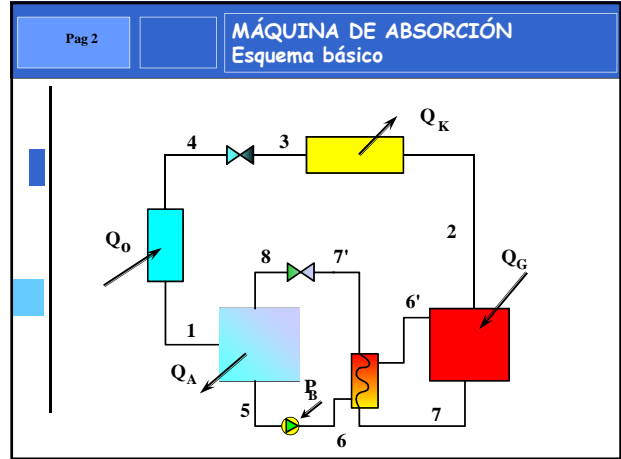


LAS MÁQUINAS DE ABSORCIÓN
FUNCIONAMIENTO COMO MAQUINA FRIGORÍFICA



Pag 3 **MÁQUINA DE ABSORCIÓN**
Transformaciones básicas

- ✓ La solución "rica" en refrigerante penetra en generador (pto."6"), en el que se calienta por adición de una potencia térmica, provocando con ello la separación de vapores de refrigerante, prácticamente puros en su salida (pto."2"), los cuales son condensados en un intercambiador por cesión de calor a un agente externo, con lo que se obtiene un caudal líquido de refrigerante a alta presión (pto."3").
- ✓ El paso a través de un expansor produce la laminación hasta la baja presión (y por tanto baja temperatura) y una vaporización parcial de este, con lo que a la salida del órgano de estrangulación (pto."4") coexisten las fases líquida y vapor. Es la fracción líquida la que se encuentra en condiciones de absorber calor (producción de frío) en el evaporador de la instalación, mediante su ebullición, con lo que a la salida de este intercambiador (pto."1") el estado es de vapor saturado o recalentado.

Pag 4 **MÁQUINA DE ABSORCIÓN**
Transformaciones básicas

- ✓ Si ahora analizamos el circuito por el que circula la mezcla refrigerante-absorbente, vemos que los vapores producidos en evaporador (pto."1") son aspirados hacia absorbedor, debido a la afinidad que por estos muestra una solución "pobre" en refrigerante, produciendo una mezcla rica en este componente (pto."5") a baja presión, por lo que para recuperar el refrigerante, esta solución debe ser comprimida hasta el nivel de alta presión, proceso que tiene lugar en la bomba de la solución (pto."6"). En estas condiciones se introduce en generador, en el que por adición de calor tiene lugar la separación; por un lado vapores de refrigerante (pto."2"), y por otro la solución líquida restante pobre en refrigerante (pto."7") que se lleva nuevamente al absorbedor para aprovechar su afección por los vapores de refrigerante puro, ahora bien, dado que esta solución pobre se encuentra a alta presión, debe expandirse (pto."8"), previamente a su entrada en absorbedor, para alcanzar la baja presión reinante en este equipo.

MÁQUINA DE ABSORCIÓN

Transformaciones básicas

✓En el esquema se observa la cesión de calor al exterior de una potencia térmica en el absorbedor, lo que se debe al proceso exotérmico que tiene lugar en la mezcla de vapores de refrigerante y solución pobre procedente de generador, tanto mayor cuanto mayor sea la desviación negativa que presente la solución respecto al comportamiento ideal establecido por la ley de Raoult.

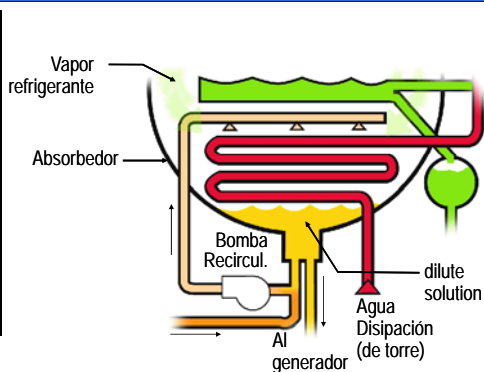
✓La eliminación de este calor se encomienda al agente externo encargado de la condensación de los vapores de refrigerante puro, ya sea previamente a su paso por este o de forma simultánea (disposición en paralelo), por lo tanto es razonable considerar que las temperaturas en absorbedor y condensador son similares, y en conclusión la máquina cede las potencias térmicas "QA" y "QK" a un medio a temperatura "TA»TK".

MÁQUINA DE ABSORCIÓN

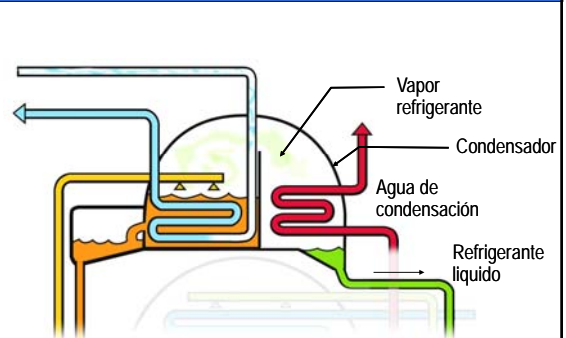
Transformaciones básicas

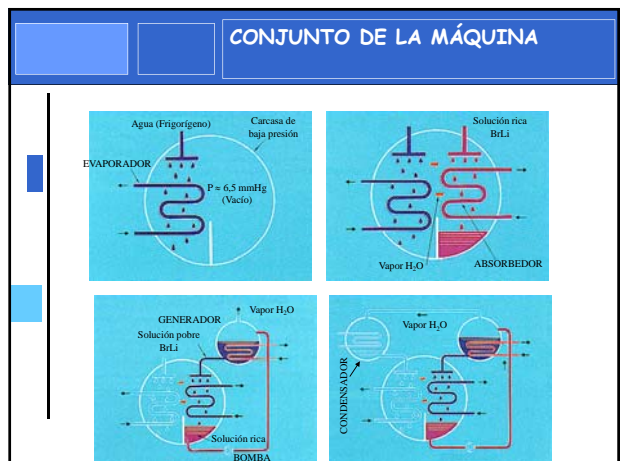
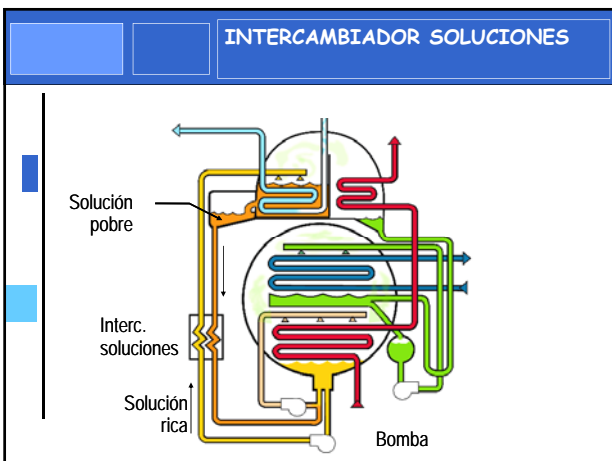
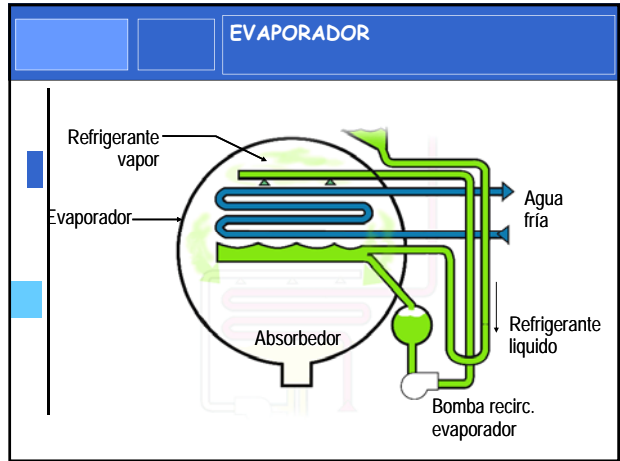
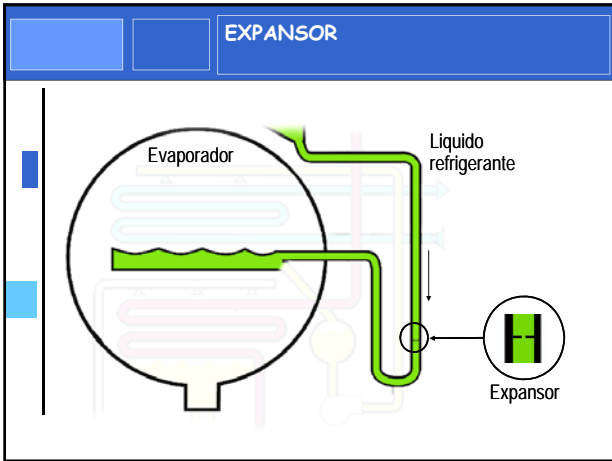
✓Una de las principales mejoras que pueden realizarse sobre el esquema propuesto, y que por su efecto benéfico ha pasado a constituir un elemento universalmente adoptado en estas máquinas, es la disposición de un intercambiador de calor entre las soluciones rica y pobre, cuyo objetivo es el precalentamiento de la solución rica antes de su entrada al generador mediante el enfriamiento de la solución pobre procedente de generador, de esta forma desciende la potencia necesaria a suministrar en generador, así como la que es necesario eliminar en absorbedor.

ABSORBEDOR

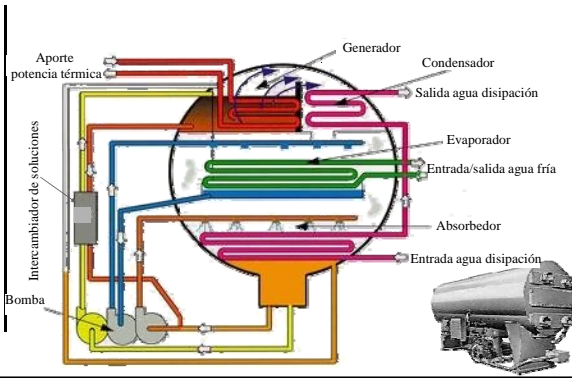


CONDENSADOR

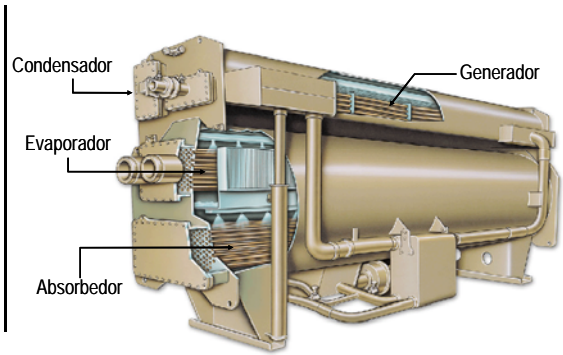




MAQUINA DE ABSORCION UNICARCASA



MAQUINA DE ABSORCION DOBLE CARCASA



VISTA MAQUINA DOS CARCASAS



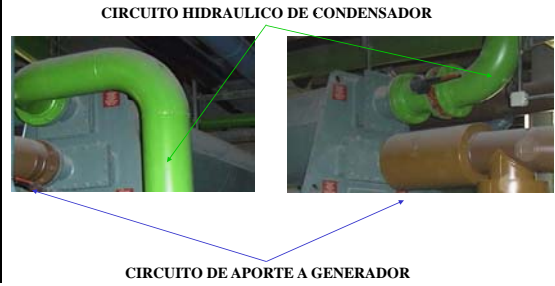
BOMBA DE LA SOLUCION



CONEXIONES EXTERNAS I

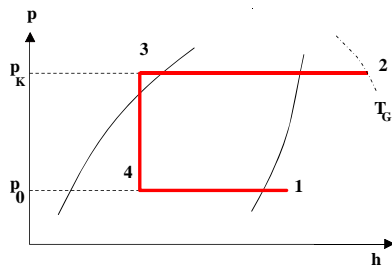


CONEXIONES EXTERNAS II



Pag 19

CICLOS ABSORCIÓN Evolución del fluido refrigerante



Pag 20

MEZCLAS FRIGORÍGENAS Definición de un estado

✓ Las canalizaciones que unen generador y absorbedor son recorridas por soluciones acuosas de bromuro de litio en fase líquida, la definición general de un estado en la mezcla precisa de tres variables según la ley de Gibbs; ya que los grados de libertad son:

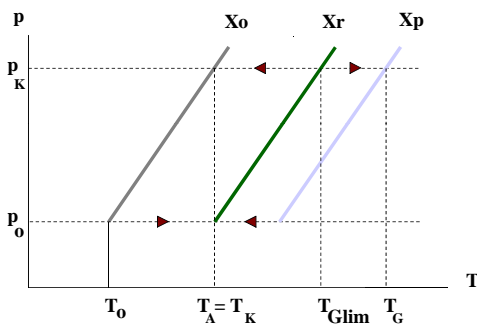
$$\phi = c - f + 2$$

- ✓ c = número de componentes (2)
- ✓ f = número de fases (1)

$$\phi = 3$$

es decir, son necesarias tres variables para definir el estado de la solución, las cuales se reducen a dos en caso de saturación. Con la condición de estado saturado puede encontrarse el título de la solución a partir de la pareja de valores (p,T).

DIAGRAMA DE OLD-HAM Evolución de la mezcla refrigerante



LA MÁQUINA FRIGORÍFICA Balances de materia

✓ Referido a la unidad de caudal circulante por el evaporador de la instalación, en régimen permanente, pueden establecerse los siguientes balances de materia:

▪ **Conservación de la masa total.**

$$\dot{m}_p + \dot{m}_r = \dot{m}_0$$

- \dot{m}_p = caudal másico de la solución pobre.
- \dot{m}_r = caudal másico de la solución rica.

▪ **Conservación de la masa de refrigerante**

$$\dot{m}_p x_p + \dot{m}_r x_r = \dot{m}_0 x_0$$

- x_p = título en refrigerante de la solución pobre.
- x_r = título en refrigerante de la solución rica.
- x_0 = título en refrigerante de los vapores procedentes de evaporador ≈ 1 .

LA MÁQUINA FRIGORÍFICA Cálculo de caudales

✓ De ambos balances pueden deducirse los caudales de las soluciones rica y pobre:

$$\dot{m}_p = \frac{1 - x_r}{x_r - x_p}$$

$$\dot{m}_r = \frac{1 - x_p}{x_r - x_p}$$

LA MÁQUINA FRIGORÍFICA Balances de energía.

✓ Por unidad de caudal circulante por evaporador, la aplicación del primer principio aplicado al sistema abierto, que constituye cada uno de los equipos, suministra las siguientes expresiones:

✓ **CONDENSADOR**

$$Q_k = \dot{h}_1 - \dot{h}_2$$

✓ **EVAPADOR**

$$Q_e = \dot{h}_3 - \dot{h}_4$$

LA MÁQUINA FRIGORÍFICA

Balances de energía.

✓ ABSORBEDOR

$$Q_A = h_1 + m_p h_8 - m_r h_5 = h_1 + \frac{1-x_r}{x_r-x_p} h_8 - \frac{1-x_p}{x_r-x_p} h_5$$

ó bien, dado que $1 + m_p = m_r$

$$Q_A = h_1 + m_p h_8 - (1 + m_p) h_5 = (h_1 - h_5) + m_p (h_8 - h_5)$$

con esta última estructura se ponen de manifiesto cuales son los factores que determinan la necesidad de eliminar calor en absorbedor, por un lado el término $(h_1 - h_5)$ representa aproximadamente la condensación de los vapores de refrigerante, mientras que el segundo término toma en consideración fundamentalmente el calor sensible a eliminar en la solución pobre, en ambos razonamientos se ha despreciado la contribución del calor de dilución

LA MÁQUINA FRIGORÍFICA

Balances de energía.

✓ GENERADOR

$$Q_G = h_2 + m_p h_7 - m_r h_6' = h_2 + \frac{1-x_r}{x_r-x_p} h_7 - \frac{1-x_p}{x_r-x_p} h_6'$$

ó bien

$$Q_G = h_2 + m_p h_7 - (1 + m_p) h_6' = (h_2 - h_6') + m_p (h_7 - h_6')$$

como en absorbedor, sin tomar en consideración el calor de dilución, podemos decir que el primer término representa el calor a suministrar en generador para producir la evaporación del refrigerante, mientras que el segundo es prácticamente el calor sensible de suministro a la solución pobre, este último tanto menor cuanto mas perfecto sea el comportamiento del intercambiador entre soluciones ($T_6' \rightarrow T_7$).

LA MÁQUINA FRIGORÍFICA

Balances de energía.

✓ BOMBA DE LA SOLUCIÓN RICA

$$P_B = m_r (h_6 - h_5) = \frac{m_r (P_K - P_0) v_5}{R_B}$$

Con respecto a la potencia necesaria en la bomba de la solución, en cuya expresión " v_5 " es el volumen específico de la solución rica en su aspiración y " R_B " su rendimiento, es fácilmente demostrable que su cuantía es ridícula frente al resto de los aportes energéticos, por lo que puede ser despreciada en el cálculo de la eficiencia.

LA MÁQUINA FRIGORÍFICA

Eficiencia energética COP

✓ En base a las anteriores expresiones, y dado que la eficacia queda definida como la relación entre la potencia útil y la necesaria para su obtención, se tendrá:

$$COP = \frac{Q_0}{Q_G + P_B} \approx \frac{Q_0}{Q_G} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_6' + m_p (h_7 - h_6')}$$

✓ De la expresión obtenida, podemos concluir que el COP del sistema será tanto mayor cuanto mas perfecto sea el funcionamiento del intercambiador entre soluciones, ya que si este fuese ideal, se produciría igualdad entre las entalpías de los estados "7" y "6'", y en consecuencia:

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_6'}$$

LA MÁQUINA FRIGORÍFICA
Incidencia del intercambiador

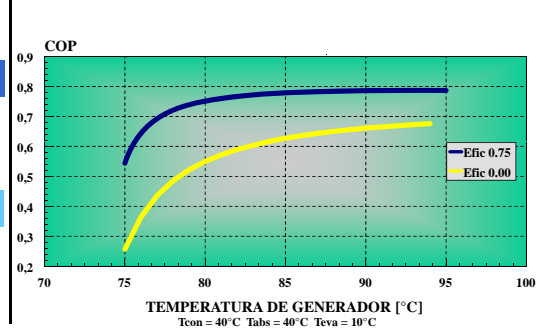
✓ En el intercambiador de recuperación es necesario hacer notar el desequilibrio existente entre los caudales másicos puestos en circulación, menor en el caso de la solución pobre que en la rica. Como no existe gran diferencia entre los calores específicos de ambas soluciones, se tendrá, considerando pérdidas despreciables al entorno:

$$1 < \frac{m_r}{m_p} \approx \frac{T_7 - T_7'}{T_6' - T_6} \rightarrow T_6' - T_6 < T_7 - T_7'$$

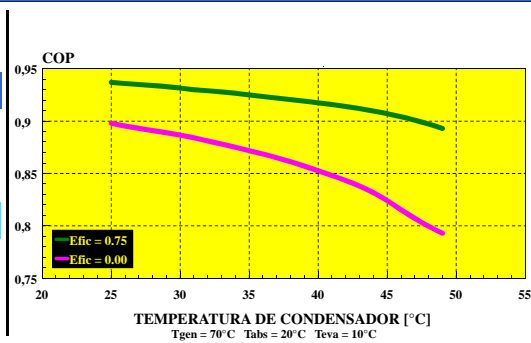
✓ El comportamiento de un intercambiador real se puede definir a través del salto de temperaturas, ó a través del concepto de eficiencia de intercambio, este último caso es el que vamos a utilizar, quedando expresada como:

$$E = \frac{q}{q_{m,x}} = \frac{m_p c_p (T_7 - T_7')}{(m_c)_{\min} (T_7 - T_6)} = \frac{h_7 - h_7'}{h_7 - h_6}$$

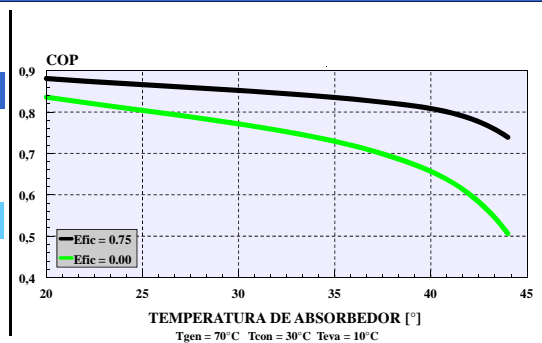
MÁQUINA FRIGORÍFICA
Temperatura en Generador



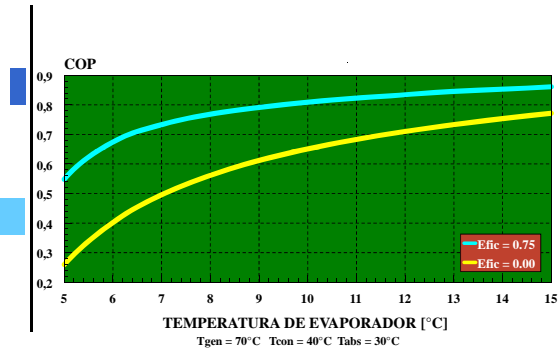
MÁQUINA FRIGORÍFICA
Temperatura en Condensador



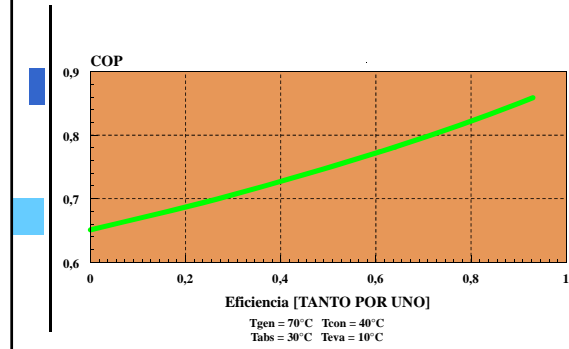
MÁQUINA FRIGORÍFICA
Temperatura en Absorbedor



MÁQUINA FRIGORÍFICA Temperatura en Evaporador



MÁQUINA FRIGORÍFICA Eficiencia del Intercambiador



IMPERFECCIONES EN EL FUNCIONAMIENTO REAL

✓Las principales causas que producen desviaciones entre los resultados reales y los obtenidos a partir de los cálculos teóricos, tanto para máquina frigorífica como para bomba de calor, son:

- ✓Cristalización.
- ✓Pérdidas de carga.
- ✓Efecto de la presión hidrostática.
- ✓Alejamiento de las condiciones de equilibrio.

IMPERFECCIONES Cristalización

✓Bajo este término denominamos el proceso de abandono, por parte de la sal, de la solución acuosa, que si se produce de forma continua origina la obturación de las canalizaciones y la consiguiente puesta fuera de servicio de la máquina.

✓Este fenómeno se produce en las soluciones acuosas como es el caso del bromuro de litio en agua, de tal manera que para cada concentración existe una temperatura por debajo de la cual se detecta la precipitación de la sal. Una correlación, basada en datos experimentales, entre temperatura de cristalización y concentración en bromuro de litio es la siguiente:

$$T [K] = -24482,825 + 119660,035 x - 193206,97 x^2 + 104338,263 x^3$$

siendo ahora "x" el título en bromuro de litio de la solución expresado en tanto por uno.

IMPERFECCIONES

Causas de la cristalización

- ✓ En máquinas de absorción, trabajando con el par bromuro de litio- agua, la cristalización tiene lugar principalmente en la solución pobre a la salida del intercambiador, generada bien por un enfriamiento acusado, bien por una alta concentración en absorbente (BRL), siendo preciso en todo caso un calentamiento para conseguir el paso hacia solución líquida.
- ✓ Las causas principales que producen cristalización en la solución pobre son:
 - ✓ Bajas temperaturas del medio externo que enfría el absorbedor, en cuyo caso la solución rica en refrigerante abandona este equipo con baja temperatura y es capaz de enfriar fuertemente a la solución pobre, a su paso por el intercambiador, pudiendo desencadenar con ello la cristalización.
 - ✓ Altas temperaturas o fuertes suministros caloríficos en generador, en ambos casos se produce una solución muy concentrada en bromuro que a su paso por el intercambiador corre peligro de cristalizar. Este proceso puede deberse a la entrada de aire, recordemos que se trabaja en vacío, por lo que las presiones aumentan ante la presencia de este incondensable, dando como resultado un descenso de la potencia frigorífica y un incremento de la potencia suministrada por generador para aumentar aquella.

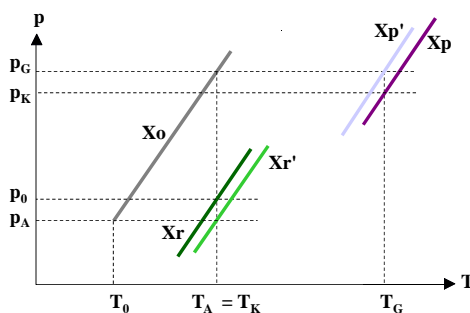
IMPERFECCIONES

Pérdidas de carga

- ✓ Las canalizaciones que interconectan por un lado evaporador y absorbedor, y por otro generador con condensador, introducen pérdidas de carga, cuyo resultado es la desigualdad de presiones entre estas parejas de equipos, de tal manera que:
 - ✓ p_0 (evap.) > p_A (absorb.)
 - ✓ p_G (gener.) > p_K (condens.)
- ✓ Si la presión de absorbedor es inferior a la de evaporador, el título en refrigerante de la solución rica en equilibrio con la temperatura en absorbedor descende, haciéndolo también la capacidad de absorción de vapores para un mismo caudal másico.
- ✓ Por su parte, la mayor presión en generador, respecto a la de condensador, trae como consecuencia, para una temperatura fija en generador, un mayor título en refrigerante para la solución pobre y, con esto una menor posibilidad de absorción de vapores cuando ésta alcance el absorbedor.

IMPERFECCIONES

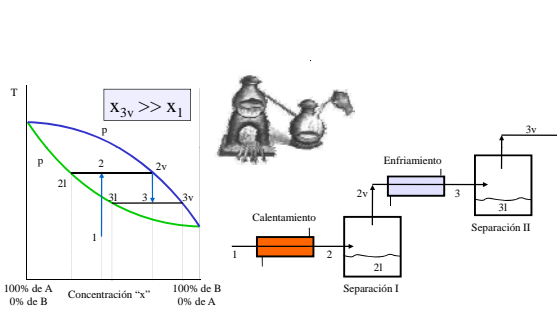
Efecto de las pérdidas de carga



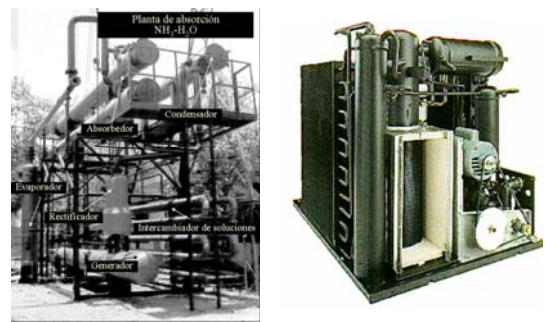
OTRAS IMPERFECCIONES

- ✓ **PRESIÓN HIDROSTÁTICA.**
 - ✓ En el generador, durante el proceso de separación de refrigerante, se decanta la solución pobre en la parte inferior del equipo, y como consecuencia de la altura de líquido, la presión de salida de la solución líquida es mayor que la considerada teóricamente, siendo su efecto similar al de una mayor concentración en refrigerante y por tanto una menor capacidad de absorción de vapores de refrigerante. En la máquina realmente no ocurre este incremento de concentración sino que se mantiene la misma concentración pero alejada de las condiciones de saturación, por lo que a efectos de cálculo la variación en la concentración produce el mismo efecto.
- ✓ **ALEJAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE EQUILIBRIO.**
 - ✓ La perfecta transferencia de calor y masa que debería producirse en el absorbedor para conseguir unas condiciones de equilibrio en las soluciones finales, no puede alcanzarse en los equipos reales que trabajan en la máquina, por lo que los títulos de las soluciones no alcanzan los valores teóricos deducidos de un diagrama de Old-Ham. Este efecto de saturación incompleta a la salida del absorbedor puede ser contabilizado como un incremento de la concentración en bromuro de litio.

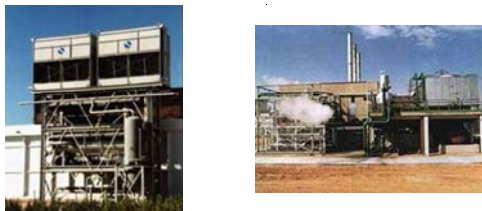
MAQUINAS DE AMONIACO-AGUA
Rectificador



MAQUINAS DE AMONIACO-AGUA



MAQUINAS DE AMONIACO-AGUA



Pag 44

MAQUINAS DE ABSORCION

