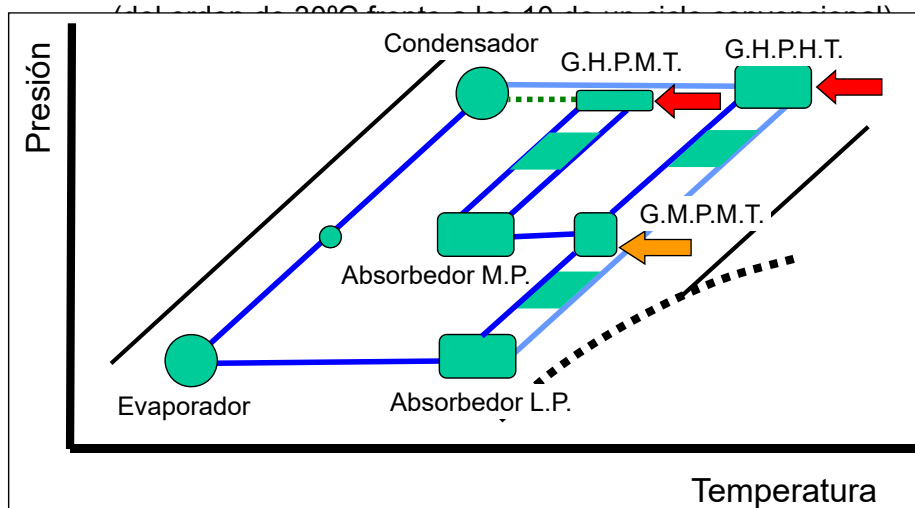
30

1.- Refrigeración por Absorción (XV)

Otros ciclos de absorción (IV)

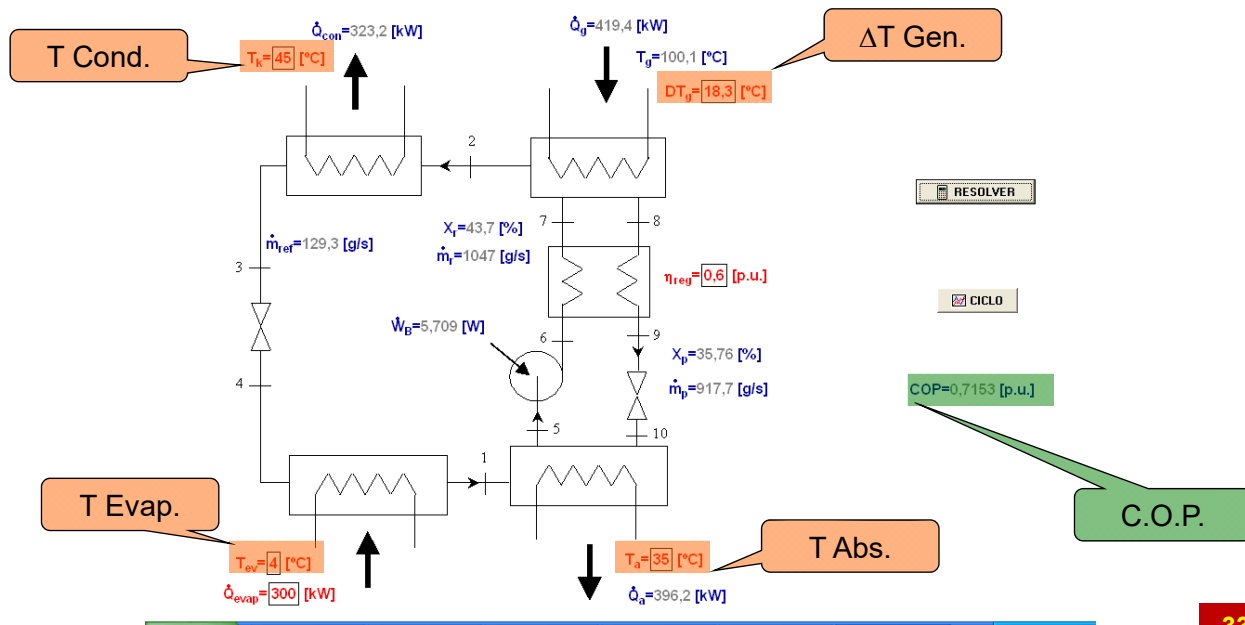
• **Single-effect/double-lift:**

➤ Busca conseguir gran enfriamiento en el agua de alimentación al generador



1.- Refrigeración por Absorción (XIV)

EES Distributable C:\Documents and Settings\renedoc.UNICAN\Mis documentos\MANUALES Y PROGRAMAS\Prog-Manuales\Absorción\H2O-LiBr.EXE ...



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