	FICHA DE RED N° 5.07 EL EVAPORADOR	Área Empresarial Andalucía C.L.A. Ctra. Andalucía, km. 16.5 – Sector 7-8 28906 Getafe Madrid
---	---	---

Definición

El evaporador se encuentra localizado en el conjunto de distribución de trampillas, después del impulsor y antes del radiador de calefacción. El evaporador del circuito frigorífico es un intercambiador térmico que tiene por función enfriar y deshumidificar el aire que lo atraviesa. Para ello absorbe calor del aire, produciéndose dos fenómenos físicos:

- el aire se enfría y el vapor de agua presente en este aire se condensa en las aletas del evaporador
- el fluido se evapora y se recalienta.

Función

El evaporador desempeña la función de enfriar el aire puesto en movimiento por el impulsor (ventilador centrífugo situado en el conjunto de distribución de trampillas) y enviado hacia el habitáculo del vehículo.

En ciertas condiciones de utilización del circuito frigorífico, debe permitir deshumidificar ese flujo de aire, con el fin de evitar el empañado de las superficies acristaladas del vehículo. Sin embargo, el nivel de deshumidificación no es controlable ya que depende directamente de la temperatura a la que se va a enfriar dicho aire; la deshumidificación del aire no se produce a menos que su temperatura sea inferior a la temperatura de rocío correspondiente al aire.

Funcionamiento

Balance energético del aire

El aire caliente y húmedo, puesto en movimiento por el impulsor, se enfría y generalmente se deshumidifica en contacto con las aletas frías del intercambiador.

La potencia cedida por el aire o potencia frigorífica del circuito, P_{frigo} , se puede descomponer en una potencia de refrigeración y una potencia de condensación:

$$P_{\text{frigo}} = Q_a \times C_p \times (T_i - T_f) + Q_a \times (H_{a_i} - H_{a_f}) \times L$$

- donde
- Q_a : caudal másico del aire que atraviesa el evaporador, en kg/s
 - C_p : calor específico del aire, en J/kg.°C
 - T_i : temperatura del aire a la entrada del haz de tubos del intercambiador, en °C
 - T_f : temperatura del aire a la salida del haz de tubos del intercambiador, en °C
 - H_{a_i} : humedad absoluta del aire a la entrada del intercambiador, en kg de agua por kg de aire seco,
 - H_{a_f} : humedad absoluta del aire a la salida del intercambiador, en kg de agua por kg de aire seco,
 - L : calor latente de evaporación del agua, en J/kg

Esta fórmula solamente es válida si existe condensación en las aletas del evaporador, y en ese caso $H_{a_i} > H_{a_f}$. Esto se cumple si el aire es enfriado hasta una temperatura inferior a la temperatura de rocío correspondiente al aire aspirado.

El diagrama psicométrico del aire húmedo permite apreciar la cantidad de agua depositada sobre las paredes del intercambiador.

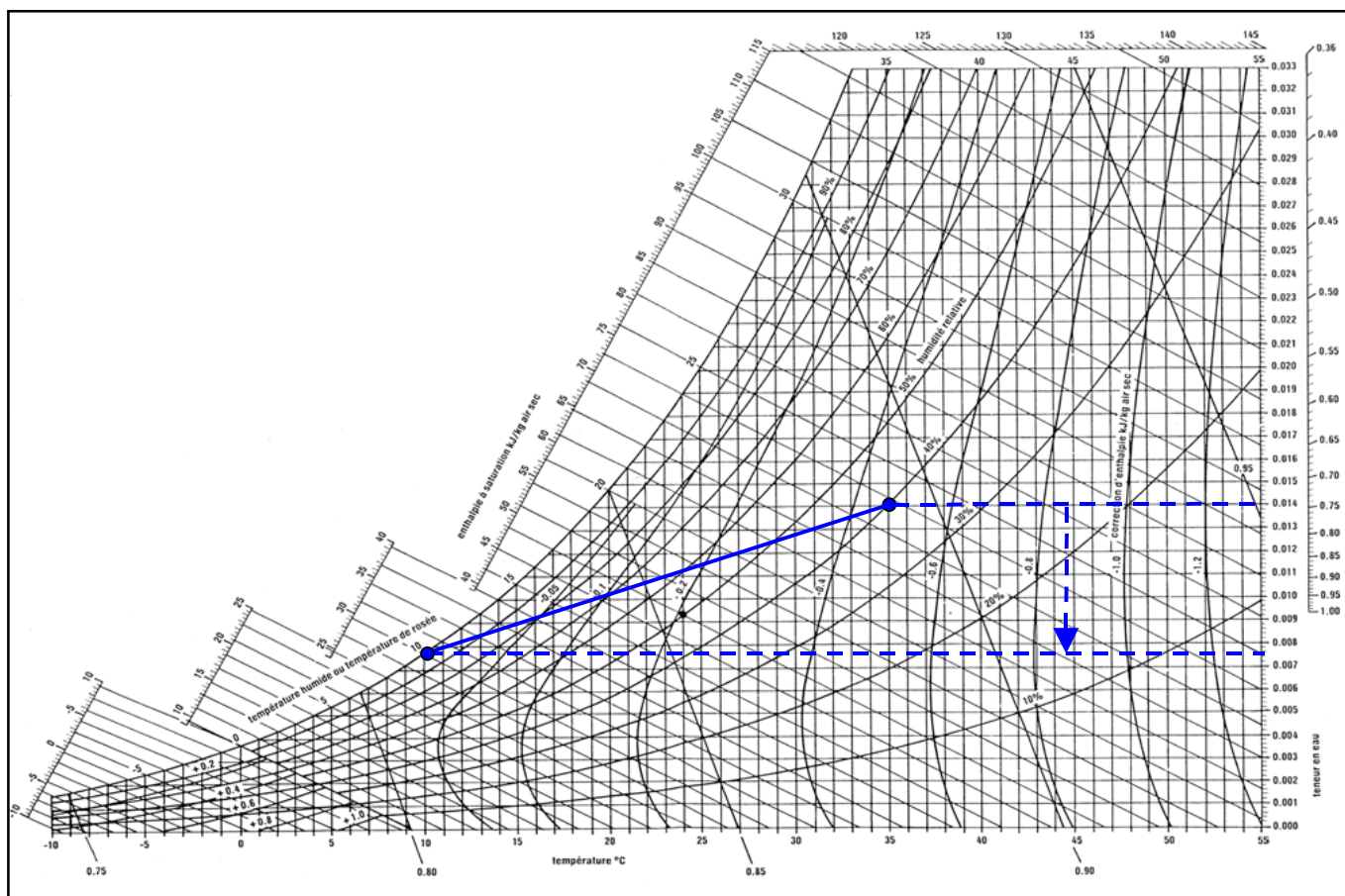
Capítulo N°	5	FICHAS DE PRODUCTO	
Ficha N°	5.07	El evaporador	
Versión	1	Fecha de creación 30/03/01 12:40	Página 1 de 10

En el ejemplo adjunto, se considera el caso siguiente:

$$\begin{array}{ll} T_i = 35^{\circ}\text{C} & \text{y} & T_f = 10^{\circ}\text{C} \\ \text{HR}_i = 40\% & & \text{HR}_f = 100\% \\ \Rightarrow \text{Ha}_i \cong 0.0141 \text{ kg/kg} & & \Rightarrow \text{Ha}_f \cong 0.0078 \text{ kg/kg} \end{array}$$

tomando como hipótesis que el aire sale del evaporador saturado (HR = 100%). Con un caudal de aire impulsado de 500 kg/h, la producción de agua sobre las aletas del evaporador es igual a:

$$Q_{\text{condensados}} = Q_a \times (\text{Ha}_i - \text{Ha}_f) = 3.15 \text{ kg/h}$$



Capítulo N°	5	FICHAS DE PRODUCTO	
Ficha N°	5.07	El evaporador	
Versión	1	Fecha de creación 30/03/01 12:40	Página 2 de 10

Si no hay condensación, es decir si el aire se lleva a una temperatura superior a la temperatura de rocío, la potencia calorífica cedida por el aire al refrigerante se limita a la potencia de refrigeración, es decir:

$$P_{\text{frigo}} = Q_a \times C_p \times (T_i - T_f)$$

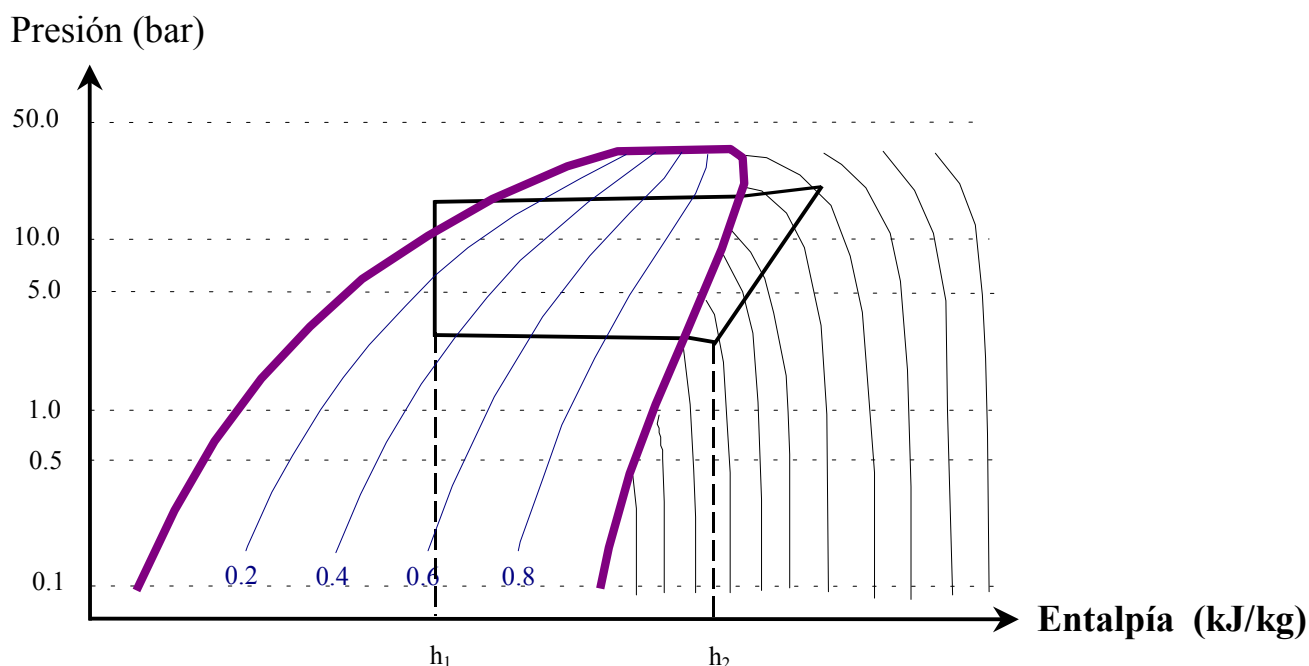
Observación. Es muy difícil estimar las prestaciones de un ciclo frigorífico conociendo únicamente las temperaturas antes y después del evaporador. La humedad del aire aspirado tiene una gran importancia ya que puede limitar de una manera importante la potencia frigorífica del evaporador: cuanto más húmedo esté el aire aspirado, mayor será la condensación sobre las aletas, y menos se enfriará el aire.

Balance energético del fluido

En el evaporador, el fluido absorbe del aire la siguiente potencia:

$$P_{\text{frigo}} = Q_f \times (h_2 - h_1) \quad \text{en W}$$

donde Q_f : caudal másico de fluido, en kg/s
 h_1 : entalpía específica del fluido a la entrada del evaporador, en J/kg
 h_2 : entalpía específica del fluido a la salida del evaporador, en J/kg



Al absorber el calor del aire, el fluido sufre las siguientes transformaciones:

- 1 → 1' : el fluido, en estado difásico (líquido/gas) a la salida de la válvula de expansión, termina de evaporarse a temperatura constante T_{ev} , que es la temperatura de evaporación a la presión de baja del circuito,
 1' → 2 : el fluido en estado vapor es recalentado de T_{ev} a T_2 .

Capítulo N°	5	FICHAS DE PRODUCTO	
Ficha N°	5.07	El evaporador	
Versión	1	Fecha de creación 30/03/01 12:40	Página 3 de 10

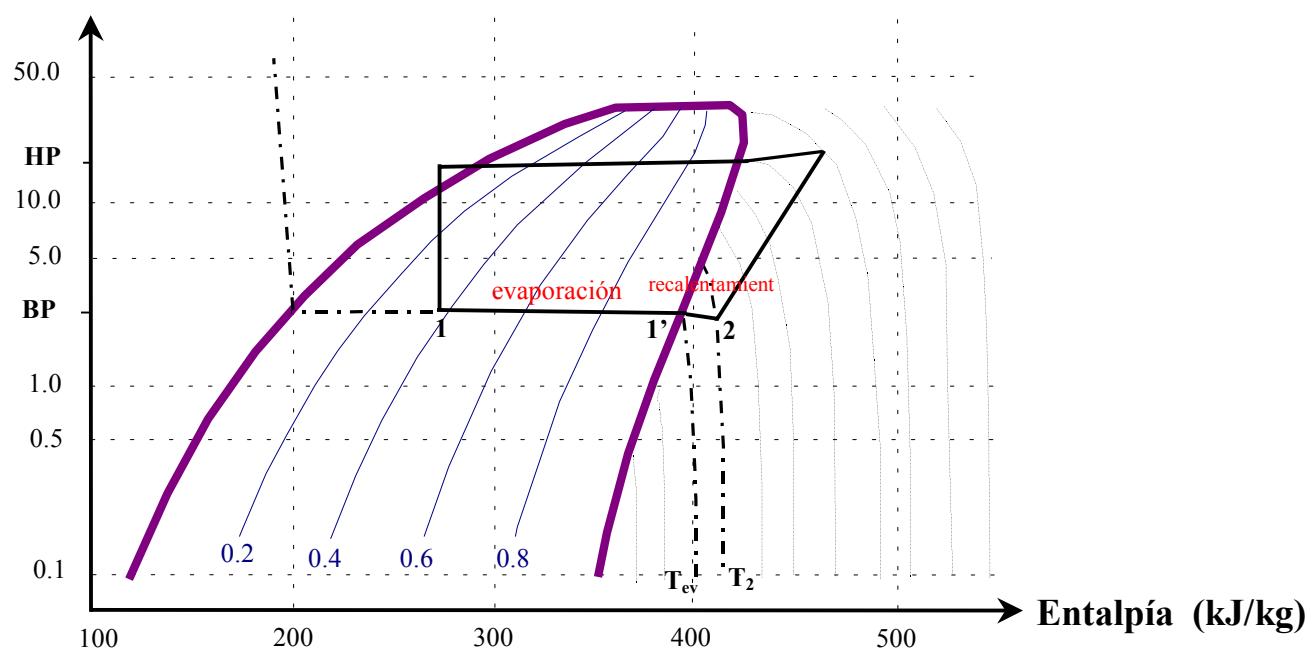
El calor cedido por el aire al fluido se descompone en:

- por un lado, calor latente de cambio de estado (evaporación del fluido),
- por otro, calor sensible, cuando la temperatura del fluido varía (calentamiento del fluido de T_{ev} a T_2),

El fluido penetra en estado difásico al evaporador, y sale de este en estado vapor.

Observación. Se desprecian en este caso las pérdidas de presión del circuito, y en particular las pérdidas producidas en el evaporador y en las canalizaciones. Se considera por lo tanto que los intercambios térmicos en el evaporador se producen a presión constante, a la presión de baja del circuito.

Presión (bar)



Se define el recalentamiento RC como la diferencia entre la temperatura a la que sale el fluido del evaporador y la temperatura de evaporación:

$$RC = (T_2 - T_{ev})$$

Se debe garantizar un recalentamiento superior a dos grados para asegurar que la totalidad del fluido va a entrar en estado vapor al compresor, y proteger dicho componente.

Características de los intercambios térmicos

Los intercambios térmicos entre el aire y el fluido se realizan principalmente por:

- *conducción térmica*, el calor se propaga por proximidad a través de los diferentes materiales, desde las zonas mas calientes a las mas frías del evaporador,

Capítulo N°	5	FICHAS DE PRODUCTO	
Ficha N°	5.07	El evaporador	
Versión	1	Fecha de creación 30/03/01 12:40	Página 4 de 10

- *convección térmica*, entre el aire y la superficie externa del evaporador por un lado, y entre el fluido y la superficie interna del evaporador por otro.

La potencia calorífica transmitida al fluido por el aire P_{frigo} puede expresarse de la siguiente forma:

$$P_{\text{frigo}} = h_{\text{evap}} \times S \times (T_i - T_{\text{ev}}) \text{ en W}$$

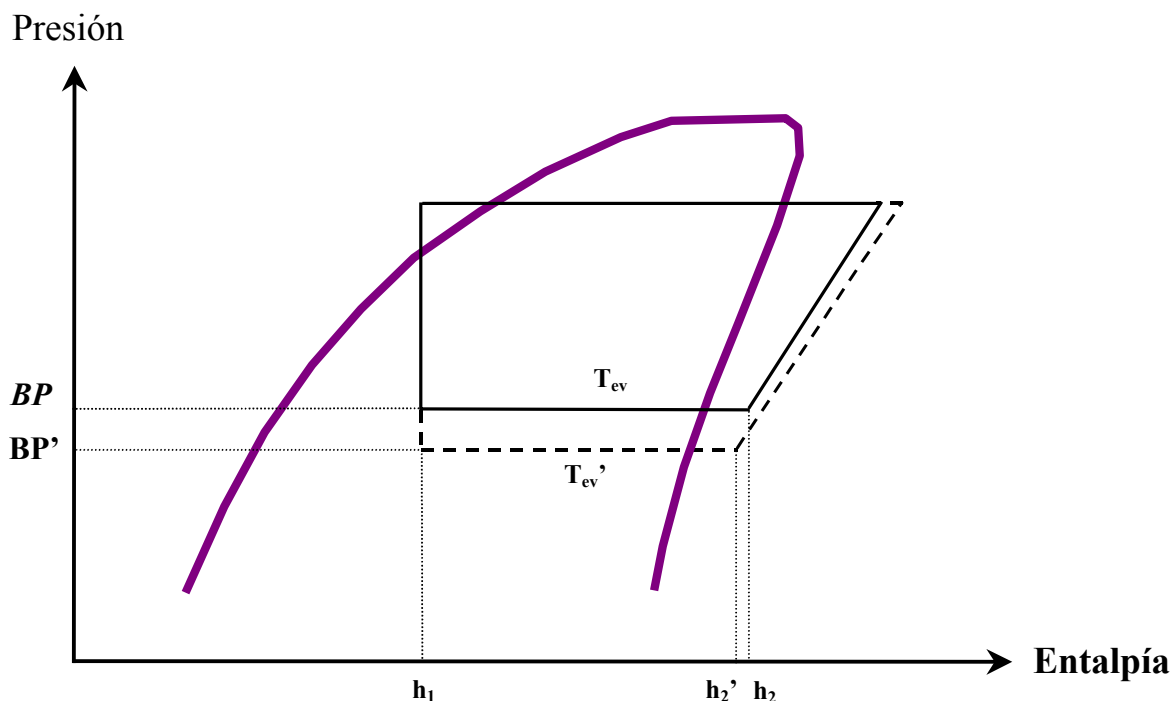
en donde h_{evap} es un coeficiente global de intercambio del evaporador, relativo a la superficie externa S del componente, expresada en $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Este coeficiente tiene en cuenta el conjunto de los modos de transmisión del calor, y representa la eficacia del intercambio térmico.

Este coeficiente depende no solamente del tipo de evaporador, y en particular del tipo de haz de tubos (serpentín, tubos y aletas, de placas), sino también de las condiciones de funcionamiento del circuito.

Se puede observar que a medida que h_{evap} disminuye, se necesita un valor superior de la resta $(T_i - T_{\text{ev}})$, y por lo tanto, se necesita un valor menor de la temperatura de evaporación T_{ev} y por lo tanto un valor menor de la presión de baja.


La sustitución de un evaporador por otro de menor eficacia representa una variación de la presión de baja del circuito, e implica unas menores prestaciones del circuito, así como un corte cíclico del compresor ocasionado por la sonda del evaporador, que mide una temperatura inferior en las aletas del evaporador.

Se puede observar en el diagrama siguiente como varía el ciclo de funcionamiento del circuito frigorífico cuando se sustituye el evaporador por otro de menor eficacia:



Se parte de la hipótesis de que los ciclos de funcionamiento difieren principalmente en la temperatura de evaporación, y que el recalentamiento y el subenfriamiento permanecen prácticamente constantes.

Capítulo Nº	5	FICHAS DE PRODUCTO	
Ficha Nº	5.07	El evaporador	
Versión	1	Fecha de creación 30/03/01 12:40	Página 5 de 10

	FICHA DE RED N° 5.07 EL EVAPORADOR	Área Empresarial Andalucía C.L.A. Ctra. Andalucía, km. 16.5 – Sector 7-8 28906 Getafe Madrid
---	---	---

El resultado de esta variación en el circuito es:

- una disminución importante del caudal másico debida a:
 - una disminución del rendimiento volumétrico del compresor (debida al aumento de la relación de compresión),
 - un aumento del volumen específico del fluido a la entrada del compresor,
- una reducción de la diferencia de entalpía ($h_2 - h_1$),
- una disminución del rendimiento efectivo del compresor (debida al aumento de la relación de compresión),

lo que conlleva una reducción de la potencia frigorífica y una disminución del rendimiento del circuito.

Capítulo N°	5	FICHAS DE PRODUCTO	
Ficha N°	5.07	El evaporador	
Versión	1	Fecha de creación 30/03/01 12:40	Página 6 de 10

Diferentes tecnologías.

Existen tres tecnologías de evaporadores actualmente en el mercado de la climatización del automóvil. El haz de tubos del evaporador puede ser de tipo:

- serpentín,
- tubos / aletas,
- de placas.

Evaporadores de serpentín

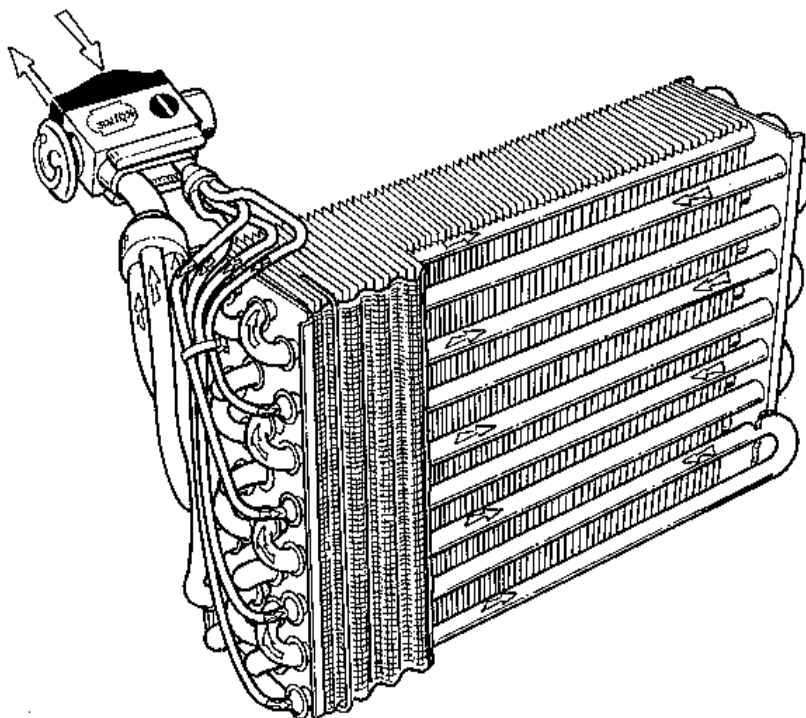
Están compuestos de un solo tubo plano extruido que contiene múltiples canalizaciones internas con el fin de hacer circular el fluido. El tubo plano tiene forma de serpentín, y entre sus meandros están intercaladas las aletas en forma de acordeón. El conjunto es soldado por calor.

Esta tecnología es utilizada por algunos constructores japoneses.

Evaporadores de tubos y aletas

Están constituidos por tubos cilíndricos en forma de horquilla, insertados paralelamente entre unas aletas, y expandidos mecánicamente para favorecer los intercambios térmicos entre los tubos y las aletas. Los tubos se unen entre ellos en cada extremo mediante unos codos, de manera que se subdivide el intercambiador en varias secciones paralelas, de longitud e intercambio térmico idénticos. Cada sección está alimentada por un capilar por dónde entra el fluido proveniente de un venturi que conecta dichos capilares con la válvula de expansión.

Esta tecnología es la más utilizada hasta la fecha por los constructores europeos.



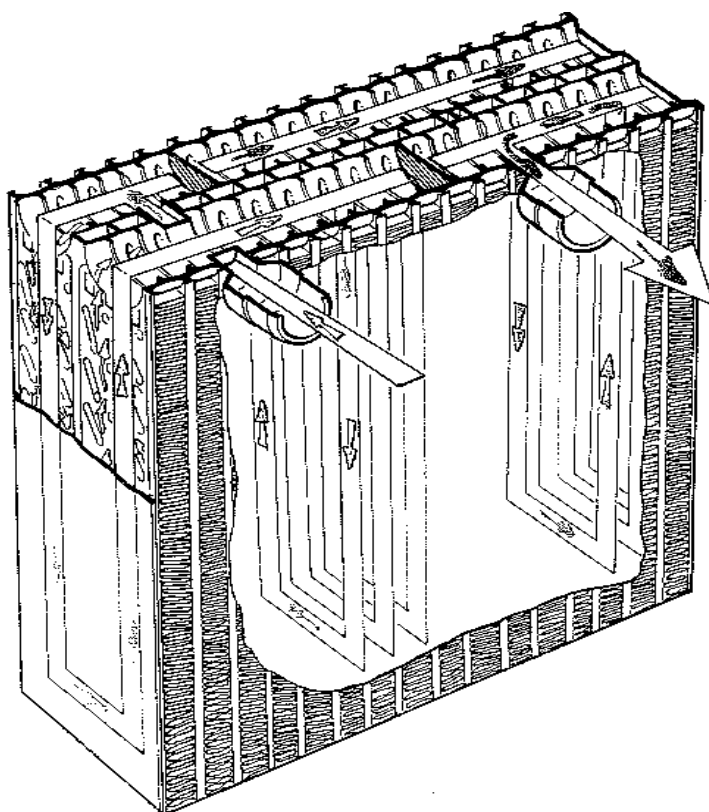
Capítulo N°	5	FICHAS DE PRODUCTO	
Ficha N°	5.07	El evaporador	
Versión	1	Fecha de creación 30/03/01 12:40	Página 7 de 10

Evaporadores de placas

Están sustituyendo progresivamente los evaporadores de tubos y aletas ya que resultan más económicos para grandes series.

El circuito está formado por placas colocadas unas sobre otras, en forma de cubetas. Entre dichos tubos planos se intercalan las aletas en forma de acordeón. El conjunto se galvaniza en un horno, al vacío o bajo una atmósfera neutra.


Esta tecnología es utilizada tradicionalmente por los constructores americanos.



Recomendaciones a los intervinientes

- No se debe sustituir un evaporador por un adaptable
- Se debe verificar que la superficie externa del evaporador esté exenta de suciedad y de corrosión
- Se debe verificar que la superficie externa del evaporador no se congele (sonda de evaporador defectuosa)

Capítulo N°	5	FICHAS DE PRODUCTO	
Ficha N°	5.07	El evaporador	
Versión	1	Fecha de creación 30/03/01 12:40	Página 8 de 10

	FICHA DE RED N° 5.07 EL EVAPORADOR	Área Empresarial Andalucía C.L.A. Ctra. Andalucía, km. 16.5 – Sector 7-8 28906 Getafe Madrid
---	---	---

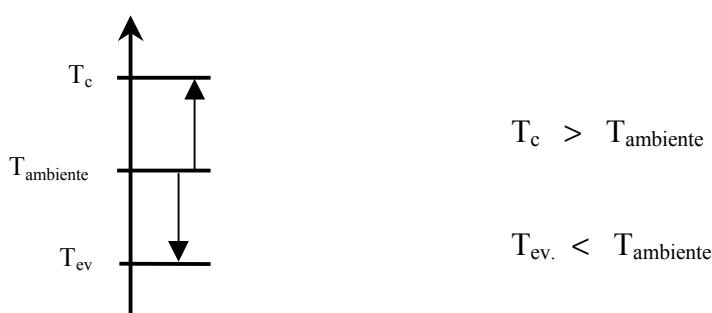
Repaso de los fundamentos

Funcionamiento del ciclo frigorífico

Para que el fluido:

- ceda su calor al aire en el condensador,
- y absorba el calor del aire en el evaporador,

es necesario que las temperaturas de condensación T_c y de evaporación T_{ev} del fluido cumplan las siguientes condiciones:



Para el caso de funcionamiento con aire exterior (para el funcionamiento con aire recirculado, la temperatura de evaporación se debe comparar con la de aire recirculado).

La temperatura del aire exterior influye directamente sobre T_c y T_{ev} , y por consiguiente sobre las presiones de alta y de baja del circuito.

Entalpía

La entalpía de un fluido representa la cantidad de energía por dicho fluido, en forma de calor o de presión. Determina el estado energético del fluido y se expresa en J/kg.

El calor aportado a un fluido aumenta su entalpía, y por lo tanto el calor extraído de un fluido provoca una disminución de su entalpía.

Cuando el fluido sufre una transformación a presión constante, sea durante la evaporación o la condensación, intercambia con el exterior una cantidad de calor igual a su variación de entalpía multiplicada por la masa de fluido que atraviesa el intercambiador.

Diagrama de Mollier

El fluido está caracterizado en este diagrama por su presión, temperatura y volumen específico, su entalpía, así como su título de vapor si está en estado difásico.

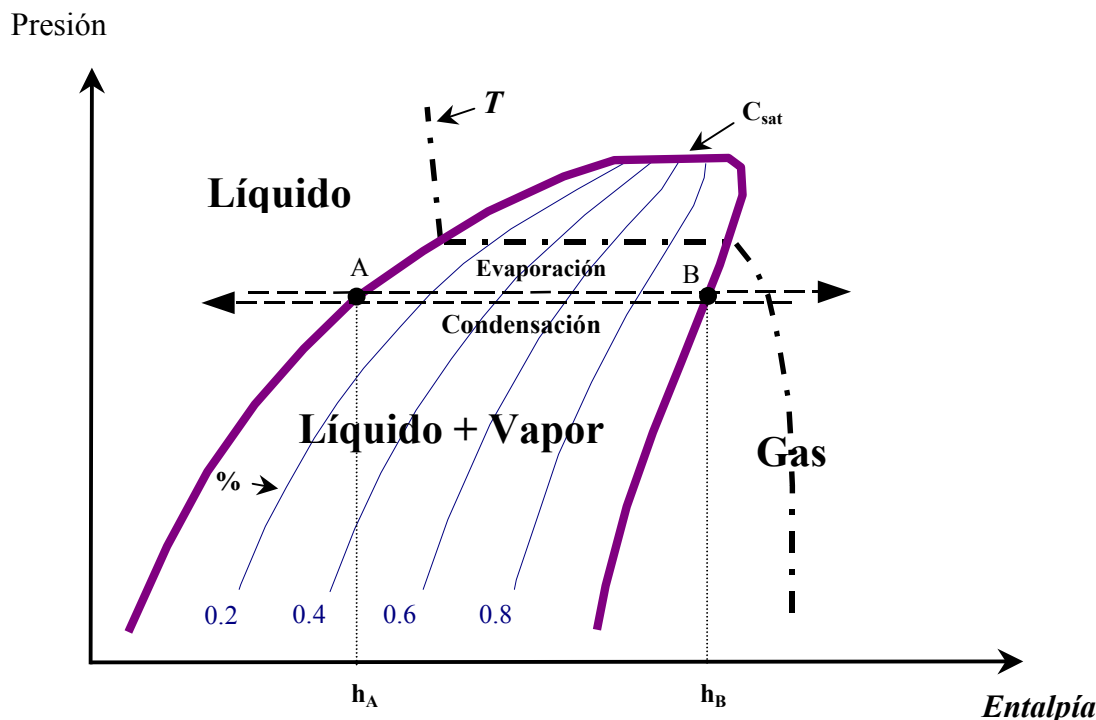
La curva C_{sat} , que tiene forma de campana, es la curva de saturación del fluido. Delimita tres regiones diferentes que permiten caracterizar el estado del fluido:

Capítulo N°	5	FICHAS DE PRODUCTO	
Ficha N°	5.07	El evaporador	
Versión	1	Fecha de creación 30/03/01 12:40	Página 9 de 10

- a la izquierda de la curva, el fluido está en estado líquido,
- a la derecha de la curva, el fluido está en estado vapor,
- bajo la curva, el fluido está en estado difásico: está compuesto de líquido y vapor, y las curvas marcadas con % determinan el título de vapor de la mezcla, o porcentaje de fluido en estado vapor de la mezcla.

Las curvas T son curvas de temperatura constante, llamadas isoterms. Se puede observar en la parte difásica como a cada presión corresponde una temperatura del fluido: durante el cambio de estado (evaporación y condensación) a presión constante, la temperatura del fluido permanece constante.

Así pues, un líquido calentado a presión constante alcanza en un momento dado la curva de saturación en un punto A. Si se continua calentando dicho fluido, el líquido se va a evaporar progresivamente, permaneciendo la temperatura constante hasta el final de la evaporación en B. El posterior calentamiento del fluido aumenta su temperatura de éste.



La diferencia de entalpía entre A y B, es decir ($h_B - h_A$), corresponde a la cantidad de calor necesaria para evaporar por completo la cantidad de fluido tratada. Se trata del calor latente de evaporación del fluido, a la presión a la que tiene lugar la transformación.

Para condensar el fluido a esta misma presión, es decir para ir de B a A, se debe extraer esta misma cantidad de calor del fluido ($h_B - h_A$).

Calor específico C_p / Calor latente de evaporación L

El calor específico C_p determina el efecto de un aporte de calor sobre la temperatura de un sistema. En otros términos, es la medida de la energía térmica necesaria para modificar la temperatura del sistema.

El calor latente de evaporación L determina la energía térmica necesaria para evaporar o condensar un fluido.

Capítulo N°	5	FICHAS DE PRODUCTO	
Ficha N°	5.07	El evaporador	
Versión	1	Fecha de creación 30/03/01 12:40	Página 10 de 10