XIII.- CICLOS DE REFRIGERACIÓN

pfernandezdiez.es

La utilización del frío es un proceso conocido ya desde muy antiguo; en el siglo XII los chinos utilizaban mezclas de salitre con el fin de enfriar agua; los árabes en el siglo XIII utilizaban métodos químicos de producción de frío mediante mezclas; en los siglos XVI y XVII, investigadores y autores como Boyle, Faraday (con sus experimentos sobre la vaporización del amoníaco) etc, hacen los primeros intentos prácticos de producción de frío.

En 1834, Perkins desarrolla su patente de máquina frigorífica de compresión de éter y en 1835 Thilorier fabrica nieve carbónica por expansión; Tellier construyó la primera máquina de compresión con fines comerciales, Pictet desarrolla una máquina de compresión de anhídrido sulfuroso, Linde otra de amoníaco, Linde y Windhausen la de anhídrido carbónico, Vincent la de cloruro de metilo, etc. Un capítulo aparte merece Carré, propulsor de la máquina frigorífica de absorción y Le Blanc-Cullen-Leslie la de eyección.

Desde el punto de vista de sus aplicaciones, la técnica del frío reviste un gran interés dentro de la evolución industrial a que obliga el continuo alza de la vida. La refrigeración tiene un amplísimo campo en lo que respecta a la conservación de alimentos (barcos congeladores de pescado en alta mar, plantas refrigeradoras de carnes y verduras), productos farmacéuticos y materias para la industria (plantas productoras de hielo, unidades de transporte de productos congelados, barcos, aviones, trenes, camiones, etc), en sistemas de acondicionamiento de aire y calefacción, etc.

Esto da una idea del grandísimo interés universal que reviste el frigorífico industrial desde el punto de vista económico, humano y social.

XIII.1.- TÉCNICAS Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE FRÍO

Hablar de producción de frío es tanto como hablar de extracción de calor; existen diversos procedimientos que permiten su obtención, basados en el hecho de que si entre dos cuerpos existe una di-

ferencia de temperaturas, la transmisión de calor de uno a otro se puede efectuar por conducción y radiación.

Procedimientos químicos.- Están basados en el uso de determinadas mezclas y disoluciones que absorben calor del medio que las rodea; se trata de procesos no continuos, de nulo interés y aplicación prácticos, sólo aptos para determinados trabajos de laboratorio.

Procedimientos físicos.- Se puede conseguir un descenso de temperatura mediante procesos físicos, como la expansión de un fluido en expansores y en válvulas de estrangulamiento, fundamento de las actuales máquinas industriales de producción de frío; este tipo de sistemas admite la siguiente clasificación:

Sistemas basados en el cambio de estado de una sustancia.- En estos sistemas interviene el calor latente del cambio de estado y se puede hacer la siguiente subdivisión:

- Por *fusión*, en que la producción de frío, o lo que es lo mismo, la sustracción de calor a la carga a refrigerar, se utiliza para pasar a una sustancia del estado sólido al de líquido; está muy extendida la fusión del hielo, o de mezclas eutécticas, que al cambiar de estado captan calor del entorno.

- Por *sublimación*, en que el paso se efectúa de sólido a gas mediante la adición de calor, siendo el ejemplo más representativo el anhídrido carbónico, para la producción de nieve carbónica.

- Por *vaporización*, en donde se engloban todos los procesos en los que un líquido pasa a fase de vapor al suministrársele una cierta cantidad de calor, pudiéndose distinguir dos casos:

Circuito abierto (vaporización directa), en donde el fluido capta el calor de la carga a enfriar y una vez ha modificado su estado ya no se vuelve a utilizar; este es el caso de algunos transportes que utilizan nitrógeno como medio de producción de frío.

Circuito cerrado, en que a diferencia del anterior, el fluido se recupera con vistas a ser utilizado en un proceso cíclico.

Como característica general de estos métodos, hay que hacer un aporte de energía al sistema y utilizar fluidos que vaporicen a baja presión

***CLASIFICACIÓN*.-** Las máquinas frigoríficas se pueden clasificar, según el sistema utilizado para la recogida de vapores, en la siguiente forma:

Máquinas de adsorción, en las que los vapores son captados mediante un absorbente sólido.

Máquinas de absorción, en las que los vapores que se forman añadiendo calor al sistema, son absorbidos y recuperados mediante un absorbente líquido.

Máquinas de compresión, en las que los vapores son aspirados y comprimidos mediante un compresor y licuados en un condensador; los compresores pueden ser de émbolo o rotativos, con o sin refrigeración inter-

media. Los equipos frigoríficos a base de compresores de émbolos y funcionamiento automático, son los que se utilizan casi exclusivamente en los frigoríficos industriales.

Máquinas de eyección, en las que los vapores son arrastrados por el efecto Venturi que genera el paso de otro fluido a gran velocidad.

Sistemas basados en la expansión adiabática de un fluido gaseoso

En estos sistemas se consigue el enfriamiento del mismo, mediante dos tipos de máquinas:

- Para la producción de aire líquido, (efecto Joule-Thomson)

- Las máquinas refrigeradoras de aire, en las que el aire comprimido al expansionarse en un expansor (turbina o cilindro de trabajo), se enfría, realizando al mismo tiempo un trabajo, que puede ser aprovechado para la compresión del aire

Sistemas basados en la elevación de la temperatura de un fluido frigorígeno.- En estos sistemas se utiliza un fluido frigorígeno (salmuera) que previamente se ha enfriado por algún tipo de procedimiento; durante el enfriamiento de la salmuera no se produce cambio de estado en la misma, ni tampoco cuando ésta capta calor del producto a enfriar, por lo que el calor eliminado de la carga lo toma la salmuera en forma de calor sensible.

Métodos especiales.- Existen otros métodos en los que la producción de frío se obtiene por técnicas distintas de las anteriormente descritas, pudiéndose enunciar, entre otras, las siguientes:

- Efecto Peltier (Termoeléctrico).- Este método está basado en el fenómeno que tiene lugar al pasar la corriente eléctrica por un circuito compuesto por dos conductores distintos, unidos por un par de soldaduras. Al pasar la corriente eléctrica por el circuito, una de las uniones se enfría, pudiéndose utilizar como fuente fría, mientras que la otra se calienta.

Efecto Haas-Keenson.- Es un método que permite alcanzar temperaturas próximas a 0°K, menores de 0,001°K, mediante la desimantación de una sal paramagnética. El proceso de descenso de la temperatura se inicia enfriando previamente la sal mediante helio líquido; una vez alcanzado el nivel térmico deseado, se somete a la sal a la acción de un campo magnético muy potente que orienta sus moléculas, lo que origina un desprendimiento de calor que se elimina a través del gas licuado; una vez conseguida la eliminación del calor se aísla la sal y se desconecta el campo magnético, con lo que las moléculas de la sal vuelven a su estado inicial, para lo que se requiere un trabajo que, por estar la sal completamente aislada, lo obtiene de su propia energía interna, ocasionando un descenso en la temperatura hasta los límites mencionados.

Efecto Ettingshausen (Termo-magneto-eléctrico).- Según este método, cuando por un conductor circula una corriente eléctrica, en presencia de un campo magnético perpendicular al mismo, el material del conductor se ve afectado por la presencia de un gradiente de temperaturas que se produce en dirección perpendicular a la de los campos, de forma que uno de los extremos del conductor absorbe calor, mientras que el otro lo desprende.

Efecto de Ranke-Hilsh (Torbellino).- Cuando una corriente de aire comprimido se inyecta tangencialmente a velocidad sónica en una cámara tubular, se crea un movimiento circular ciclónico, observándose un enfriamiento del aire en la zona cercana al eje del cilindro, fenómeno que es debido a la expansión de este aire y al descenso de temperatura que provoca; el aire situado en la periferia experimenta un calentamiento. Es un proceso apenas utilizado, restringido al acondicionamiento de equipos y trajes de trabajo en ambientes tóxicos y cálidos.

XIII.2.- COEFICIENTES DE EFECTO FRIGORÍFICO

Los ciclos inversos de motores térmicos, o ciclos frigorígenos, permiten la transferencia de calor desde una fuente fría, hasta otra fuente a mayor temperatura, fuente caliente; estos ciclos vienen caracterizados por un coeficiente de efecto frigorífico, que es la relación entre la cantidad de calor extraída a la fuente fría y el trabajo aplicado al ciclo mediante un compresor.

Para un mismo salto de temperatura entre la fuente caliente y la fuente fría, se pueden considerar los siguientes coeficientes de efecto frigorífico $\begin{cases} \text{- teórico del ciclo } COP_{teór} \\ \text{- del ciclo de Carnot correspondiente } COP_C \\ \text{- real } COP \end{cases}$

El coeficiente de efecto frigorífico teórico del ciclo es: $COP_{teór} = \dfrac{q_v}{T_{teór}}$

en la que $\begin{cases} q_v \text{ es la potencia frigorífica o cantidad de calor extraida del foco frío (vaporizador)} \\ T_{teór} \text{ es el trabajo aplicado al fluido (por el compresor) en condiciones ideales} \end{cases}$

El *coeficiente de efecto frigorífico del ciclo de Carnot* COP_C correspondiente a las temperaturas de los focos frío T_v (vaporizador) y caliente T_c (condensador) es:

$$COP_C = \frac{T_v}{T_c - T_v}$$

El coeficiente de efecto frigorífico real es, $COP = \dfrac{q_v}{T_r}$, siendo T_r el trabajo específico real aplicado al fluido por el compresor.

Su valor se puede deducir a partir del concepto de crecimiento de entropía Δs^* a lo largo del ciclo, debido a la irreversibilidad del mismo, de la forma:

$$\Delta s^* = -\frac{q_v}{T_v} + \frac{q_c}{T_c} = \left| \, q_c = q_v + T_r \, \right| = -\frac{q_v}{T_v} + \frac{q_v + T_r}{T_c}$$

por lo que:

$$T_r = \Delta s^* T_c + q_v \frac{T_c - T_v}{T_v} = \Delta s^* T_c + \frac{q_v}{COP_C} = \Delta s^* T_c + \frac{COP\ T_r}{COP_C}$$

De acuerdo con el Segundo Principio de la Termodinámica, el trabajo mínimo reversible a aplicar al ciclo se corresponde con el trabajo del ciclo de Carnot, por lo que:

$T_{Carnot} = q_{c'} - q_v$

en la que q_v es la misma que la del ciclo real, pero no $q_{c'} \neq q_c$

En un proceso reversible se tiene que la variación de entropía total es cero, por lo que:

$$\frac{q_{c'}}{T_c} = \frac{q_v}{T_v} \quad \Rightarrow \quad q_{c'} = q_v \frac{T_c}{T_v}$$

El trabajo del ciclo de Carnot es: $T_C = q_v \frac{T_c}{T_v} - q_v = q_v \frac{T_c - T_v}{T_v} = \frac{q_v}{(COP)_C}$

El trabajo real es: $T_r = \Delta s^* T_c + \frac{q_v}{COP_C} = \Delta s^* T_c + T_c$

es decir, el trabajo real es igual al trabajo mínimo reversible aumentado en la cantidad $T_c \Delta s^*$, que es la energía que hay que aplicar, que queda ligada al fluido frigorígeno y que no se puede aprovechar, porque es consecuencia de la irreversibilidad del proceso (anergia).

Una buena máquina frigorífica será aquella capaz de extraer una gran cantidad de calor de un foco frío q_v a expensas de una pequeña cantidad de energía T_r aplicada a la misma mediante el compresor.

El significado del efecto frigorífico puede entenderse mediante el siguiente ejemplo: si se dispone de un refrigerador doméstico funcionando entre las temperaturas - 3°C y + 24°C, la eficiencia COP del ciclo de Carnot sería:

$$COP_C = \frac{T_v}{T_c - T_v} = \frac{270}{297 - 270} = 10$$

lo cual indica que la absorción, por ejemplo, de 10 W de energía en forma de calor del foco frío se realizaría, mediante una máquina de Carnot, a expensas de 1 W de trabajo externo; ésto da una idea del significado de la eficiencia máxima entre dos temperaturas dadas, resultado que es inalcanzable.

Si, por ejemplo, se desea extraer calor de una fuente más fría, entre focos térmicos, por ejemplo, a 100°K y 297°K, resultaría una eficiencia COP = 0,5, es decir, para absorber 0,5 W de calor del foco frío habría que aplicar 1 W al compresor y ésto comenzaría a ser no rentable, aparte de los problemas de tipo técnico que aparecerían. Si la temperatura del foco frío fuese aún mucho menor, del orden de 1°K, para extraer 1 W de dicho foco frío serían precisos 296 W de energía externa y de ahí la dificultad que se presenta para obtener temperaturas muy bajas por procedimientos mecánicos, hecho por otra parte técnicamente imposible.

XIII.3.- MAQUINAS FRIGORÍFICAS DE AIRE

Las máquinas frigoríficas de aire funcionan según un ciclo Joule; este tipo de máquinas tienen

un importante consumo de energía, pero a pesar de ello, la seguridad que supone el utilizar aire como fluido frigorígeno y el poco peso de las instalaciones (compresores rotativos), hace que sean factores decisivos a la hora de su utilización en sistemas de acondicionamiento de aire.

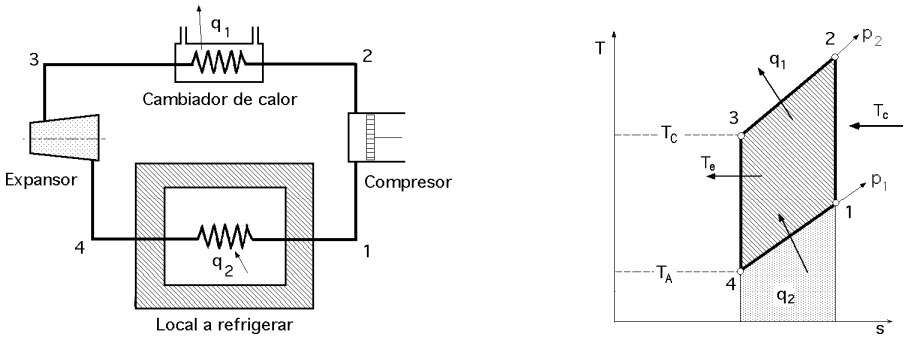


Fig XIII.1.- Esquema y diagrama de un ciclo Joule

Ciclo teórico.- Teniendo en cuenta el esquema que se presenta en la Fig XIII.1, el aire se puede expansionar en una máquina de pistón o en una turbina, de 3 a 4; el calor q_2 se extrae del medio a refrigerar según (41) a la presión p_1 y después el aire se comprime isentrópicamente hasta la presión p_2 que reina en el cambiador de calor; finalmente el aire se refrigera según (23) a presión constante.

El balance energético de este ciclo es:

$$T_{real} = T_{compresor} - T_{expansor} = q_{cond} - q_{vap} = (i_2 - i_3) - (i_1 - i_4) = (i_2 - i_1) - (i_3 - i_4)$$

El coeficiente de efecto frigorífico teórico es, $COP_{teór} = \dfrac{q_2}{T_{real}} = \dfrac{i_1 - i_4}{(i_2 - i_3) - (i_1 - i_4)}$

Si se asimila el aire a un gas ideal, el calor específico se puede considerar constante $c_p = Cte$, y la expresión del efecto frigorífico teórico es:

$$COP_{teór} = \frac{T_1 - T_4}{(T_2 - T_3) - (T_1 - T_4)} = \frac{T_1\left(1 - \dfrac{T_4}{T_1}\right)}{T_2\left(1 - \dfrac{T_3}{T_2}\right) - T_1\left(1 - \dfrac{T_4}{T_1}\right)}$$

Teniendo en cuenta que en las transformaciones adiabáticas se cumple $\begin{cases} \dfrac{p_1}{p_2} = \left(\dfrac{v_2}{v_1}\right)^{\gamma} = \left(\dfrac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \\ \dfrac{T_2}{T_1} = \dfrac{T_3}{T_4} \quad ó \quad \dfrac{T_4}{T_1} = \dfrac{T_3}{T_2} \end{cases}$

se obtiene: $COP_{teór} = \dfrac{T_1}{T_2 - T_1} = \dfrac{1}{\left(\dfrac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}$

Ciclo real.- En un ciclo real existe un incremento de entropía y las entalpías finales, tanto en la compresión como en la expansión, son más elevadas que en el ciclo ideal; el trabajo necesario para la

compresión es mayor debido al rendimiento interno del compresor y el obtenido en la expansión, menor; los rendimientos internos del compresor y del expansor permiten introducir en los cálculos el concepto de irreversibilidad.

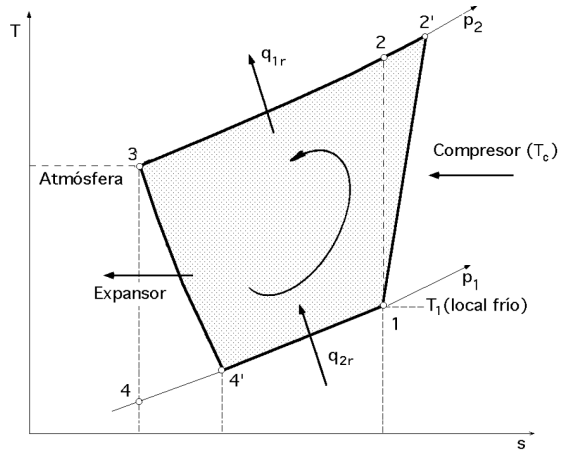


Fig XIII.2.- Diagrama de un ciclo real de aire

El rendimiento interno del compresor es:

$$\eta_c = \frac{i_2 - i_1}{i_{2'} - i_1} = \frac{T_2 - T_1}{T_{2'} - T_1} = \frac{T_{tc}}{T_{rc}}$$

Las entalpías específicas de los diversos puntos del diagrama son:

$$i_1 = c_p\ T_1 \quad ; \quad i_2 = c_p\ T_2 \quad ; \quad i_{2'} = i_1 + \frac{i_2 - i_1}{\eta_c}$$
$$i_3 = c_p\ T_3 \quad ; \quad i_4 = c_p\ T_4 \quad ; \quad i_{4'} = i_3 + \eta_e\ (i_3 - i_4)$$

y de ellas se deducen los calores, tanto el extraído del foco frío $q_{2r} = q_{vr}$, como el eliminado al foco caliente $q_{1r} = q_{cr}$, de la forma:

$$q_{cr} = c_p\,(T_{2'} - T_3) = i_{2'} - i_3 = i_1 + \frac{i_2 - i_1}{\eta_c} - i_3 = i_1 - i_3 + \frac{i_2 - i_1}{\eta_c}$$

$$q_{vr} = c_p\,(T_1 - T_{4'}) = i_1 - i_{4'} = i_1 - i_3 + (i_3 - i_4)\,\eta_e$$

El trabajo $T_{útil}$ que el compresor aplica al fluido es:

$$T_u = (i_{2'} - i_3) - (i_1 - i_{4'}) = (i_{2'} - i_1) - (i_3 - i_{4'}) = \frac{i_2 - i_1}{\eta_c} - (i_3 - i_4)\,\eta_e$$

El trabajo que el motor aplica al compresor es: $T_{motor} = \dfrac{(i_{2'} - i_1) - (i_3 - i_{4'})}{\eta_{mec}} = \dfrac{\frac{i_2 - i_1}{\eta_c} - (i_3 - i_4)\,\eta_e}{\eta_{mec}}$

El trabajo teórico a aplicar al compresor, (trabajo de circulación), es:

$$T_{c\,teór} = \frac{p_1\ v_1}{\gamma - 1}\ \gamma\ \{(\frac{p_2}{p_1})^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1\} = i_2 - i_1$$

La *eficiencia del ciclo real* es: $COP = \dfrac{q_{vr}}{T_{útil}} = \dfrac{(T_1 - T_3) + \eta_e\ (T_3 - T_4)}{\frac{T_2 - T_1}{\eta_c} - \eta_e (T_3 - T_4)} = \dfrac{\frac{T_1 - T_3}{T_3 - T_4} + \eta_e}{\frac{T_2 - T_1}{\eta_c (T_3 - T_4)} - \eta_e} =$

$$= \left| \frac{T_2}{T_3} = \frac{T_1}{T_4} \quad \Rightarrow \quad T_2 = \frac{T_3\ T_1}{T_4} \right| = \frac{\frac{T_1 - T_3}{T_3 - T_4} + \eta_e}{\frac{\frac{T_3\ T_1}{T_4} - T_1}{\eta_c (T_3 - T_4)} - \eta_e} = \frac{\frac{T_1 - T_3}{T_3 - T_4} + \eta_e}{\frac{T_1}{\eta_c\ T_4)} - \eta_e}$$

El ciclo real de la máquina de fluido no condensable muestra que a medida que nos aproximamos

al ciclo ideal, el coeficiente de efecto frigorífico tiende al del ciclo de Carnot; haciendo $\eta_e = \eta_c = 1$, se obtiene:

$$COP = \frac{T_4}{T_3 - T_4} = \frac{1}{\frac{T_3}{T_4} - 1} = \frac{1}{\frac{T_2}{T_1} - 1} = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

que es el coeficiente de efecto frigorífico del ciclo de Carnot entre las temperaturas T_1 y T_2; se observa que al disminuir el efecto de la irreversibilidad externa, al tiempo que aumenta la irreversibilidad interna, debería existir un valor óptimo para el coeficiente de efecto frigorífico real COP.

Para su determinación partiremos de que el rendimiento interno del compresor η_c y del expansor η_e, son constantes.

Derivando la expresión del COP respecto a T_4, e igualando a cero, se obtiene la siguiente condición:

$$(T_1 - T_3)\, T_1\, T_4 - \eta_e\, (T_1 - T_3)\, \eta_c\, T_4^2 + (T_3 - T_4)\, (T_1 - T_3)\, T_1 + \eta_e\, (T_3 - T_4)^2 T_1 = 0$$

Dividiéndola por T_1 y ordenándola en T_4, resulta:

$$\eta_e\, T_4^2 \left(\frac{T_3 - T_1}{T_1}\, \eta_c + 1\right) - 2\, \eta_e\, T_3\, T_4 + T_3 (T_1 - T_3 + \eta_e T_3) = 0$$

que para $\eta_e = \eta_c = 1$, se obtiene $T_4 = T_1$, que dice que la temperatura de salida del expansor en estas circunstancias tendría que ser igual a la de entrada en el compresor, cuestión que es imposible en el caso de que el fluido sea no condensable pero perfectamente válida para los condensables por cuando las presiones y temperaturas de salida de la expansión y de entrada en la compresión son iguales; de ésto se deduce que los gases no son fluidos satisfactorios para ser utilizados en plantas de refrigeración.

XIII.4.- CICLO DE GAS CON REGENERACIÓN

Si a este ciclo se le hacen determinadas modificaciones, se pueden conseguir algunas mejoras en los ciclos de refrigeración con gas. En la Fig XIII.2 se observa que la temperatura T_1 del fluido después de extraer calor de la zona fría es menor que la T_3 del estado 3, a que entra en el expansor. Si se utiliza el gas frío del estado 1 para enfriar el gas en el estado 3, las expansiones siguientes le llevarían a una temperatura menor, la del estado A de entrada en el expansor, tal como se indica en el ciclo que representamos en la Fig XIII.3a; de esta forma se pueden obtener temperaturas extremadamente bajas, mediante la introducción en el ciclo de un intercambiador de calor (regenerador).

La transferencia de calor externa al ciclo produce la caída de temperaturas entre los estados 2 y

3; el regenerador permite un enfriamiento adicional del gas hasta A, que se expansiona hasta 4' y absorbe calor del local a enfriar entre 4' y 5 y en el regenerador, desde 5 a 1.

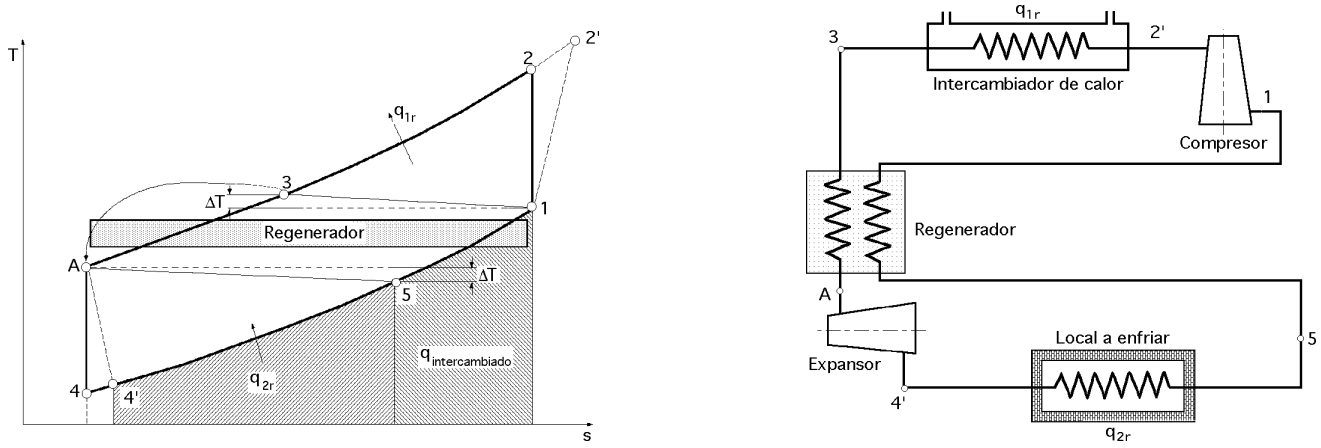


Fig XIII.3.- Ciclo de gas con regeneración

El balance energético en el regenerador, sin pérdidas térmicas, es:

$$i_3 - i_A = i_1 - i_5 \;\; ; \;\; c_p\,(T_3 - T_A) = c_p\,(T_1 - T_5) \;\; ; \;\; T_3 - T_1 = T_A - T_5 = \Delta T \;\Rightarrow\; \begin{cases} T_3 = T_1 + \Delta T \\ T_5 = T_A - \Delta T \end{cases}$$

Las entalpías en los diferentes puntos del ciclo son:

$$i_1 = c_p\,T_1 \;\; ; \;\; i_2 = c_p\,T_2 \;\; ; \;\; i_{2'} = i_1 + \frac{i_2 - i_1}{\eta_c} \;\; ; \;\; i_3 = c_p\,T_3 = c_p\,(T_1 + \Delta T) \;\; ; \;\; i_A = c_p\,T_A$$

$$i_4 = c_p\;T_4 = \left| T_4 = T_A\,(\frac{p_4}{p_A})^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right| = T_A\,(\frac{p_1}{p_2})^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \;\; ; \;\; i_{4'} = i_A - \eta_e\,(i_A - i_4)$$

$$i_5 = c_p\;T_5 = c_p\,(T_A - \Delta T)$$

El calor extraído del foco frío es: $q_{2r} = i_5 - i_{4'} = i_5 - i_A + \eta_e\,(i_A - i_4) = c_p\,\{T_5 - T_A + \eta_e\,(T_A - T_4)\}$

El trabajo útil aplicado al fluido es: $T_u = (i_{2'} - i_1) - (i_A - i_{4'}) = \{\frac{T_2 - T_1}{\eta_c} - \eta_c\,(T_A - T_4)\}\,c_p$

El trabajo motor a aplicar al compresor es: $T_{motor} = \frac{(i_{2'} - i_1) - (i_A - i_{4'})}{\eta_{mec}} = \{\frac{T_2 - T_1}{\eta_c} - \eta_c\,(T_A - T_4)\}\,\frac{c_p}{\eta_{mec}}$

La eficiencia del ciclo: $COP = \frac{q_{2r}}{T_{útil}} = \frac{T_5 - T_{4'}}{\frac{T_2 - T_1}{\eta_c} + \eta_e\,(T_A - T_{4'})}$

El ciclo de refrigeración con gas se puede aplicar a las instalaciones de aire acondicionado, p.e. de aviones, en donde los problemas de espacio son muy importantes; en general, comprimen aire que primero se enfría disipando calor a la atmósfera exterior y que, posteriormente, se expande en una turbina; el aire fresco procedente de la turbina pasa directamente al interior del avión.

XIII.5.- CICLO DE CARNOT DE UN FLUIDO CONDENSABLE

La ventaja del ciclo de una máquina frigorífica de fluidos condensables respecto a la máquina frigorífica de gas, radica en la utilización del fluido en sus dos fases, líquida y gaseosa, que permite no sólo el que técnicamente se pueda realizar el ciclo de Carnot inverso, sino porque las temperaturas al final de la expansión y a la entrada en el compresor son iguales, por lo que se puede optimizar el coeficiente de efecto frigorífico.

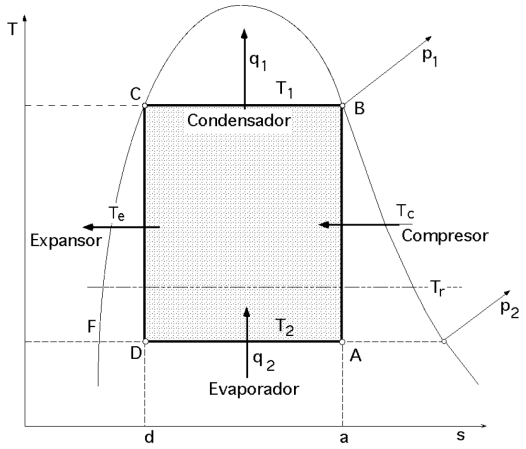


Fig XIII.4.- Ciclo de Carnot de un fluido condensable

El funcionamiento de una máquina frigorífica de fluidos condensables que utiliza un ciclo de Carnot, Fig XIII.4, es como sigue:

Un compresor accionado por un motor aumentaría la presión del fluido desde p_2 a p_1, según la transformación (AB), alcanzándose la temperatura T_1; esta compresión sería seguida de una condensación isoterma (BC) en la que el calor q_1 es evacuado al foco térmico caliente; el agua fría del condensador juega el papel de foco caliente de la máquina frigorífica, circulando en contracorriente con el fluido que viene del compresor y absorbiendo el calor q_1. El fluido una vez licuado se expansiona isentrópicamente en un expansor (CD), disminuyendo su presión y temperatura, con lo que se vaporiza parcialmente, llegando en estas condiciones al evaporador, estado D, iniciándose la vaporización isoterma (DA), durante la cual el calor q_2 puede ser absorbido del recinto a enfriar, o de una disolución de ClNa (salmuera), que circularía en contracorriente con el vapor a una temperatura $T_r > T_2$. Esta sustancia se puede enfriar hasta -15°C sin congelar, actuando como fuente fría; la salmuera así refrigerada circularía por conducciones apropiadas para la refrigeración de otro sistema. La parte evaporada del fluido condensable vuelve al compresor, iniciándose de nuevo el ciclo.

El área por debajo de (DA) representaría el calor q_2 absorbido a la fuente fría de valor $i_A - i_D$ y el área (ABCDA) sería el trabajo T_c aplicado al fluido por el compresor.

El *coeficiente de efecto frigorífico* viene dado, como sabemos, por $COP = \dfrac{q_2}{T_c - T_e} = \dfrac{T_2}{T_1 - T_2}$

El fluido que recorre el ciclo debe licuar fácilmente, por lo que su temperatura crítica tiene que ser superior a las temperaturas máximas de funcionamiento del fluido.

El trabajo mínimo reversible, necesario para extraer el calor q_2 del foco frío es:

$$T_{mín.rev.} = q_1 - q_2 = q_2 \frac{T_1}{T_2} - q_2 = q_2 \frac{T_1 - T_2}{T_2} = \frac{q_2}{COP_C} \quad \Rightarrow \quad COP_C = \frac{q_2}{T_{mín.rev.}}$$

XIII.6.- MAQUINAS FRIGORÍFICAS DE FLUIDOS CONDENSABLES CON CICLOS CON EXPANSIÓN ISENTÁLPICA

Compresión en régimen húmedo.- La expansión isentálpica (CD) no es rentable y, por lo tanto, a partir del estado C del diagrama se efectúa la expansión de forma irreversible, sustituyendo el expansor por una válvula de estrangulamiento, por la que el fluido circula a entalpía constante, Fig XIII.5; ésto está motivado por una serie de dificultades técnicas y prácticas debido a que:

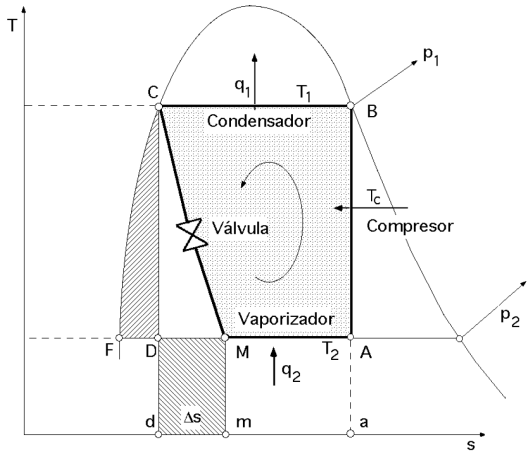


Fig XIII.5.- Compresión en régimen húmedo

- El posible trabajo que se puede obtener en el expansor sería una pequeña fracción del que debería suministrar el compresor, por cuanto el volumen específico del fluido (líquido) que se expande de C a D es más pequeño que el del fluido (vapor) que se comprime de A a B; el expansor debería trabajar con un fluido condensable de título muy pequeño, prácticamente cero, (líquido).

- Hay dificultades en la lubricación cuando existe un fluido de dos fases, por cuanto la parte líquida puede llegar a la solidificación.

- La potencia recuperada en el expansor raras veces justifica el coste del mismo, lo que implica respecto al ciclo de Carnot:

Una disminución de la producción de frío dada por el área (dDMmd) = $i_M - i_D$

Un aumento del trabajo de compresión igual al que se generaba en el expansor y se aprovechaba en el compresor

Calor cedido al foco caliente: $q_1 = i_B - i_C$

Calor extraído fuente fría: $q_2 = i_A - i_M$ *= área (MAamM)*

Trabajo aplicado: $T_c = i_B - i_A$

Efecto frigorífico: $\varepsilon_r = \dfrac{q_2}{T_c} = \dfrac{i_A - i_M}{i_B - i_A}$

Las pérdidas relativas debidas al reemplazamiento del expansor isentrópico por la válvula de estrangulamiento, dependen de:

- *La naturaleza del fluido frigorígeno*
- *Su calor específico en estado líquido*
- *Su calor latente de vaporización, pérdidas que son proporcionales a* $\dfrac{c_p}{r}$ *y que en general, son pequeñas*

Compresión en régimen seco.- En este tipo de frigoríficos, se añade a la salida del evaporador un aparato separador de líquido, de forma que el compresor sólo pueda aspirar vapor saturado seco en lugar de vapor húmedo, como sucedía en el caso anterior.

Las transformaciones del ciclo son las siguientes:

1-2') Compresión real: $T_c = i_{2'} - i_1$

2'-C) Enfriamiento (2'B) y condensación (BC): $q_1 = i_{2'} - i_C$

C-M) Estrangulación: $i_C = i_M$

M-1) Vaporización: $q_2 = i_1 - i_M$

A-1) Separador de líquido

El coeficiente de efecto frigorífico es, $COP = \dfrac{q_2}{T_C} = \dfrac{i_1 - i_M}{i_{2'} - i_1}$

Una razón para realizar la compresión en régimen seco, Fig XIII.6, consiste en que la parte líquida del vapor húmedo frigorígeno pudiera quedar detenida en la culata del compresor, o tener un volumen mayor que el volumen muerto del compresor (golpe de líquido), con la posibilidad de averiar las válvulas o la propia culata; otro peligro es que el líquido llegue a arrastrar el aceite de lubricación de las paredes del cilindro, acelerando así su desgaste. Esto requiere un trabajo adicional en el compresor, por cuanto a la salida del mismo, estado 2', el fluido está recalentado. Además, la presencia de la fase líquida a la entrada podría provocar efectos corrosivos en el compresor.

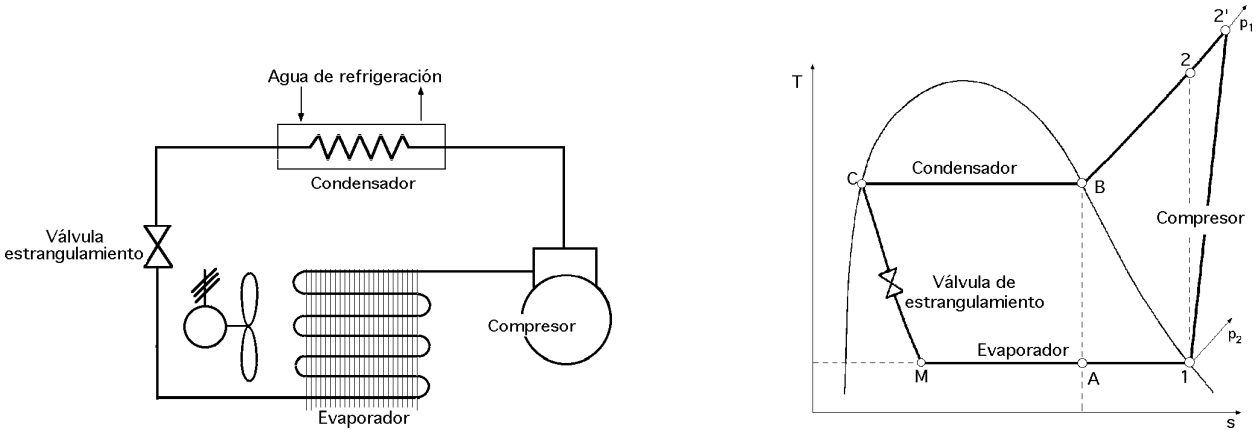


Fig XIII.6.- Compresión en régimen seco

Por otro lado, se puede someter al líquido condensado a un subenfriamiento (CC'), Fig XIII.7, mediante un intercambiador de calor, antes de proceder a su expansión en la válvula de estrangulamiento. Este proceso aumenta el efecto frigorífico, llevándose la compresión hacia la región de vapor recalentado, 1 →1', donde el trabajo de compresión es mayor.

El estado 1' tiene un volumen específico mayor que el 1, por lo que el compresor debe proporcionar un caudal másico mayor.

No obstante, el intercambiador queda justificado cuando haya que garantizar que no entre lí-

quido al compresor, 1 →1'; también hay que asegurar que en la válvula de estrangulamiento entre sólo líquido, para un correcto funcionamiento de la misma.

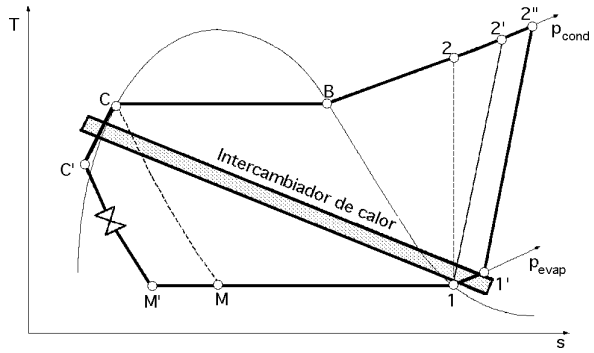


Fig XIII.7.a.- Ciclo frigorífico con subenfriamiento del líquido condensado mediante un intercambiador de calor

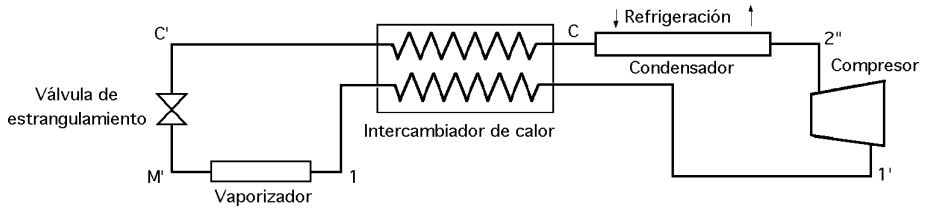


Fig XIII.7.b.- Esquema de ciclo frigorífico con subenfriamiento del líquido condensado mediante un intercambiador de calor

XIII.7.- SISTEMAS DE MULTICOMPRESION CON REFRIGERACIÓN INTERMEDIA

En el ciclo de compresión simple, la compresión y la expansión se producen en un solo salto, (máquinas domésticas y un gran número de equipos de carácter industrial); en estas máquinas las presiones y temperaturas (de condensación y evaporación) no difieren excesivamente.

Cuando la diferencia de presiones entre la aspiración y escape (salida) del compresor es muy grande, o lo que es lo mismo, la diferencia entre la temperatura del cambio de estado en el condensador y la reinante en el evaporador, se producen los siguientes fenómenos:

- Un aumento importante en la temperatura de escape del compresor puede originar la posible descomposición del aceite lubricante con el consiguiente acortamiento de la vida media de la máquina

- Un aumento de la relación de compresión implica que el rendimiento volumétrico propio del compresor simple disminuye, lo que da origen a una disminución de la capacidad frigorífica al bombear menor cantidad de fluido frigorígeno

- A medida que nos adentramos en la zona de vapor recalentado se produce una inclinación cada vez mayor de las líneas de entropía constante, hecho que se origina al aumentar la relación de compresión, lo que implica un incremento de la potencia requerida por el compresor

Por todo ésto, a partir de ciertos límites puede resultar más económico utilizar un ciclo de compresión múltiple, distinguiendo dos grandes tipos de instalaciones, La compresión múltiple directa y la compresión múltiple indirecta o en cascada

Compresión múltiple directa.- En estas instalaciones, el fluido frigorígeno se comprime dos o más veces, sucesivamente, existiendo un enfriamiento del vapor recalentado después de cada compresión. Lo más normal es la compresión doble directa; sistemas de compresión de más etapas son posibles, si bien menos frecuentes en la industria.

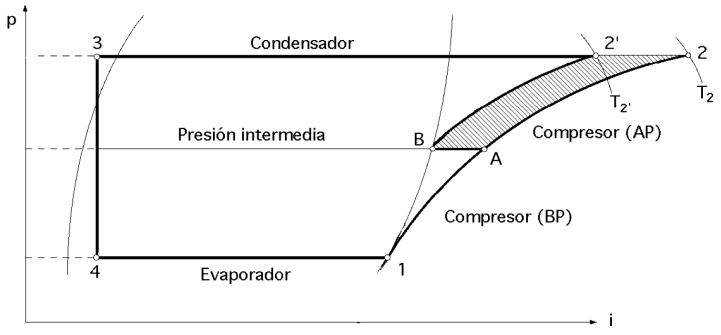


Fig XIII.8.- Ciclo teórico de multicompresión (doble compresión)

En la Fig XIII.8 se ha representado en un diagrama *(p, i)* un ciclo simple definido por el contorno (1-2-3-4-1) (con subenfriamiento); si superponemos un ciclo de compresión doble, que trabaja entre las mismas presiones que el anterior, la primera compresión se realiza entre la presión del vaporizador y una presión intermedia (1-A) y la segunda compresión entre esta presión intermedia y la del condensador (B-2'), realizando entre ambas compresiones la refrigeración intermedia del vapor recalentado del fluido frigorígeno, de forma que el estado A se desplaza hacia la izquierda, estado B, que puede quedar como vapor recalentado o como vapor saturado seco.

El límite de enfriamiento de la refrigeración intermedia, estado B, del vapor de escape de la etapa de compresión más baja, se encuentra como mucho en la línea de vapor saturado seco; ésto se hace así para evitar la entrada de líquido frigorígeno a la segunda etapa de compresión, hecho que podría acarrear un golpe de líquido en el compresor alternativo de no conseguirse la vaporización total. El resto de las transformaciones en el ciclo de compresión múltiple son del mismo tipo a las ya vistas para el ciclo de compresión simple. Se observa que la temperatura final del vapor a la salida del compresor ha disminuido, pasando de T_2 a $T_{2'}$, respecto al ciclo simple; el área rayada representa, en forma aproximada, el ahorro de energía que se ha conseguido en el funcionamiento de la instalación.

FORMAS DE OBTENER EL ENFRIAMIENTO INTERMEDIO EN EL COMPRESOR.- La refrigeración intermedia (AB) en una compresión múltiple se puede conseguir de varias maneras, destacando las siguientes:

a) REFRIGERACIÓN INTERMEDIA EXTERIOR.- Utilizando un intercambiador de calor de superficie que enfríe el vapor recalentado mediante un fluido externo, (aire, agua, etc); el enfriamiento así conseguido no es muy bajo dada la temperatura del fluido externo disponible y el bajo coeficiente de transmisión de calor, sobre todo el del aire. Este procedimiento se utiliza en camiones frigoríficos de productos congelados, viéndose favorecida la transmisión de calor por el movimiento relativo del aire respecto al camión.

En el caso de utilizar agua se puede aprovechar la de refrigeración del condensador, por lo que la temperatura viene limitada por la temperatura de subenfriamiento, según se observa en la Fig

XIII.9, en la que se presenta un esquema con la compresión de dos etapas con refrigeración intermedia y una laminación.

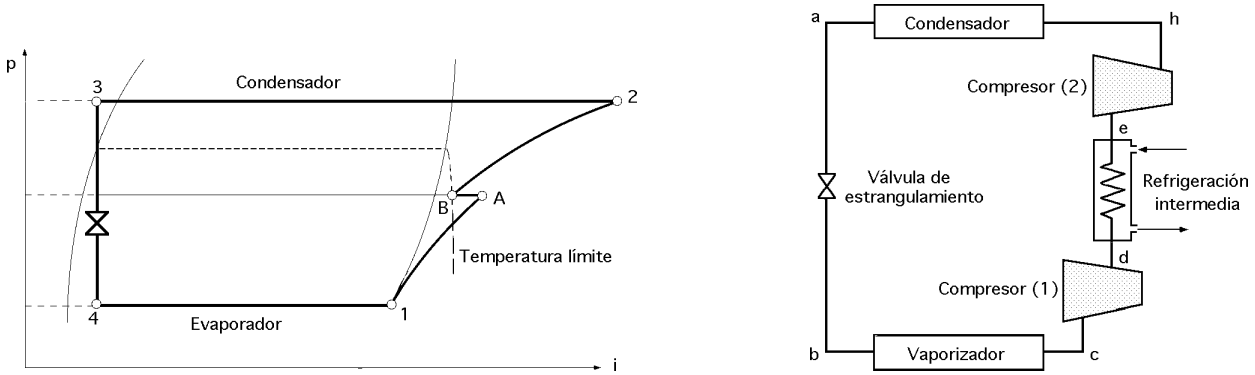


Fig XIII.9.- Temperatura límite de subenfriamiento cuando se utiliza el agua de refrigeración del condensador

b) INYECCIÓN PARCIAL DE FLUIDO FRIGORÍGENO.- Otro procedimiento consiste en utilizar una fracción del fluido frigorígeno, que se separa de la corriente principal en 5, Fig XIII.10 y que una vez condensado y expandido, enfría el vapor recalentado procedente del compresor de baja presión mediante un intercambiador de superficie.

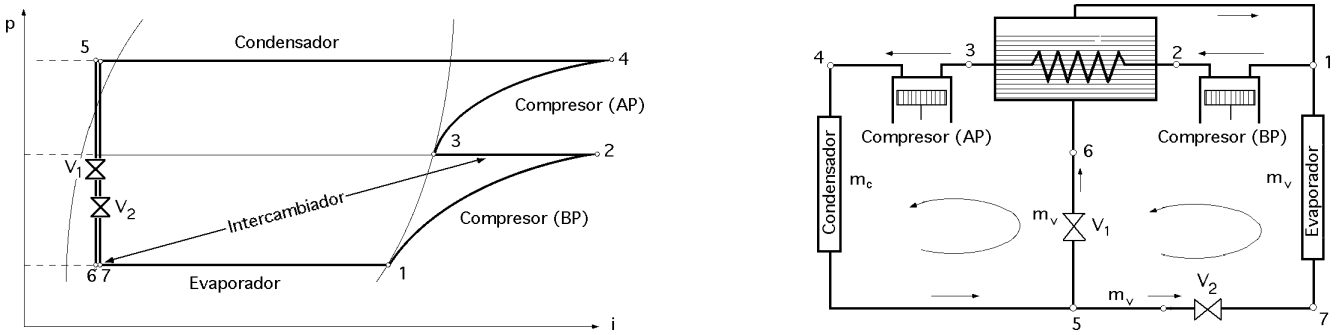


Fig XIII.10.- Sistema de multicompresión con refrigeración intermedia y dos expansiones

Se observa que el líquido frigorígeno que proviene del condensador se lamina, en parte, en la válvula V_1 obteniéndose a la salida un vapor húmedo (líquido + vapor) que penetra en el intercambiador; el enfriamiento del vapor a la salida del compresor de baja presión se consigue principalmente por la evaporación del líquido presente en el vapor húmedo citado. La parte de líquido frigorígeno restante 5 se lamina en la válvula V_2 para servir al evaporador de la instalación.

Mediante este dispositivo se puede conseguir la refrigeración intermedia del vapor hasta el estado de vapor saturado seco, estado 3; no obstante, como este enfriamiento se consigue mediante una reducción de la masa de fluido frigorígeno que circula por el evaporador, implica una disminución de la capacidad frigorífica de la instalación.

c) INYECCIÓN DIRECTA DE FLUIDO FRIGORÍGENO.- Otro procedimiento consiste en in-

yectar directamente fluido frigorígeno, una vez expandido en la válvula V_1 hasta la presión intermedia, a la salida del compresor de baja presión (mezcla). Al igual que en el caso anterior, la pérdida de calor sensible del vapor a la salida del compresor de baja presión se debe a la absorción de calor del cambio de estado de la parte de líquido a la salida de la válvula de expansión auxiliar V_1, Fig XIII.11.

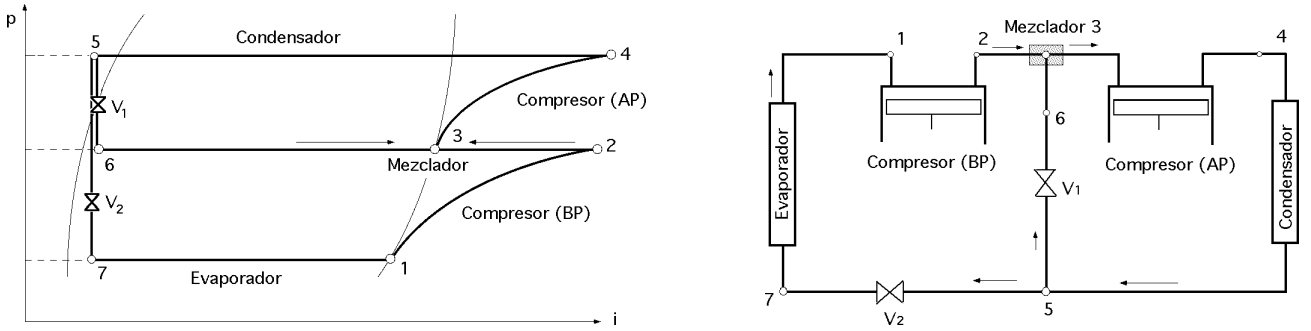


Fig XIII.11.- Sistema de enfriamiento intermedio por inyección directa de fluido frigorígeno

Se observa que la mezcla de las dos corrientes de fluido frigorígeno en los estados 2 y 6 da lugar a un estado 3 (en el diagrama se ha supuesto vapor saturado seco); como en el caso anterior, el enfriamiento (2-3) tiene por consecuencia una disminución de la potencia frigorífica en la instalación, producida por la desviación de una fracción del fluido hacia la válvula V_1.

d) SISTEMA DE DOBLE COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN CON ENFRIADOR INTERMEDIO Y SEPARADOR DE LÍQUIDO.- En el caso de ser necesaria una compresión múltiple, este tipo de montaje es el más utilizado en instalaciones de media y gran potencia. Una fracción del fluido frigorígeno se evapora parcialmente hasta la presión intermedia p_i al producirse el estrangulamiento en la primera válvula de expansión V_1; el vapor así generado se extrae y sin experimentar cambio de estado posterior y sin participar en el enfriamiento del foco frío, se lleva a la segunda etapa del compresor (AP). El líquido restante se lamina en una segunda válvula V_2 y pasa por el evaporador produciendo el efecto frigorífico

Existen dos tipos de procedimientos según la configuración del enfriador intermedio:

d-1) Enfriador intermedio de tipo cerrado con inyección parcial, (intercambiador de superficie).- Se observa que la corriente de líquido m_c que pasa por el condensador, Fig XIII.12, en el estado 5 se bifurca en dos ramas, una m que se expande en la válvula V_1 hasta la presión intermedia p_i, suministrando una mezcla de vapor y líquido al intercambiador intermedio; la vaporización del porcentaje de líquido frigorígeno absorbe calor, lográndose con ello dos fines:

- Enfriar el vapor de escape del compresor de baja presión según la transformación (2-3).

- Subenfriar el resto del líquido m_v que no se ha derivado a través de la válvula V_2, según la transformación (5-7), lográndose un aumento del salto entálpico en el evaporador, que pasa de ser i_1 - i_5 en compresión

simple, a i_1 - i_8 en esta configuración.

- La temperatura mínima que se pueden alcanzar en el subenfriamiento (temperatura del estado 7 es el de la temperatura correspondiente a la presión intermedia, es decir, $T_7 > T_3 = T_6$, en donde el signo de igualdad (imposible en la realidad) sería representativo de un funcionamiento ideal.

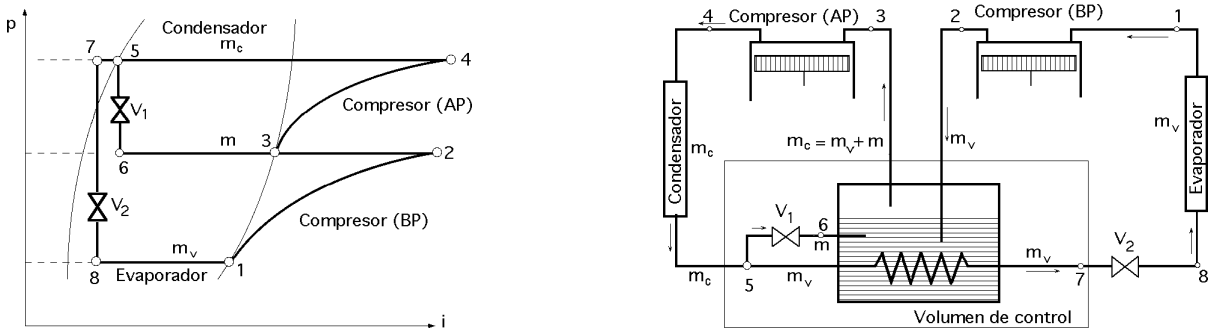


Fig XIII.12.- Sistema de ciclo de inyección parcial, con enfriador intermedio de tipo cerrado

El enfriamiento intermedio se consigue por evaporación de la parte de líquido presente m en el estado 6, o lo que es lo mismo, por el paso del fluido frigorígeno expandido desde el estado 6 al 3. La porción de vapor m del estado 6 es aspirada directamente por el compresor de alta presión, junto a la m_v que proviene del evaporador, de forma que por el condensador pasa $m_c = m + m_v$.

La *masa de fluido que circula por el condensador* m_c se calcula haciendo un balance de energía en el volumen de control, (en el supuesto de que no existan pérdidas térmicas en el intercambiador-separador), obteniéndose:

$$m_c\, i_5 + m_v\, i_2 = m_c\, i_3 + m_v\, i_7 \quad \Rightarrow \quad m_c = \frac{i_2 - i_7}{i_3 - i_5}\, m_v$$

Potencia frigorífica (calor extraído en el evaporador): $q_2 = m_v\,(i_1 - i_8) \quad \Rightarrow \quad m_v = \dfrac{q_2}{i_1 - i_8}$

Masa de fluido que circula por el condensador: $m_c = \dfrac{i_2 - i_7}{i_3 - i_5}\ \dfrac{q_2}{i_1 - i_8}$

Masa de líquido frigorígeno que circula por la válvula V_1: $m = m_c - m_v = \dfrac{q_2}{i_1 - i_8}\left(\dfrac{i_2 - i_7}{i_3 - i_5} - 1\right)$

Trabajo que el compresor de BP comunica al fluido: $T_{BP} = m_v\,(i_2 - i_1) = q_2\ \dfrac{i_2 - i_1}{i_1 - i_8}$

Trabajo que el compresor de AP comunica al fluido: $T_{AP} = m_c\,(i_4 - i_3) = \dfrac{q_2}{i_1 - i_8}\ \dfrac{i_2 - i_7}{i_3 - i_5}\,(i_4 - i_3)$

Coeficiente de efecto frigorífico teórico: $COP_{teór} = \dfrac{q_2}{T_{BP} + T_{AP}} = \dfrac{i_1 - i_8}{\dfrac{(i_4 - i_3)\,(i_2 - i_7)}{i_3 - i_5} + (i_2 - i_1)}$

d-2) Enfriador intermedio de tipo abierto con inyección total, (intercambiador de mezcla).- Se diferencia del anterior en que todo el fluido frigorígeno m_c se expande hasta la presión intermedia antes del intercambiador, Fig XIII.13. El fluido a la salida del condensador m_c se lamina, mediante la válvula V_1, hasta la presión intermedia, estado 6, obteniéndose una mezcla líquido-vapor no homogénea.

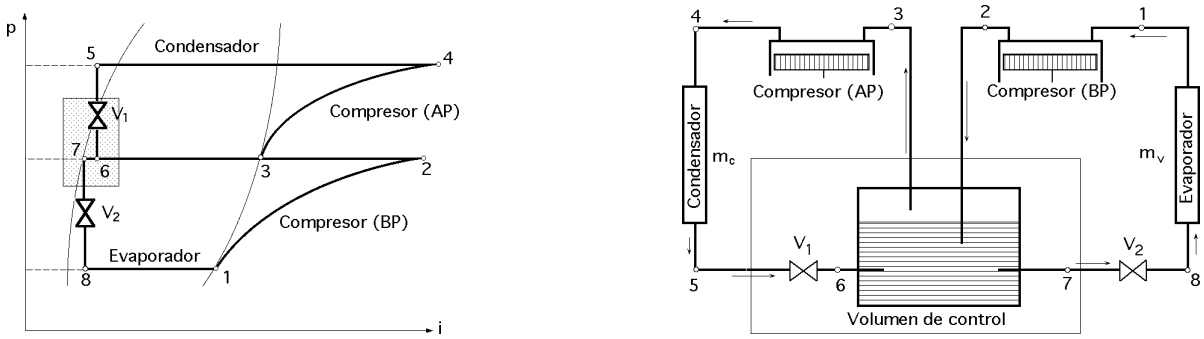


Fig XIII.13.- Sistema con enfriador intermedio de tipo abierto con inyección total, (intercambiador de mezcla)

La evaporación de parte del líquido consigue el enfriamiento del vapor del estado 2 hasta las condiciones del estado 3; este vapor junto al resultante de la expansión, circula por el compresor de alta presión.

El resto del líquido m_v, estado 7, se expande de nuevo hasta la presión de evaporación.

Este sistema tiene el inconveniente, con respecto al de intercambiador cerrado, de utilizar válvulas de expansión por las que circula un gran caudal de fluido frigorígeno y tener bajos saltos de presión. En los ciclos con enfriador intermedio de tipo cerrado, por la válvula auxiliar V_1 circula un pequeño caudal, mientras que por la válvula principal V_2 pasa la mayor parte de la masa, funcionando entre las presiones de condensación y evaporación, por lo que su regulación es más sencilla.

La masa m_c de fluido que circula por el condensador se calcula haciendo un balance de energía en el volumen de control, (en el supuesto de que no existen pérdidas térmicas en el intercambiador-separador), obteniéndose:

$$m_c\, i_5 + m_v\, i_2 = m_c\, i_3 + m_v\, i_7 \quad \Rightarrow \quad m_c = \frac{i_2 - i_7}{i_3 - i_5}\, m_v$$

Potencia frigorífica (calor extraído en el evaporador): $q_2 = m_v\ (i_1 - i_8\ ) \quad \Rightarrow \quad m_v = \dfrac{q_2}{i_1 - i_8}$

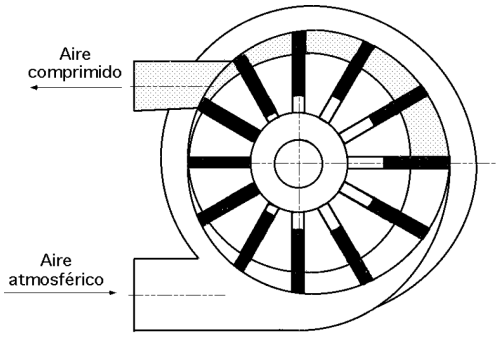
Masa de fluido que circula por el condensador: $m_c = \dfrac{i_2 - i_7}{i_3 - i_5}\ \dfrac{q_2}{i_1 - i_8}$

observándose que las expresiones son idénticas a las del caso anterior, aunque sus valores se refieren a puntos distintos sobre el diagrama.

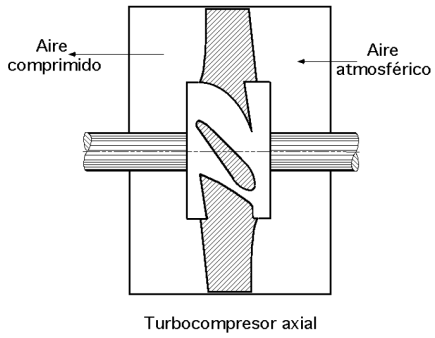
XIII.8.- COMPRESORES

En todo lo anterior se ha considerado la utilización de compresores alternativos, lo que no implica que este tipo de instalación sea de un dominio exclusivo de estas máquinas, sino que por el contrario, se pueden utilizar otros tipos de compresores entre los posibles en la industria del frío, como los compresores centrífugos de un solo cuerpo con varias etapas de compresión, o los compresores de tornillo.

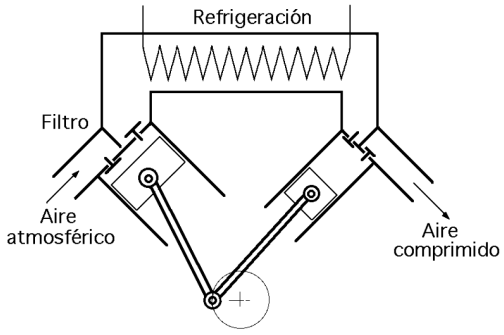
Dada la dificultad de extraer toda la carga de fluido frigorígeno en estos compresores, particularmente en los centrífugos, lo que se hace es añadir un porcentaje de vapor saturado seco a la presión intermedia, para provocar su enfriamiento en un estado intermedio de la compresión; la mezcla de estos vapores da lugar a un vapor intermedio menos recalentado que los de mezcla.



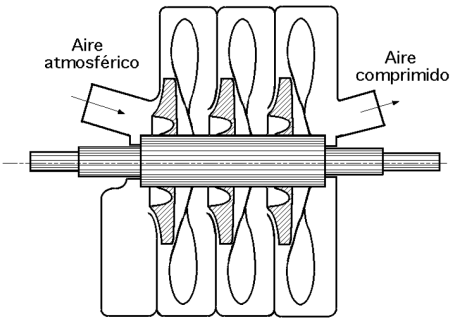
Compresor rotativo de paletas o multicelular



Turbocompresor axial



Compresor alternativo de dos etapas



Turbocompresor radial

Fig XIII.14.- Algunos tipos de compresores

Relación de compresión.- Si la relación de compresión para cualquier número de etapas n es la misma, viene dada por la expresión:

$$\frac{p_i}{p_j} = \sqrt[n]{\frac{p_{condensador}}{p_{evaporador}}}$$

Para 2 etapas de compresión, la relación de compresión es: $\frac{p_c}{p_i} = \frac{p_i}{p_v} = \sqrt{\frac{p_{condensador}}{p_{evaporador}}}$

La presión intermedia viene dada por: $\frac{p_c}{p_i} = \frac{p_i}{p_v} \Rightarrow p_i = \sqrt{p_c \; p_v}$

igualdad que conduce a diferentes temperaturas de salida en las etapas de compresión, por lo que en aquellos fluido frigorígenos como el amoníaco), en los que la temperatura del vapor recalentado aumenta rápidamente, existe la tendencia a aumentar el valor de la presión intermedia para así reducir la relación de la segunda compresión, pudiendo considerar para el caso del amoníaco las siguientes ecuaciones:

Ecuación de Sandholdt: $p_i = \sqrt{p_c \; p_v} + 0{,}35 \; atm$

Ecuación de Czaplinsky: $T_i = \sqrt{T_c \; T_v}$

XIII.8.- SISTEMAS DE COMPRESIÓN MÚLTIPLE INDIRECTA. REFRIGERACIÓN EN CASCADA

En ciertas aplicaciones son necesarias temperaturas de trabajo extremadamente bajas, por debajo de - 30°C por lo que la relación de presiones para una sola etapa de compresión tiene que ser elevada; si se elige un fluido frigorígeno cuyos valores de la presión en el evaporador sean moderados, resulta que las presiones en el condensador son elevadas y viceversa.

A bajas temperaturas, las presiones correspondientes son muy bajas, (inferiores a la presión atmosférica), por lo que en las zonas de producción de frío existe una fuerte tendencia a la entrada de aire húmedo a los evaporadores, lo que implica un porcentaje de humedad que puede solidificar dando lugar a trastornos en el funcionamiento. Además, cuanto menor sea la temperatura, el volumen específico del vapor a la entrada del compresor será mayor, por lo que para una misma masa de fluido frigorígeno a desplazar, a menor temperatura requerida mayor deberá ser el volumen disponible del compresor.

Si el fluido tiene unas características adecuadas para el evaporador y resulta que las condiciones del condensador están cerca del punto crítico, cuando el fluido se expansione, el título al final de la expansión será muy grande, lo que disminuye el COP de la instalación, al tiempo que exige potencias en el compresor relativamente altas, de forma que hay que recurrir a compresiones escalonadas para paliar el problema. Por éso, para la producción de frío a bajas temperaturas, se han desarrollado *sistemas de compresión indirecta,* en los que se utilizan fluidos frigorígenos especiales, que solventan las dificultades citadas y que por otro lado no son adecuados para trabajar en la zona de condensación normal, ya que por un lado dan lugar a altas presiones, con el consiguiente problema de posibles fugas al exterior y por otro presentan el inconveniente de poseer bajas temperaturas críticas.

Los condicionantes anteriores se resuelven con la refrigeración en cascada, mediante una ade-

cuada elección de las presiones intermedias que evite los problemas de estanqueidad y origine al mismo tiempo relaciones de compresión razonables. La producción de frío a bajas temperaturas se consigue mediante sistemas de compresión simples, que utilizan fluidos frigorígenos especiales; para el caso de dos etapas de compresión, los vapores resultantes se comprimen hasta una cierta presión mediante un compresor de (BP) y posteriormente se condensan en un intercambiador intermedio, mediante la cesión de calor al evaporador de un segundo circuito de compresión simple por el que circula un fluido frigorígeno distinto; la condensación del fluido frigorígeno de baja temperatura tiene por objeto la vaporización del de alta, tal, que pueden ser condensados con ayuda de un agente exterior; las válvulas V_1 y V_2 completan ambos ciclos.

Si se superponen en un mismo diagrama *(p - i)* ambos sistemas, se obtiene el ciclo conjunto de la instalación, Fig XIII.15; se observa que las temperaturas de condensación de la etapa de baja temperatura y de evaporación de la etapa de alta temperatura no son iguales, existiendo un salto térmico D*T* para que tenga lugar el intercambio térmico entre los fluidos; cuanto mayor sea esta diferencia de temperaturas, la superficie de intercambio térmico será menor.

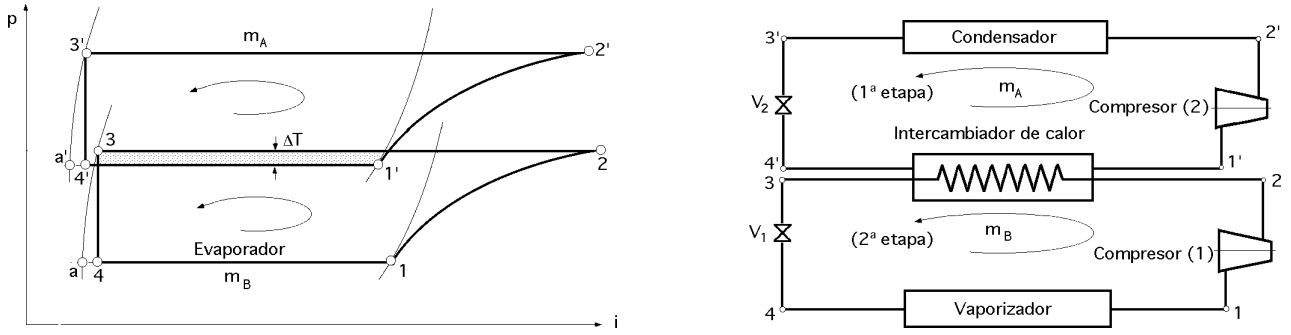


Fig XIII.15.- Sistema de ciclo en cascada con dos etapas de compresión

Para determinar el calor transferido en el intercambiador intermedio, se supondrá no existen pérdidas térmicas al exterior; haciendo un balance térmico en el intercambiador, la *masa de fluido m_a de la etapa de alta temperatura* se obtiene en la forma:

$$m_A\,(i_{1'} - i_{4'}) = m_B\,(i_2 - i_3) \quad \Rightarrow \quad \frac{m_A}{m_B} = \frac{i_2 - i_3}{i_{1'} - i_{4'}}$$

La *eficacia de la instalación* es: $COP = \dfrac{m_B\,(i_1 - i_4)}{m_B \dfrac{i_2 - i_1}{\eta_{compB}} + m_A \dfrac{i_{2'} - i_{1'}}{\eta_{compA}}} = \dfrac{i_1 - i_4}{\dfrac{i_2 - i_1}{\eta_{compB}} + \dfrac{i_2 - i_3}{i_{1'} - i_{4'}} \dfrac{i_{2'} - i_{1'}}{\eta_{compA}}}$

Los principales inconvenientes que se presentan en estas instalaciones son:

- La transformación de calor en el intercambiador intermedio (evaporador alta-condensador baja) siempre da lugar a pérdidas por no ser un equipo de características ideales.

- Si la instalación se mantiene parada durante un largo período, el igualar la temperatura del circuito de baja a la temperatura ambiente, da lugar a fuertes presiones en dicho circuito, por lo que se hace necesario disponer de un sistema de alivio, consistente en un recipiente de volumen apropiado, (bulbo), con vistas a impedir pérdidas de fluido frigorígeno

El estudio de una compresión en cascada de dos etapas se puede ampliar a un mayor número de nuevos fluidos frigorígenos y a un mayor número de etapas, en cuyo caso los cálculos se realizarán repetidamente en cada salto; para el caso de la licuación del aire por este método se utilizan los siguientes fluidos en cascada, amoníaco, etileno, oxígeno y el propio aire a licuar.

Asimismo es conveniente señalar que los sistemas de compresión múltiple (directa y en cascada) no son excluyentes, pudiendo formar parte de una misma instalación, como se indica en el ejemplo de la Fig XIII.16.

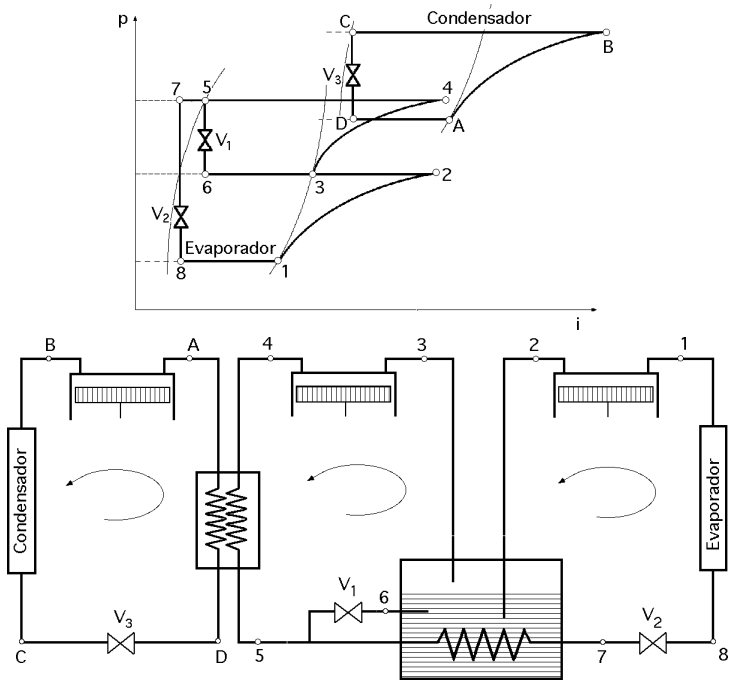


Fig XIII.16.- Ciclo en cascada de un ciclo simple y un ciclo de inyección total con enfriador intermedio de tipo cerrado

XIII.9.- EXPANSIÓN MÚLTIPLE

INSTALACIONES CON SUMINISTRO DE FLUIDO FRIGORÍGENO A DISTINTAS TEMPERATURAS.- La necesidad de disponer en la industria de una serie de fuentes frías, para distintas operaciones, a niveles térmicos diferentes, se puede conseguir fácilmente mediante ciclos de compresión independientes, uno para cada necesidad; en ciertas aplicaciones resulta interesante centralizar toda la instalación en un solo sistema, capaz de servir a partir de una única instalación frigorífica, todos los niveles de temperatura requeridos; de entre ellos destacamos los siguientes:

Compresión simple y expansión múltiple.- Mediante un sistema de compresión simple, resul-

ta factible suministrar un fluido frigorígeno a distintas temperaturas. Para ello, en principio, basta con disponer dos válvulas de expansión en paralelo, hasta las presiones requeridas, Fig XIII.17.

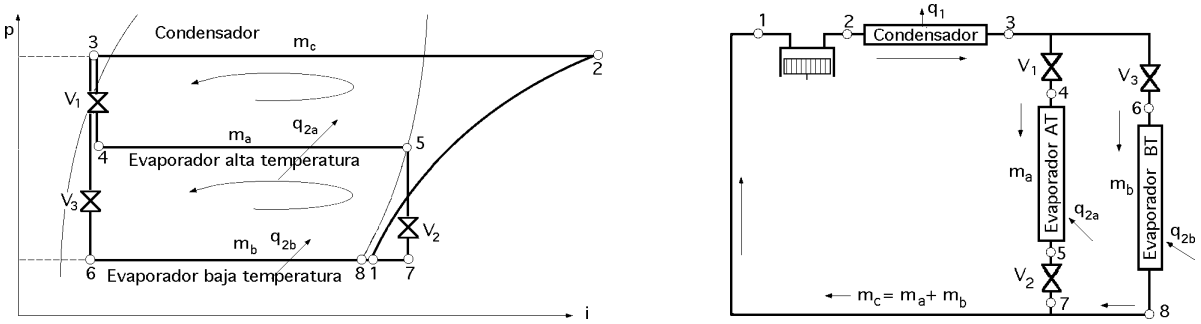


Fig XIII.17.- Sistema de compresión simple y expansión múltiple

Se observa existe una reexpansión isentálpica de los vapores de salida del evaporador de alta temperatura provocando un recalentamiento de los mismos, (5-7), lo cual es necesario para igualar su presión a la de los vapores que provienen del evaporador de baja temperatura y poder efectuar la mezcla de ambas corrientes antes de introducirlas en la primera etapa de la compresión, estado 1. Las necesidades frigoríficas de los distintos evaporadores q_{1a} y q_{1b}, se pueden determinar a partir de los caudales másicos de fluido frigorígeno que circulan por cada uno de ellos m_a y m_b y viceversa, en la forma:

$$q_{2a} = m_a\,(i_5 - i_4) \quad ; \quad q_{2b} = m_b\,(i_8 - i_6)$$

Haciendo un balance de masa y energía en los estados 7 y 8, se puede conocer la situación del estado 1, de entrada al compresor de baja temperatura:

$$m_c = m_a + m_b$$
$$m_c\ i_1 = m_a\ i_7 + m_b\ i_8$$

El trabajo de compresión es: $T_C = m_c\,(i_2 - i_1)$

El calor cedido en el condensador es: $q_1 = m_c\ (i_2 - i_3)$

Compresión doble directa.- A partir de una instalación de compresión en dos etapas es posible trabajar a varias temperaturas de evaporación por medio de una expansión múltiple, de forma similar a lo visto anteriormente. Si se conocen las temperaturas de compresión y condensación y las necesidades frigoríficas correspondientes, se pueden dar los siguientes casos:

a) Inyección total.- Utiliza un intercambiador intermedio de tipo abierto, de forma que se hace una expansión previa (5-6) antes de entrar en el mismo; la obtención de dos temperaturas de evaporación se puede conseguir de dos formas:

a1) La presión intermedia es igual a la presión correspondiente al evaporador de alta temperatura

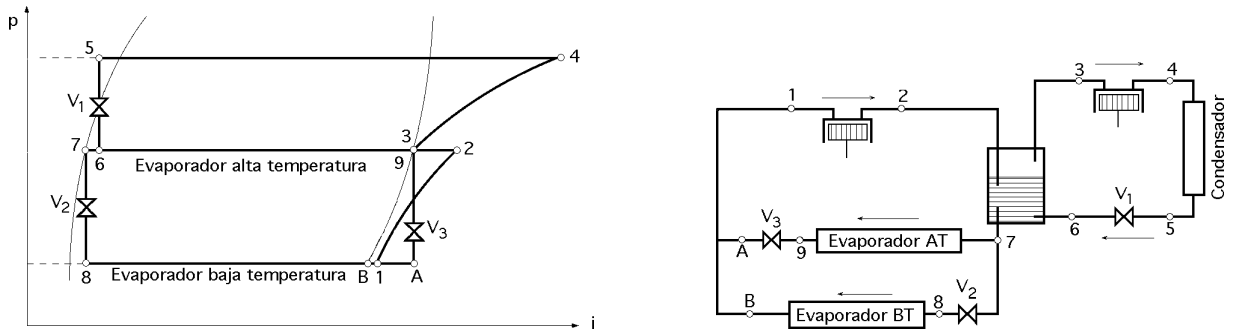


Fig XIII.18.- La presión intermedia coincide con la presión correspondiente al evaporador de alta temperatura

a2) La presión intermedia, (calculada por alguno de los métodos desarrollados anteriormente), no coincide con la presión correspondiente al evaporador de alta temperatura, Fig XIII.19

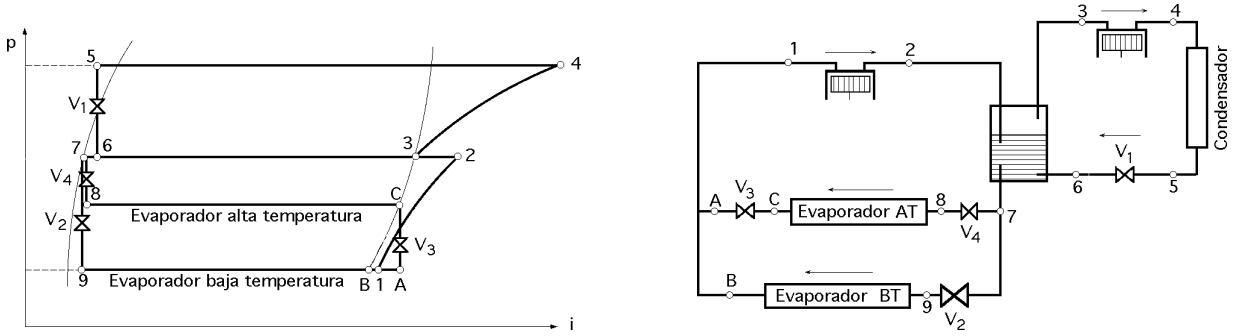


Fig XIII.19.- La presión intermedia no coincide con la presión correspondiente al evaporador de alta temperatura

b) Inyección parcial.- En este caso la diferencia estriba en el tipo de intercambiador utilizado, ya que ahora se dispone de uno en el que además del enfriamiento de los vapores, parte del líquido condensado pierde un calor sensible, subenfriándose a costa de la evaporación de una cierta cantidad de líquido a la presión intermedia Fig XIII.20.

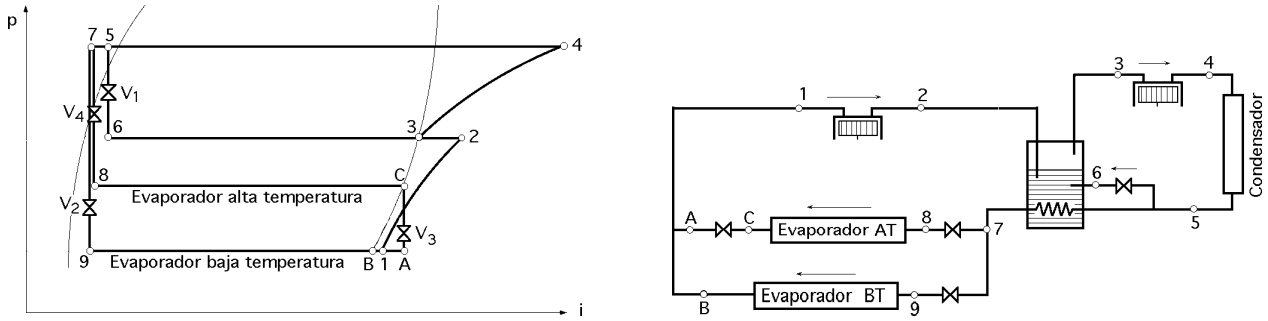


Fig XIII.20.- Sistema de inyección parcial

c) Refrigeración exterior.- En una instalación con dos etapas de compresión, refrigeración intermedia exterior, y dos expansiones, se pueden conseguir, dos efectos frigoríficos a temperaturas diferentes. En el diagrama *(T, s)*, Fig XIII.21, se muestran el ciclo termodinámico y el esquema que representa una instalación.

La compresión se efectúa en dos etapas, con refrigeración intermedia exterior.

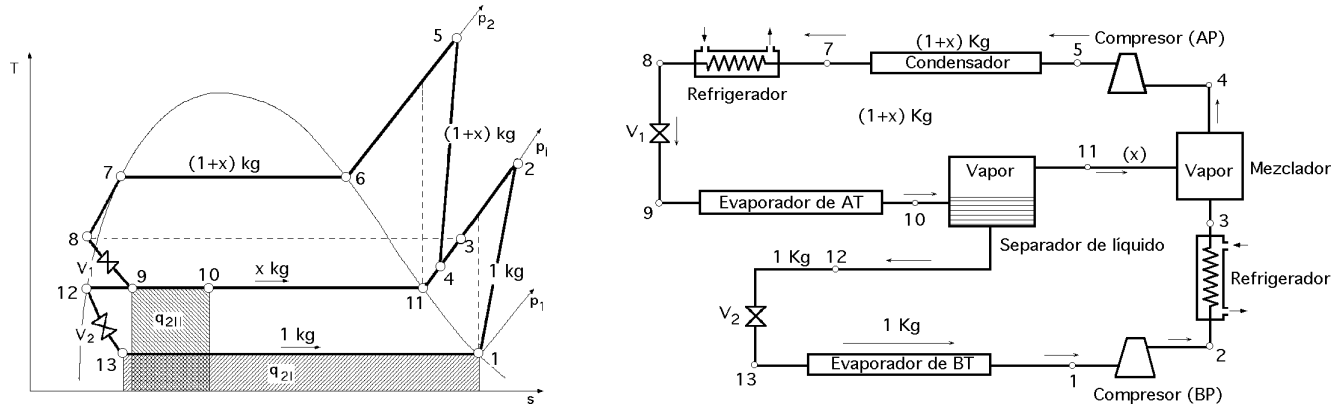


Fig XIII.21.- Refrigeración con efectos frigoríficos a temperaturas diferentes y refrigeración exterior

El primer efecto frigorífico se efectúa entre los puntos 9 y 10, mientras que el segundo efecto frigorífico se efectúa entre los puntos 13 y 1.

Si se utiliza el mismo agua de refrigeración para el condensador y para el refrigerador (2-3), las temperaturas T_3 y T_8 coincidirán.

Efecto frigorífico: $q_{2r} = q_{2I} + q_{2II} = (i_1 - i_{13}) + (i_{10} - i_9)\,(1 + x)$

Para calcular la *cantidad de vapor x, extraída en el separador de líquido* se hace un balance de entalpías en el mismo, obteniéndose:

$$i_{10}\,(1 + x) = i_{12} + x\,i_{11} \quad \Rightarrow \quad x = \frac{i_{10} - i_{12}}{i_{11} - i_{10}}$$

Trabajo de compresión: $T_r = T_{rI} + T_{rII} = (i_5 - i_4)\,(1 + x) + (i_2 - i_1)$

XIII.10.- CICLO CON DOBLE LAMINACIÓN, SEPARADOR DE LIQUIDO Y REFRIGERACIÓN EXTERIOR

El fluido frigorígeno se evapora parcialmente al producirse el estrangulamiento en la válvula de expansión, Fig XIII.22; el vapor así generado pasa por el evaporador sin experimentar cambio de estado posterior y sin producir enfriamiento del foco frío.

El compresor comprime dos tipos de vapores, uno, el generado en la expansión isentálpica de la primera etapa x kg a través de la válvula V_1 y el otro es el que ha pasado por el evaporador y previamente por la válvula V_2.

El vapor en la primera expansión (etapa de alta presión) se lleva a la segunda etapa del compresor, en la que penetra mezclado previamente con el vapor recalentado y refrigerado que procede del vaporizador y que se refrigera según (2-3). El funcionamiento del proceso es el siguiente:

- El fluido en forma de vapor saturado seco, Fig XIII.22, estado 1, entra en la primera etapa del compre-

sor (baja presión) y es comprimido hasta el estado 2; de 2 a 3 el fluido así comprimido experimenta un enfriamiento a presión constante, mediante un circuito externo de aire o de agua de refrigeración; hasta el estado 3 circula 1 kg de fluido.

- En el estado 3 el fluido penetra en un mezclador isobárico y adiabático, de forma que en el mismo se produce la mezcla de dos vapores, uno 1 kg en condiciones del estado 3 y el otro, x kg que provienen del separador de líquido, en condiciones del estado 9.

La mezcla fluida constituida por (1 + x) kg de vapor en condiciones del estado 4, se comprime en la segunda etapa del compresor (alta presión) hasta alcanzar las condiciones del estado 5.

- A continuación se introduce el fluido en el condensador y es enfriado hasta el estado 6, de forma que la temperatura correspondiente a este estado suele ser la misma que la del estado 3, $T_6 = T_3$, por cuanto se utiliza el mismo agua de refrigeración. El fluido pasa por la válvula de estrangulamiento hasta el estado 7, penetra en el separador de líquido, llevándose el vapor generado x kg en condiciones del estado 9, al mezclador de vapores.

El líquido separado, en condiciones del estado 8, sufre una segunda laminación hasta el estado 10, donde pasa al evaporador, extrayendo una cantidad de calor q_2 del foco frío, realizando el efecto frigorífico.

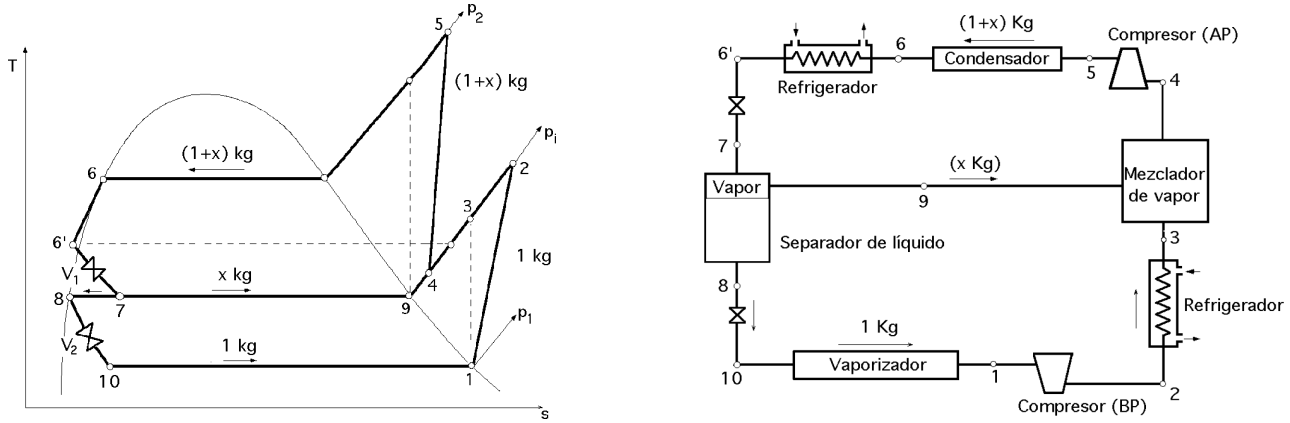


Fig XIII.22.- Ciclo con doble laminación y separador de líquido

Entalpía del estado (4) para (1+x) kg en el condensador: $i_4 (1 + x) = i_3 + x\, i_9 \quad \Rightarrow \quad i_4 = \dfrac{x\, i_9 + i_3}{1 + x}$

Potencia frigorífica del ciclo: $q_2 = i_1 - i_{10}$

Trabajo teórico de compresión es: $T_t = (i_2 - i_1)\ 1 + (i_5 - i_4)\ (1 + x)$

El trabajo real de compresión: $T_r = \dfrac{(i_2 - i_1)\ 1 + (i_5 - i_4)\ (1 + x)}{\eta_{isent}\ \eta_{mec}}$

Eficiencia del frigorífico: $COP = \dfrac{q_2}{T_r} = \dfrac{i_1 - i_{10}}{(i_2 - i_1)\ 1 + (i_5 - i_4)\ (1 + x)}\ \eta_{isent}\ \eta_{mec}$

XIII.11.- CICLO CON DOBLE LAMINACIÓN Y BARBOTEO Y REFRIGERACIÓN EXTERIOR

La diferencia con el sistema de enfriamiento intermedio de tipo abierto con ciclo de inyección total, radica en los sistemas de refrigeración exterior.

El fluido se comprime en forma de vapor saturado seco desde el estado 1 al estado 2, Fig XIII.23, realizándose a continuación un enfriamiento del mismo, a presión constante de 2 a 3. Desde el estado 3 el fluido va al separador de líquido, saliendo de él una mezcla de vapores de *(1+x)* kg en condiciones del estado 4, penetrando en la segunda etapa del compresor, en la que se comprime hasta las condiciones del estado 5. A partir de este estado experimenta un enfriamiento en el condensador hasta el estado 6', de temperatura igual a la del estado 3, como en el caso anterior.

Se expansiona en una primera válvula de estrangulamiento hasta el estado 7 y de aquí al separador de líquido; el líquido que sale del separador en condiciones del estado 8, experimenta una segunda laminación hasta el estado 9 penetrando en el vaporizador y realizando el efecto frigorífico. Para determinar el valor del vapor extraído en el separador *x,* se hace un balance de entalpías en el mismo:

$$i_3 + (1 + x)\, i_7 = (1 + x)\, i_4 + i_8 \quad \Rightarrow \quad x = \frac{(i_3 - i_8) - (i_4 - i_7)}{i_4 - i_7}$$

Trabajo teórico en el compresor: $T_t = 1\,(i_2 - i_1) + (1 + x)\,(i_5 - i_4)$

Trabajo real en el compresor: $T_r = \dfrac{1\,(i_2 - i_1) + (1 + x)\,(i_5 - i_4)}{\eta_{isent}\ \eta_{mec}}$

Eficiencia: $COP = \dfrac{q_{2r}}{T_r} = \dfrac{i_1 - i_6}{1\,(i_2 - i_1) + (1 + x)\,(i_5 - i_4)}\ \eta_{isent}\ \eta_{mec}$

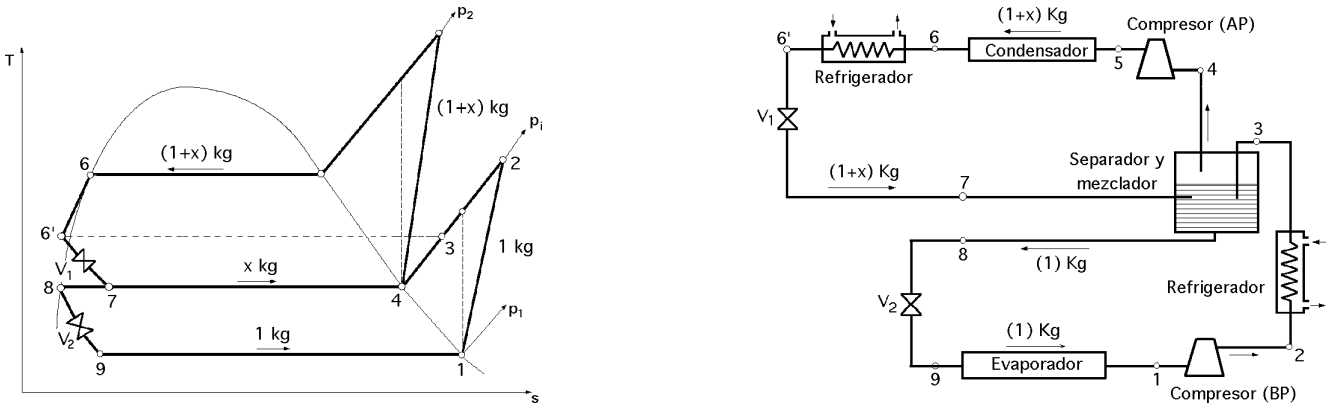


Fig XIII.23.- Ciclo con doble laminación y barboteo
(sistema con enfriador intermedio de tipo abierto con ciclo de inyección total)

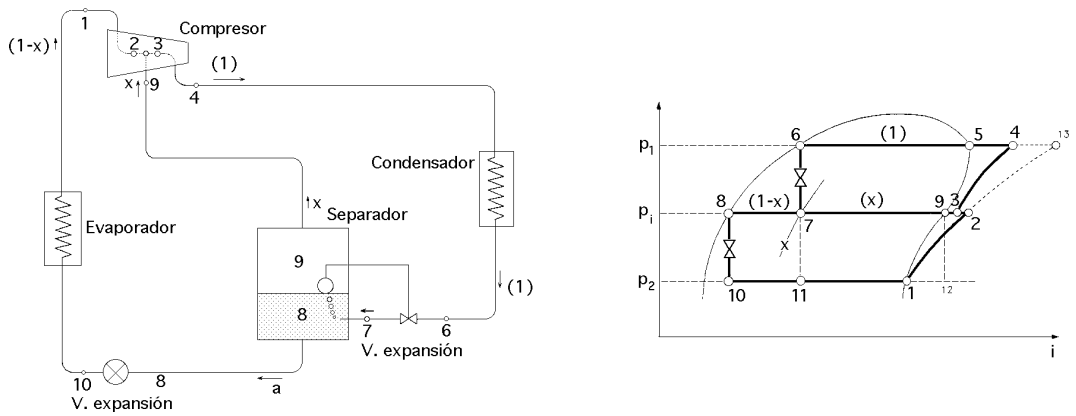


Fig XIII.24.- Compresor rotativo de tornillo de dos rotores con sobrealimentación (Circuito con depósito separador flash tank)

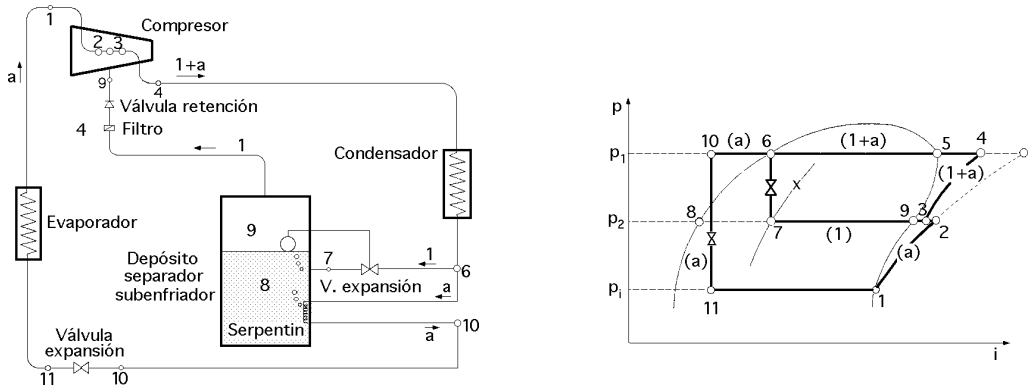


Fig XIII.25.- Compresor rotativo de tornillo de dos rotores con sobrealimentación (Circuito con depósito separador-subenfriador de líquido flash tank subcooler)

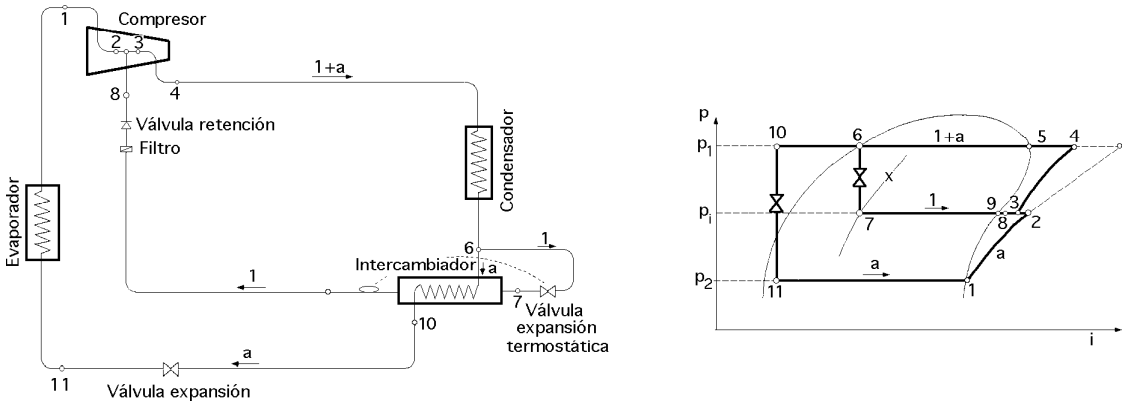


Fig XIII.26.- Compresor rotativo de tornillo de dos rotores con sobrealimentación (Circuito con intercambiador de calor de carcasa-haz tubular, shell-tube subcooler)

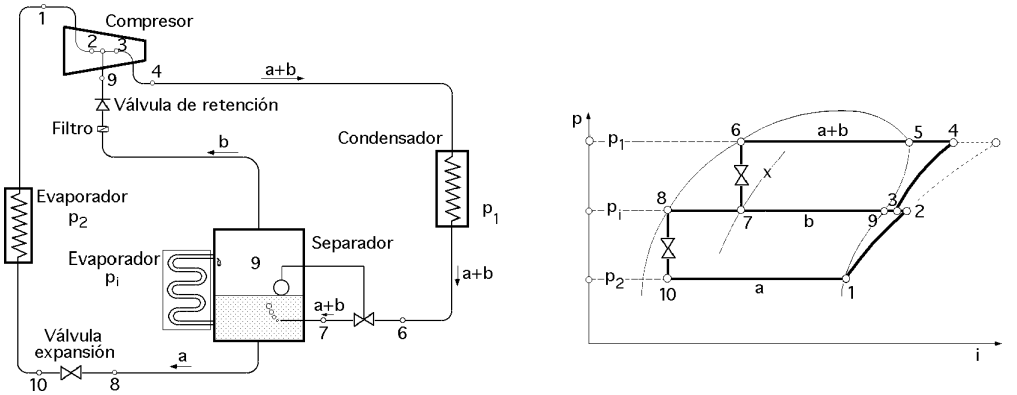


Fig XIII.27.- Compresor rotativo de tornillo de dos rotores con sobrealimentación (Circuito con un segundo evaporador)

XIII.12.- PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE CALOR

Del análisis del consumo de energía que se produce en nuestro país, la mayor parte, 50%, es consecuencia de la actividad industrial, del que el 67% se utiliza en procesos térmicos y entre el 35% y el 40% se elimina en procesos de bajo nivel térmico que, a priori, no se pueden aprovechar y que son la fuente ideal para las bombas de calor, siendo el sector industrial su principal campo de aplicación.

Otra aplicación importante de las bombas de calor, se presenta en los acondicionamientos invierno-verano, puesto que el circuito de la bomba de calor es un circuito frigorífico y en estas instalaciones se precisa eliminar calor al exterior en verano y absorberlo en la época invernal.

Para que la bomba de calor pueda realizar esta doble función, dispone de una válvula conmutadora que permite invertir el sentido de circulación del fluido.

Desde un punto de vista termodinámico, el ciclo que tiene lugar en la bomba de calor es un ciclo Rankine recorrido en sentido inverso. Se suministra energía a un compresor y se considera como energía útil la obtenida en forma de calor en el proceso de condensación.

En la práctica, este valor varía entre $2{,}5 \div 3{,}5$ llegando en algunos casos a valores de $4 \div 5$

Objetivo de la bomba de calor.- En un sistema convencional de refrigeración, de un foco a baja temperatura se absorbe una cierta cantidad de calor que se cede, incrementada, a un foco caliente, en el que se disipa, sin ser normalmente utilizada.

Sin embargo, este calor desprendido por el condensador se puede utilizar y las máquinas térmicas, diseñadas para este fin, se denominan bombas de calor, por cuanto realizan un transporte de calor desde un nivel de baja temperatura hasta otro nivel energético de mayor temperatura.

La bomba de calor permite recuperar la energía que en muchos procesos es necesario evacuar, sin posibilidad de ser aprovechada, debido a su baja temperatura y mediante un proceso térmico, hacerla nuevamente útil.

El principio de la bomba de calor, fue debido a Kelvin, que vió la posibilidad de:

- *Calentar una casa en invierno tomando calor del exterior*
- *Refrigerarla en verano enviando calor al medio exterior que ahora se encuentra a mayor temperatura*

Un fluido frigorígeno extrae calor q_2 de una fuente fría (potencia frigorífica) y elimina un calor q_1 hacia los alrededores (medio exterior) (potencia calorífica), absorbiendo una potencia T, siendo el objetivo principal la extracción de calor de la fuente fría. Sin embargo, el mismo ciclo básico se puede utilizar para el suministro de calor q_1 a un espacio habitable, como una casa, un edificio comercial, una residencia, oficinas, etc, de forma que en estos casos el calor proviene de los alrededores que están más fríos.

Producción simultanea de frío y calor.- El ciclo frigorífico de Carnot está representado en la Fig XIII.28 por el contorno (1234), mientras que el ciclo de la bomba de calor por el (abcd). Si se intenta obtener simultáneamente calor y frío, se pueden reunir los dos ciclos en un ciclo común (ABCD), que tiene la ventaja de poder trabajar con un solo fluido, un solo compresor y un sólo expansionador, Fig XIII.29.

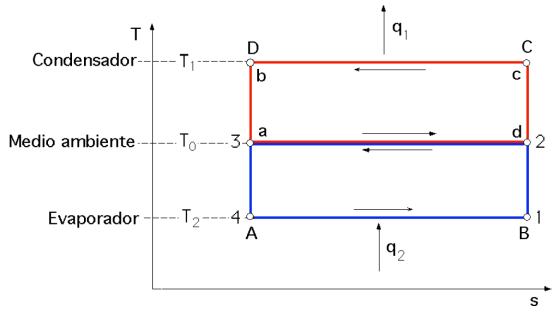


Fig XIII.28.- Producción simultánea de frío y de calor

El inconveniente del ciclo combinado radica en la relación constante entre el calor y el frío producidos, ya que no se intercambia calor con el medio ambiente.

La cantidad de calor tomada del local a refrigerar viene dada por q_2 y viene relacionada con el calor cedido a la calefacción por: $q_1 = q_2 + T$

El coeficiente de efecto frigorífico del ciclo es $\varepsilon = \dfrac{q_2}{T}$

El coeficiente de utilización o efecto útil ε_u está caracterizado por la suma de los calores puestos en juego, respecto al trabajo aplicado, en la forma:

$$\varepsilon_u = \frac{q_1 + q_2}{T} = \left| \, q_1 = q_2 + T \, \right| = \frac{q_2 + T + q_2}{T} = \frac{2\,q_2}{T} + 1 = 2\,\varepsilon + 1$$

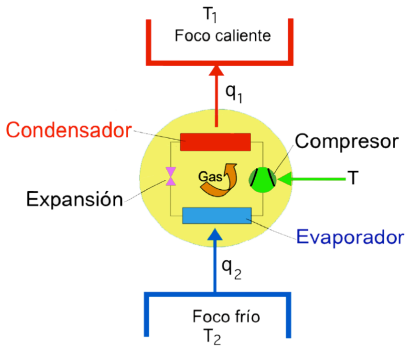


Fig XIII.29.- Esquema de bomba de calor

por lo que el calor cedido al foco de temperatura superior es superior al trabajo suministrado.

Las irreversibilidades reducen el valor del coeficiente de utilización ε_u ; en la práctica, el ciclo común (máquina frigorífica-bomba de calor), se puede realizar en instalaciones con fluidos condensables, o con aire. En un frigorífico a régimen seco, la temperatura de condensación es similar a la temperatura del medio ambiente y el calor de recalentamiento se aplica al fluido frigorífico a una temperatura superior a la del medio ambiente. De esta forma, el condensador puede ir precedido por un intercambiador de calor en el que el calor de recalentamiento se emplea para recalentar agua, que posteriormente se puede utilizar como calefacción; la temperatura que adquiere el agua de calefacción puede ser sensiblemente la misma que tenga el fluido al final de la compresión.

En una máquina clásica, el calor cedido al agua de la calefacción viene a ser del orden de un 50% del calor cedido al condensador. En la instalación combinada puede aumentarse la presión de compresión para elevar el nivel de temperatura de condensación. Sin embargo, este aumento de presión no siempre es posible, dependiendo sobre todo del tipo de fluido que evolucione, que tal vez la relación de compresión haga el proceso impracticable.

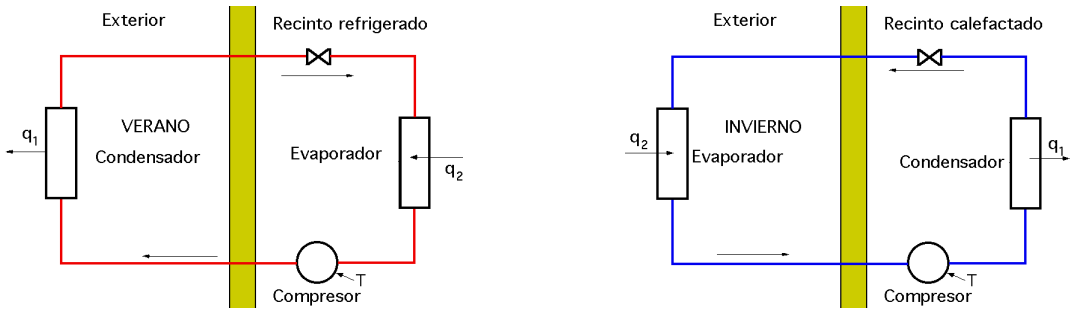


Fig XIII.30.- Esquemas de funcionamiento de una bomba de calor

Por ejemplo, en una instalación de *amoniaco*, en principio se puede realizar el ciclo combinando (máquina frigorífica-bomba de calor). Para obtener una temperatura de condensación de 120°C a partir de una temperatura de evaporación de -20°C, la relación de compresión debe ser del orden de 55, valor difícilmente realizable con las condiciones tecnológicas actuales.

Si el fluido es *gas carbónico*, la presión final de compresión es del orden de 120 atm y la relación de compresión de 8, para una temperatura de vaporización $T_0 \approx$ -20°C.

Si por necesidades técnicas se utiliza el calor únicamente en el intervalo de temperaturas 70÷125ºC, mientras que el resto de la refrigeración se efectúa con intercambio de calor con el medio ambiente, la energía eléctrica necesaria para la compresión es prácticamente igual al calor utilizado, mientras que en el mismo tiempo se produce una cantidad notable de frío. Para 1 Kcal de energía eléctrica utilizada se obtiene 1,2 Kcal de frío.

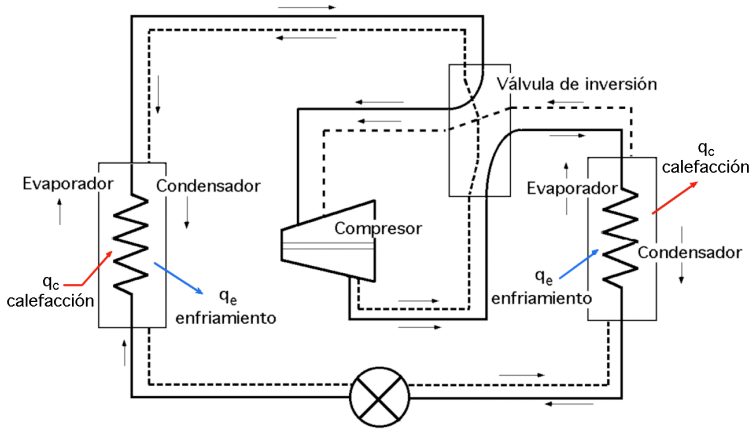


Fig XIII.31.- Ciclo de la bomba de calor

La bomba de calor moderna combina, en la misma máquina, la calefacción y la refrigeración de un cierto espacio.

- Cuando se necesita enfriamiento, el sistema de bomba de calor funciona como un acondicionador de aire, extrayendo un calor q_2 de un espacio habitable y eliminando al exterior del edificio un calor q_1

En esta operación se tiene, $COP_{enfriamiento} = \dfrac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1}$

- Cuando la bomba de calor funciona como calefacción, en invierno, extrae calor del medio y la disipa en el espacio habitable, siendo:

En esta operación se tiene: $COP_{calefacción} = \dfrac{i_2 - i_3}{i_2 - i_1}$

La eficiencia de la bomba de calor COP, es la relación entre la energía útil obtenida de la bomba de calor (calefacción y refrigeración) y la empleada en el compresor, de la forma:

$$COP_{Bomba\ de\ calor} = \frac{(i_2 - i_3) + (i_1 - i_4)}{i_2 - i_1}$$

El rendimiento de una bomba de calor cuando opera como calefacción aumenta si la diferencia de temperatura $(T_2 - T_1)$ disminuye, al igual que ocurre en un refrigerador a un acondicionador de aire. La bomba de calor puede aportar el 30% de las necesidades máximas del edificio en un día muy frío con temperatura exterior de 3ºC.

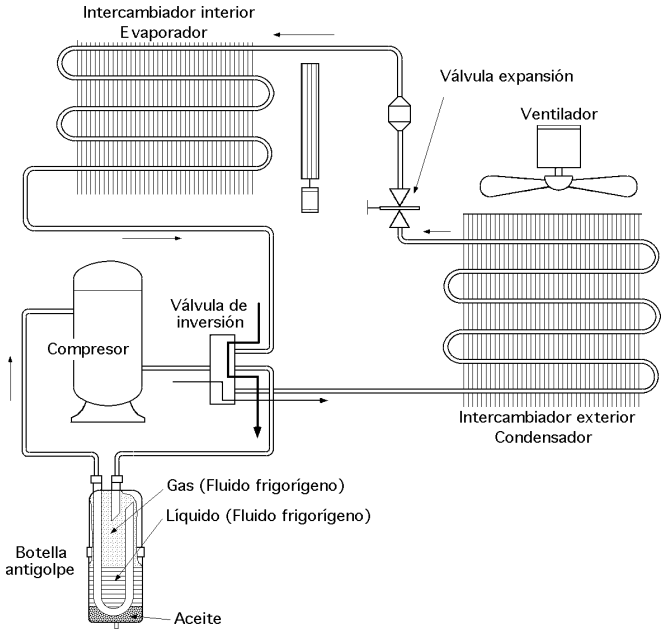


Fig XIII.32.- Bomba de calor funcionando en situación de verano (Refrigeración)

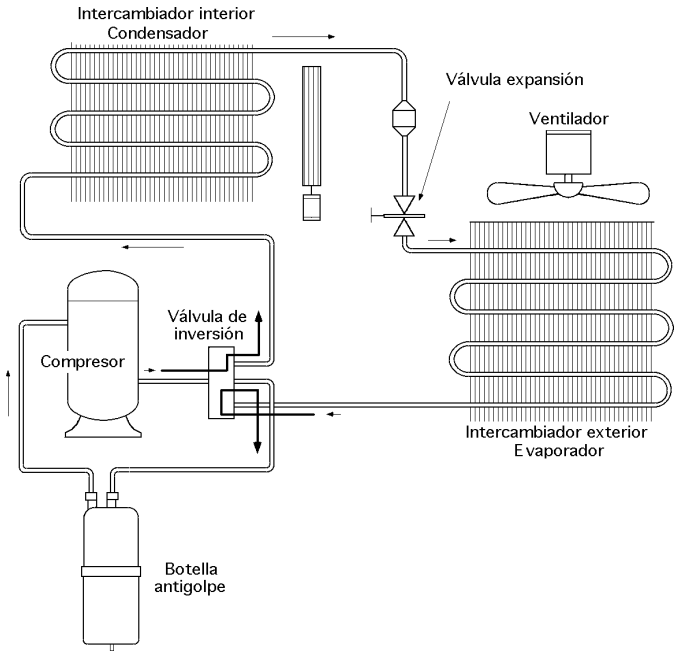


Fig XIII.33.- Bomba de calor funcionando en situación de invierno (Calefacción)

Normalmente, en épocas intermedias, aporta el 70% de las necesidades totales. Si se usa una bomba de calor para el acondicionamiento de aire de un edificio, el evaporador se encuentra dentro del edificio y el condensador en el exterior; en la operación como calefactor, el evaporador se encuentra, en el exterior del edificio y el condensador en el interior. No es rentable tener dos juegos del equipo o tener que darle la vuelta, por lo que cada uno de los intercambiadores de calor (uno dentro y el otro fuera del edificio) deben funcionar como condensador y como evaporador, según el tipo de operación; ésto se consigue mediante una válvula de inversión del ciclo, Fig XIII.31. La línea llena indica la dirección del flujo para el funcionamiento como calefactor y la línea a trazos es para el modo de enfriamiento. Se observa que la dirección del flujo por el compresor es siempre la misma, sin importar el modo de operación.

XIII.13.- BOMBA DE CALOR ASISTIDA POR COLECTORES SOLARES

En el esquema presentado en la Fig XIII.34 se puede ver el funcionamiento de una instalación mixta a base de bomba de calor industrial apoyada con colectores de caucho para calefactar el edificio objeto de estudio. La energía solar captada por el campo de colectores se almacena en un tanque enterrado. La bomba de calor industrial utilizada permite bombear la energía del tanque, que se mantiene a un nivel térmico bajo, hasta el nivel de utilización de la calefacción.

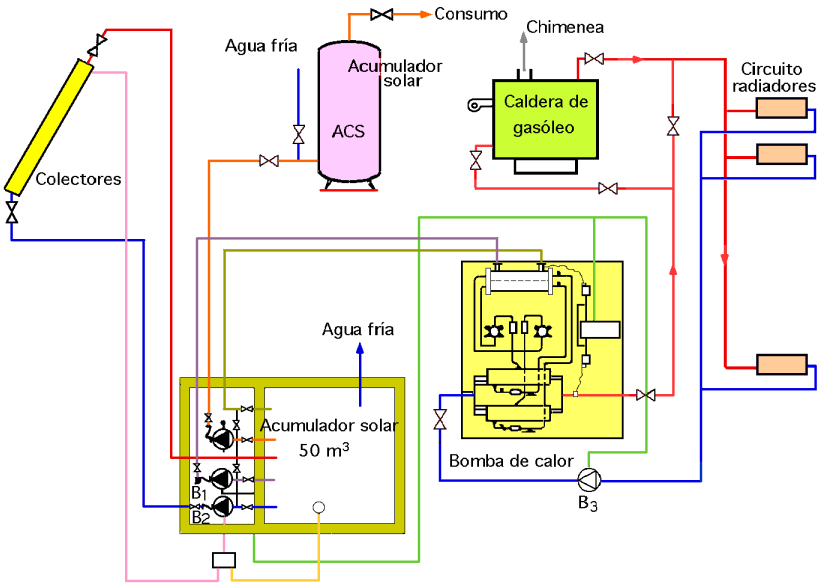


Fig XIII.34.- Instalación mixta bomba de calor industrial apoyada con colectores solares-caldera de gasóleo

Tal y como se puede ver en el esquema, la bomba de calor se ha colocado en serie con la caldera, lo que permite en períodos de una demanda energética alta, trabajar con una temperatura del condensador inferior a la de entrada al circuito de calefacción que repercute en una mejora del COP de la máquina. La bomba de circulación B_1 del circuito colectores-acumulador se pondrá en funcionamiento en cuanto el termostato diferencial detecte una diferencia de temperatura entre la salida de

los colectores y la parte inferior del acumulador superior a 2ºC, parándose al reducirse esta diferencia a 0,2ºC.

Al diseñar la instalación se ha previsto la posibilidad de alimentar los colectores directamente con el agua de retorno del evaporador, con lo que dichos colectores trabajarán con una mejor eficiencia debido a la menor temperatura del fluido caloportador.

La bomba B_2 está comandada por las necesidades energéticas del circuito de calefacción manteniéndose en funcionamiento siempre que la bomba de calor lo esté. Cuando la temperatura de la parte superior del acumulador sea igual o inferior a 9ºC la bomba B_2 se parará y la instalación funciona únicamente con la caldera de gasóleo. La bomba de calor puede aportar el 30% de las necesidades máximas del edificio en un día muy frío con una temperatura exterior de 3ºC. Normalmente, en épocas intermedias, aporta el 70% de las necesidades totales.

XIII.14.- MAQUINAS FRIGORÍFICAS DE EYECTOR

Las máquinas frigoríficas de eyector utilizan vapor de agua, y las temperaturas de trabajo son superiores a 0°C; el vapor del fluido frigorígeno x que proviene del vaporizador E penetra en la cámara de mezcla H, Fig XIII.35; en esta cámara penetra asimismo, a través de un eyector, el vapor del fluido que proviene de un generador *(1 - x)* en el que ha recibido una cierta cantidad de calor q_g.

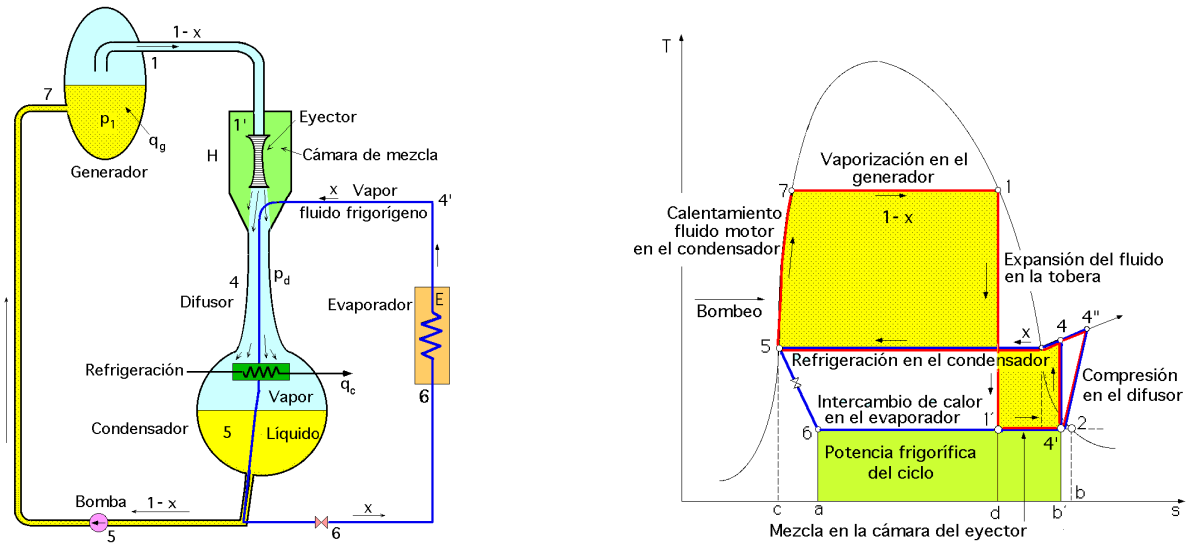


Fig XIII.35.- Máquina frigorífica de eyector

La mezcla de los dos vapores atraviesa un difusor, en el que se comprime a la presión $p_d = p_4$ una cierta cantidad de calor q_C se elimina en el condensador que está dividido en dos circuitos, uno, que lleva una fracción x del fluido a una válvula de estrangulamiento, adquiriendo la presión p_6 del evaporador, en donde se va a originar el efecto frigorífico, no alcanzándose en el mismo las condiciones del punto 2 de vapor saturado seco, sino que debido a la presencia de la cámara de mezcla con eyector, su título de entrada en el difusor, donde se va a comprimir, es menor que la unidad; en el se-

gundo circuito, con ayuda de una bomba por la que pasa una cantidad de fluido *(1 - x)* se aumenta su presión hasta alcanzar la del generador p_1, calentándose este líquido en el condensador. Este calor proviene del fluido *x* que en su condensación cede calor al líquido *(1 - x)*.

Así pues, en estas máquinas frigoríficas se distinguen dos tipos de ciclos:

a) El (4´4564') por el que circulan *x* kg de fluido frigorígeno, no difiere de las máquinas frigoríficas con compresor.

- *La transformación (6-2) se corresponde con el intercambio de calor en el vaporizador*
- *La (2-4) representa el proceso de mezcla en la cámara del eyector*
- *La (4'-4) representa la compresión en el difusor*
- *La (4-5) representa la refrigeración en el condensador*
- *La expansión isentálpica (5-6) introduce al fluido en el vaporizador, cerrándose así este circuito*

b) El segundo ciclo, por el que circulan *(1 - x)* kg de fluido, se compone de:

- *La transformación (1-1´) que representa la expansión del fluido en el eyector*
- *La (1´-4´) que representa la mezcla en la cámara del eyector*
- *La (4´-4) que representa la compresión en el difusor*
- *La (4-5) que representa la condensación del fluido motor*
- *La (5-7) que representa el calentamiento del fluido motor en el generador*

La única parte móvil en este circuito es la bomba para el líquido *(1 - x)*, circuito que proporciona la fuerza motriz del circuito del vaporizador, que es el que origina el efecto frigorífico, y en el que no existe ningún tipo de mecanismo móvil, ya que la compresión del fluido se realiza en el difusor. En este tipo de máquinas frigoríficas se puede utilizar el vapor de agua como fluido frigorígeno, lo cual evita la contaminación de los locales por los efectos nocivos de otros fluidos frigorígenos, lo cual hace apropiadas estas máquinas para su utilización en instalaciones de acondicionamiento de aire; sus temperaturas de trabajo están por encima de 0°C.

XIII.15.- FRIGORÍFICOS DE ABSORCIÓN

El sistema de refrigeración por absorción, patentado en 1860 en USA por el francés Ferdinand Carré, funciona por calor, y utiliza un fluido frigorígeno que es absorbido y liberado, alternativamente, por el absorbente. Resulta un sistema de absorción tipo, ya que el compresor de un sistema de fluido condensable se sustituye por el conjunto generador-absorbedor del ciclo de absorción; en la Fig XIII.36 se representa un esquema del método de absorción.

El fluido frigorígeno es el amoníaco y el absorbente es el agua. Los ciclos por absorción tienen algunas características comunes con los ciclos por compresión de vapor, pero difieren de ellos en dos aspectos importantes, como:

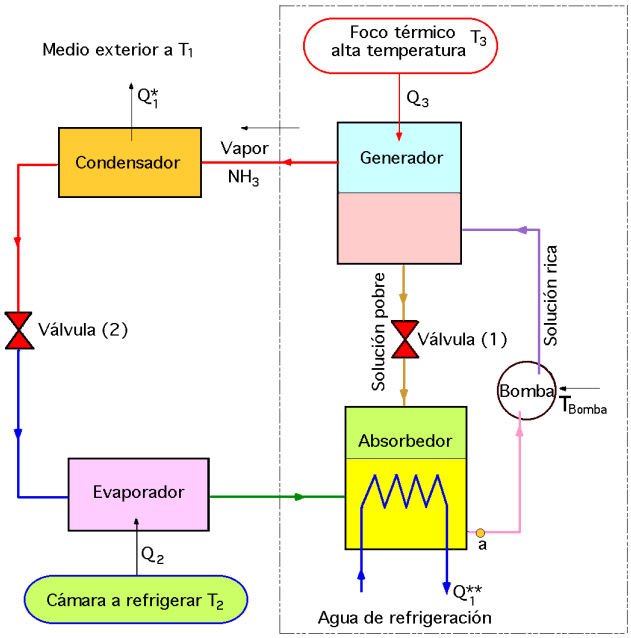


Fig XIII.36.- Esquema de sistema de absorción (amoníaco-agua), para refrigeración

a) La naturaleza del proceso de compresión, ya que en vez de una compresión de vapor entre el evaporador y el condensador, en el ciclo de absorción el refrigerante es absorbido por una sustancia secundaria (absorbente), para formar una solución líquida que se comprime hasta altas presiones. Como el volumen específico medio de la solución líquida es mucho menor que el volumen específico medio del vapor del refrigerante, el trabajo necesario es menor, por lo que los sistemas de refrigeración por absorción tienen la ventaja, respecto a los sistemas con compresión de vapor, de necesitar menor potencia para la compresión.

b) En los sistemas por absorción se debe introducir un medio para recuperar el refrigerante vapor, a partir de la solución líquida, antes de que el refrigerante entre en el condensador, lo cual supone transferir calor desde una fuente a temperatura relativamente alta, por lo que son particularmente económicos los vapores y calores residuales que de otra manera serían evacuados al ambiente sin aprovecharse.

La fuente de calor se puede obtener, por ejemplo, quemando gas natural o algún otro combustible, o utilizar fuentes de energía alternativas tales como la solar, Fig XIII.40, y la geotérmica, Fig XIII.42.

En la Fig XIII.36 se muestran esquemáticamente los componentes principales de un sistema de refrigeración por absorción, en el que el refrigerante es amoníaco y el absorbente es agua.

El amoníaco pasa a través del condensador, la válvula de expansión y el evaporador en la misma secuencia que en un sistema con compresión de vapor. El compresor es sustituido por el conjunto absorbedor, bomba, generador y válvula. En el vaporizador se evapora el fluido frigorígeno, por lo que se produce frío; es una zona de bajas presiones y temperaturas.

El vapor de amoníaco llega al absorbedor donde es absorbido mediante una reacción exotérmica con la solución pobre de amoníaco que había en el generador y que pasa al absorbedor a través de una válvula de estrangulamiento 1. El líquido resultante con alto contenido en NH_3, se comprime con una bomba, y mediante un intercambiador de calor, Fig XIII.37, se lleva nuevamente al generador donde vuelve a iniciarse el ciclo. La misión del intercambiador es la de mejorar el rendimiento del ciclo.

El *absorbedor* es un dispositivo en el que el vapor del fluido frigorígeno (refrigerante), es absorbido por un líquido (absorbente), resultando una mezcla líquida. En el absorbedor, el agua líquida absorbe el amoníaco vapor procedente del evaporador, siendo la formación de esta solución líquida exotérmica.

Como la cantidad de amoníaco que puede disolverse en agua aumenta cuando la temperatura de la solución disminuye, alrededor del absorbedor circula agua de refrigeración para retirar la energía liberada Q_1^{**} al entrar el amoníaco en la solución, y mantener la temperatura del absorbedor lo más baja posible. La solución rica de amoníaco-agua deja el absorbedor y entra en la bomba, donde aumenta su presión hasta la del generador.

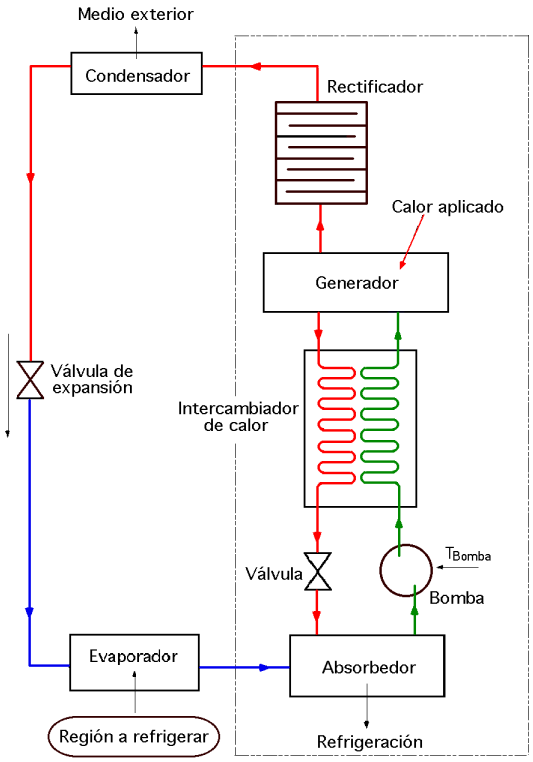


Fig XIII.37.- Esquema modificado del frigorífico de absorción (amoníaco-agua)

Al *generador* llega proveniente del absorbedor, una mezcla rica de amoníaco-agua; al calentar esta mezcla Q_3 se evapora el amoníaco y pasa al condensador donde licúa; a continuación pasa a una válvula 2 de estrangulamiento, disminuyendo su presión, y llega al vaporizador donde se evapora,

extrayendo la energía Q_2 de la cámara a enfriar y produciendo por lo tanto el efecto frigorífico.

En el generador se produce un aumento de la temperatura del líquido, con lo que se desprende vapor de uno de los dos fluidos, debido a su diferente miscibilidad produciéndose dos salidas de fluidos, una de vapor de fluido frigorígeno hacia el condensador NH_3, y la otra, de líquido con bajo contenido de fluido frigorígeno, caliente, hacia el intercambiador (cuando exista) y el absorbedor, (solución pobre).

En el generador, el calor Q_3 transferido desde una fuente a temperatura relativamente alta T_3 hace que el vapor de amoníaco salga de la solución (proceso endotérmico), dejando una solución pobre de amoníaco-agua en el generador. El vapor liberado pasa al condensador donde licúa, y la solución pobre restante fluye a través de la válvula 1 hacia el absorbedor.

El trabajo consumido es el necesario para hacer funcionar la bomba, siendo pequeño en comparación con el trabajo que se necesita para comprimir un refrigerante vapor entre los mismos niveles de presión. Sin embargo, los costes asociados con la fuente de calor y con los equipos que no se necesitan en los sistemas con compresión de vapor pueden cancelar la ventaja del menor trabajo de compresión.

Los sistemas de amoníaco-agua empleados habitualmente tienen algunas modificaciones respecto al ciclo de absorción simple considerado; dos de las modificaciones comunes se indican en la Fig XIII.37. En este ciclo se incluye un intercambiador de calor entre el generador y el absorbedor que permite precalentar la solución rica de amoníaco-agua antes de entrar en el generador, mediante la solución pobre que va desde el generador al absorbedor, reduciéndose el calor transferido al generador.

La otra modificación que se indica es el rectificador, colocado entre el generador y el condensador; su función es retirar las trazas de agua contenidas en el refrigerante, antes de entrar en el condensador, lo que elimina la posibilidad de formación de hielo en la válvula de expansión y en el evaporador.

Hay que tener en cuenta que el agua puede llegar a solidificar por debajo de la temperatura que se adquiere en el vaporizador y, por lo tanto, es muy importante que nunca llegue agua al mismo, para evitar así el problema citado, y que de producirse podría obstruir y bloquear las tuberías. Debido a que la temperatura de solidificación del amoníaco, a presión atmosférica, se encuentra a -40°C, este método se puede utilizar desde procesos de climatización, hasta túneles de refrigeración.

En el funcionamiento del ciclo, el fluido *amoníaco+agua* toma Q_3 calorías en el generador, a la temperatura T_3, comunicando de esta forma al fluido una energía T de la forma:

$$T = Q_3 \ \frac{T_3 - T_1}{T_3} = Q_3 \ (1 - \frac{T_1}{T_3})$$

en donde la temperatura T_1 es la del medio ambiente.

El fluido toma Q_2 calorías en el vaporizador, a la temperatura T_2 del foco frío; se tiene que:

$$T_3 > T_1 > T_2$$

El fluido cede $Q_{1'}$ en el condensador al medio ambiente, y $Q_{1''}$ en el absorbedor también al medio ambiente. Se puede admitir que cede al medio ambiente Q_1 calorías, es decir:

$$Q_1 = Q_{1'} + Q_{1''}$$

La eficiencia del refrigerador es: $COP = \dfrac{Q_2}{Q_3}$

Aplicando los Principios Segundo y Primero de la Termodinámica se tiene:

$$\Delta s = \frac{Q_1}{T_1} - \left(\frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_3}{T_3}\right) = \left| Q_1 = Q_2 + Q_3 \right| = \frac{Q_2 + Q_3}{T_1} - \left(\frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_3}{T_3}\right) = Q_2\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) + Q_3\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_3}\right)$$

$$Q_2 = \frac{\Delta s}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} - Q_3 \frac{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_3}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} = \frac{\Delta s}{\frac{T_2 - T_1}{T_1\ T_2}} - Q_3 \frac{\frac{T_3 - T_1}{T_3}}{\frac{T_2 - T_1}{T_2}} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}\left(T_1 \Delta s - Q_3 \frac{T_3 - T_1}{T_3}\right)$$

por lo que el COP del refrigerador es:

$$COP = \frac{Q_2}{Q_3} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}\left(\frac{T_3 - T_1}{T_3} - T_1 \frac{\Delta s}{Q_3}\right) = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \frac{T_3 - T_1}{T_3}\left(1 - \frac{T_1 \Delta s}{Q_3 \frac{T_3 - T_1}{T_3}}\right)$$

Si no existen irreversibilidades internas y externas $\Delta s = 0$, y se obtiene en consecuencia, para valor máximo de la eficiencia:

$$\eta_{máx} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \frac{T_3 - T_1}{T_3} = \frac{T_2}{T_3} \frac{T_3 - T_1}{T_1 - T_2}$$

El coeficiente de utilización del calor ξ_r , o eficiencia, es proporcional al coeficiente de efecto frigorífico real pudiéndose poner:

$$\xi_r = \frac{T_3 - T_1}{T_3}\ \varepsilon_r = \left(1 - \frac{T_1}{T_3}\right) \varepsilon_r = \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon}$$

siendo ε_r el coeficiente de efecto frigorífico real, de la forma:

$$\varepsilon_r = \frac{T_2}{T_1 - T_2}\left(1 - \frac{T_1\ \Delta s}{Q_3\ \frac{T_3 - T_1}{T_3}}\right) = \frac{T_2}{T_1 - T_2}\left(1 - \frac{T_3}{Q_3} \frac{T_1\ \Delta s}{T_3 - T_1}\right)$$

Otro tipo de sistema de absorción es el que utiliza bromuro de litio como absorbente y agua como refrigerante; los principios básicos de operación son los mismos que para los sistemas amoníaco-agua.

Para obtener refrigeración a temperaturas menores que las posibles con agua como refrigerante se puede combinar el sistema de absorción *bromuro de litio-agua* con otro ciclo que use un refrigerante con buenas características a bajas temperaturas, tal como el amoníaco, para formar un sistema de refrigeración en cascada.

XIII.16.- FRIGORÍFICO SERVEL-ELECTROLUX

Fue inventado por los ingenieros suecos Carl Munters y A. von Platen, cuando eran aún estudiantes en el Real Instituto de Tecnología de Estocolmo.

La característica más destacada de este ciclo de refrigeración es el proceso de estrangulamiento, en el cual la sustancia refrigerante pasa de una región de elevada presión, a otra de menor presión, experimentando así un descenso de unos 40°C a 50°C.

Para usos domésticos la caída de presión es de unas 10 atm, diferencia de presión que se mantiene generalmente mediante una bomba o compresor accionado por un motor eléctrico, lo cual implica la existencia de partes móviles con problemas de ruido, vibraciones, lubricación, etc.; además, para mantener la temperatura constante precisa de un termostato que ponga en marcha el motor cuando la temperatura se eleve por encima de un límite fijado, o lo detiene cuando descienda por debajo de otro valor asimismo prefijado.

El sistema Servel-Electrolux introduce una modificación muy interesante, y es que la sustancia refrigerante describe un ciclo sin emplear maquinaria que tenga partes móviles, Fig XIII.38, funcionando continuamente; esta sustancia refrigerante es gas amoníaco liberado de una disolución acuosa y transportado de una parte a otra mediante una atmósfera de hidrógeno.

La presión total, suma de las presiones parciales del amoniaco y del hidrógeno es constante en todos los puntos del sistema y por lo tanto no hay necesidad de ningún tipo de válvulas. Durante un ciclo completo no hay cambio de energía, ni se realiza trabajo externo, por lo que:

$$Q_2 + Q_3 = Q_1^* + Q_1^{**}$$

dado que Q_2 representa el beneficio obtenido y Q_3 lo aportado, la eficiencia es de la forma:

$$\frac{Q_2}{Q_3} = \frac{Q_1^* + Q_1^{**} - Q_3}{Q_3} = \frac{Q_1^* + Q_1^{**}}{Q_3} - 1$$

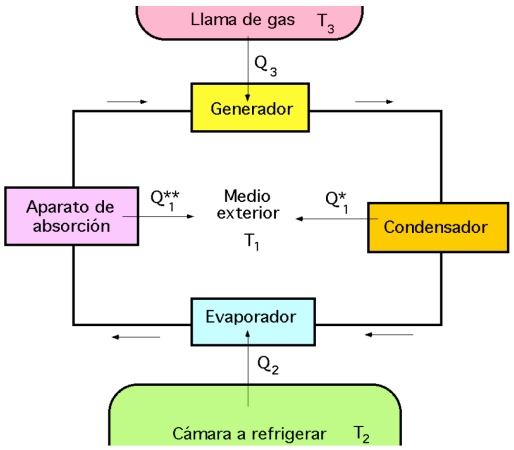


Fig XIII.38.- Esquema del frigorífico Servel-Electrolux

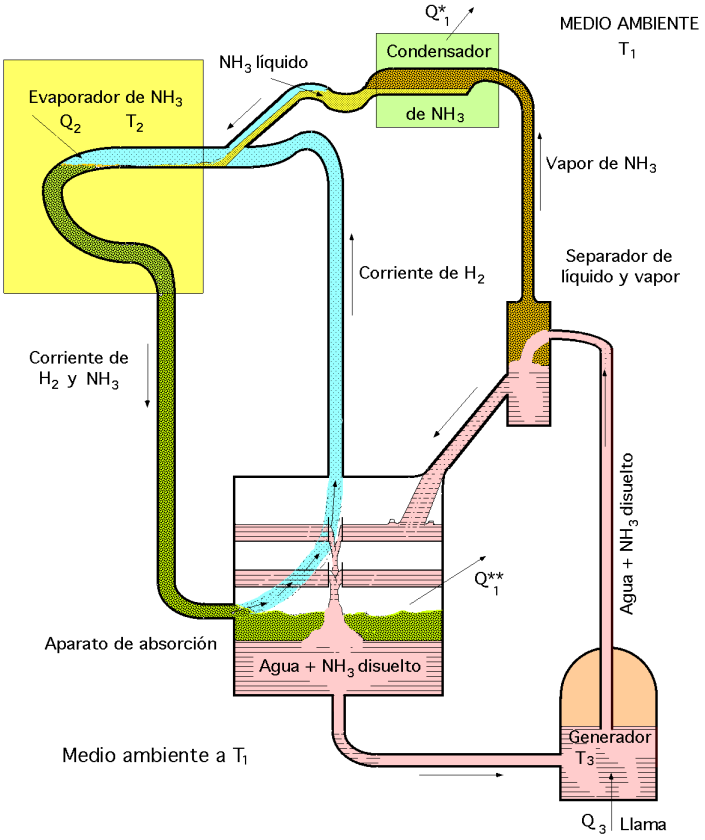


Fig XIII.39.- Esquema del funcionamiento del frigorífico Servel-Electrolux

La misión de la válvula viene desempeñada por el hidrógeno que existe en el evaporador a presión suficiente para que el amoniaco disminuya su presión parcial por debajo de la de saturación y pueda evaporarse rápidamente, por ser grande la superficie, pero sin llegar a la ebullición.

Al mezclarse el hidrógeno (gas) y el amoniaco (líquido), como la presión es constante a lo largo del circuito, resulta que la presión parcial del amoniaco disminuye, por lo que se evapora rápidamente. El funcionamiento del frigorífico Servel-Electrolux, Fig XIII.39, se comprende mejor observando que hay tres circuitos completos distintos, los cuales funcionan simultáneamente.

Circuito del amoníaco.- Por el tubo elevador de líquido ascienden gotitas de agua que llevan disuelto amoníaco y están separadas por pequeñas cantidades de vapor de esta última sustancia. Desde el separador de líquido y vapor, el vapor de amoniaco sube hasta el condensador, enfriado con ayuda de aletas, donde licúa.

Se encuentra entonces con una corriente de hidrógeno y vaporiza en ella durante su paso por el evaporador, tomando así calor de la cámara a refrigerar. La mezcla de vapor de amoniaco e hidrógeno entra entonces en contacto con agua en el aparato de absorción, disolviéndose el amoniaco en el agua y continuando el hidrógeno su circuito.

El amoniaco disuelto vuelve después al generador.

Circuito del agua.- Desde el separador de líquido y vapor, el agua baja hacia el aparato de absorción, donde disuelve el vapor de amoniaco.

Circuito del hidrógeno.- El hidrógeno, no soluble en agua, abandona el aparato de absorción y penetra en el evaporador, donde facilita la vaporización del amoníaco líquido.

El hidrógeno, mezclado con vapor de amoníaco, vuelve al aparato de absorción, donde se disuelve el amoniaco y queda libre de nuevo el hidrógeno.

El ciclo de refrigeración del frigorífico Servel-Electrolux se representa esquemáticamente en la forma indicada en la Fig XIII.39. De la llama de gas se toma el calor Q_3 a la temperatura T_3, del foco frío se extrae el calor Q_2 a la temperatura T_2 y se ceden los calores Q_1^* y Q_1^{**} al medio exterior que se encuentra a la temperatura ambiente.

XIII.17.- REFRIGERACIÓN SOLAR POR ABSORCIÓN

Para el funcionamiento de enfriadores de absorción por energía solar se pueden utilizar dos técnicas:

- La primera consiste en utilizar enfriadores continuos, similares en su construcción y funcionamiento a las unidades convencionales de gas o de fluidos condensables; la energía se suministra al generador desde el sistema colector solar-almacenamiento auxiliar siempre que las condiciones dentro del edificio indiquen la necesidad de refrigeración.

- La segunda consiste en usar enfriadores intermitentes, similares a los empleados en la refrigeración de alimentos, comercializados desde hace muchos años en zonas rurales antes de que se extendiese la refrigeración por compresión y la electrificación. No se utilizan enfriadores intermitentes para acondicionamiento de aire, ni tampoco se han hecho grandes estudios que aconsejen su posible aplicación al acondicionamiento de aire por energía solar.

La experiencia demuestra que es posible adaptar colectores de placa plana para funcionar con

ciclos frigoríficos de absorción; en la Fig XIII.40 se muestra un esquema de una disposición en éste sentido. La influencia de los límites actuales de las temperaturas sobre el funcionamiento de los colectores de placa plana, hace que sólo se puedan considerar máquinas comerciales con sistemas de bromuro de *litio-agua* (Li-Br-H_2O) que requieren agua de refrigeración para enfriar el absorbedor y el condensador, por lo que su empleo puede llegar a requerir el uso de una torre de refrigeración.

La utilización de enfriadores de *amoniaco-agua* resulta difícil debido a las altas temperaturas necesarias en el generador. El utilizar enfriadores diseñados para funcionar por energía solar proporciona generadores con temperaturas de funcionamiento inferiores, lo que implica mejores niveles de entrada de energía al generador desde el colector y mejor funcionamiento dentro de un determinado rango de temperaturas. Si las exigencias de la refrigeración (más que las cargas de calefacción) son las que fijan el tamaño de la superficie colectora, resulta ventajoso diseñar enfriadores con rendimientos más altos de lo normal; por ejemplo, para disminuir las exigencias de entrada de energía se pueden utilizar evaporadores de doble efecto, lo que implica que tanto las condiciones como las restricciones para el funcionamiento con energía solar, pueden dar lugar a diseños de refrigerantes distintos a los utilizados para funcionar con combustibles en sistemas convencionales.

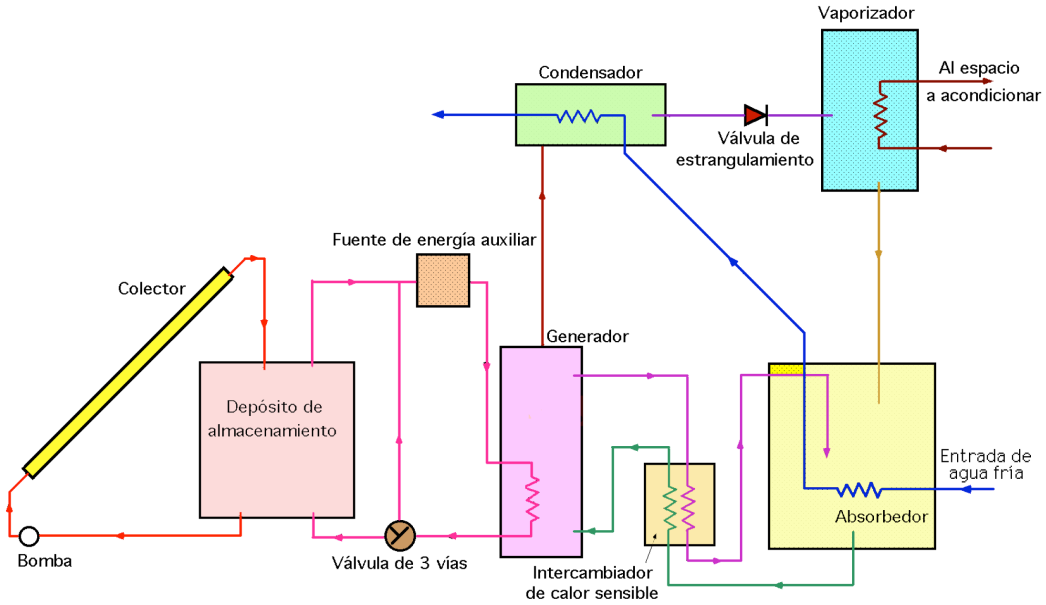


Fig XIII.40.- Esquema de un sistema de acondicionamiento de aire por absorción, accionado por energía solar

El enfriamiento continuo por absorción mediante procedimientos solares para la refrigeración solar, presenta sistemas que son técnicamente factibles como un acondicionador de aire de *bromuro de litio-agua* (Li-Br-H_2O) ligeramente modificado en el sentido de permitir el suministro de agua caliente al generador en lugar de vapor.

Los estudios analíticos del funcionamiento del conjunto formado por un enfriador de (Li-Br-H_2O) y un colector de placa plana, se han realizado con el fin de identificar los parámetros críticos de di-

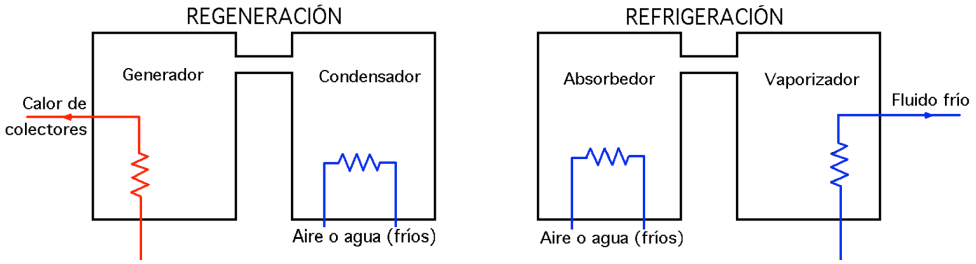
seño y calcular los efectos de las condiciones de trabajo, como el diseño del intercambiador de calor sensible entre el absorbedor y el generador, la temperatura del agua de refrigeración y el diseño del generador, que resulta más crítico aquí que en los enfriadores a partir de combustibles, debido al funcionamiento acoplado del colector y el enfriador. Un cálculo de costes indica que el funcionamiento de este conjunto resulta competitivo con los sistemas de compresión que funcionan eléctricamente.

Estudios realizados con energía solar en una serie de enfriadores de *amoniaco-agua*, que utilizan colectores de placa plana, sin almacenamiento, determinaron que el rango de temperaturas para el suministro del agua al generador tenía que estar comprendido entre 60°C y 90°C, no especificándose la temperatura del agua del condensador. Las concentraciones del amoniaco en el absorbedor y en el generador están comprendidas entre el 58% y el 39%, con funcionamiento continuo y ritmo variable según el suministro de energía.

XIII.18.- ENFRIAMIENTO POR ABSORCION DE FORMA INTERMITENTE

El enfriamiento por absorción de forma intermitente constituye una alternativa a los sistemas continuos; los trabajos realizados sobre estos ciclos, se han dirigido principalmente a la refrigeración para la conservación de alimentos más que a los sistemas de climatización.

En los ciclos de acondicionamiento de aire, la destilación del refrigerante del absorbente se realiza durante la etapa de regeneración, condensándose y almacenando el refrigerante; durante la etapa de enfriamiento del ciclo, el refrigerante se evapora y queda reabsorbido. Un esquema sencillo de estos procesos se muestra en la Fig XIII.41, realizándose el almacenamiento en forma de absorbente y refrigerante separados.



Izquierda ciclo de regeneración. Derecha ciclo de refrigeración. El generador-absorbedor es un recipiente que realiza ambas funciones

Fig XIII.41.- Esquema de un ciclo de enfriamiento intermitente por absorción

Variantes de este ciclo utilizan pares de evaporadores y condensadores, así como otros dispositivos, lo que da como resultado una capacidad de enfriamiento esencialmente continua y un rendimiento mejorado. Los sistemas (refrigerante-absorbente) usados en los ciclos intermitentes han sido de (NH_3-H_2O) y (NH_3-NaSCN); en este último sistema, el absorbente es una solución de (NaSCN) en NH_3, actuando el NH_3 como refrigerante.

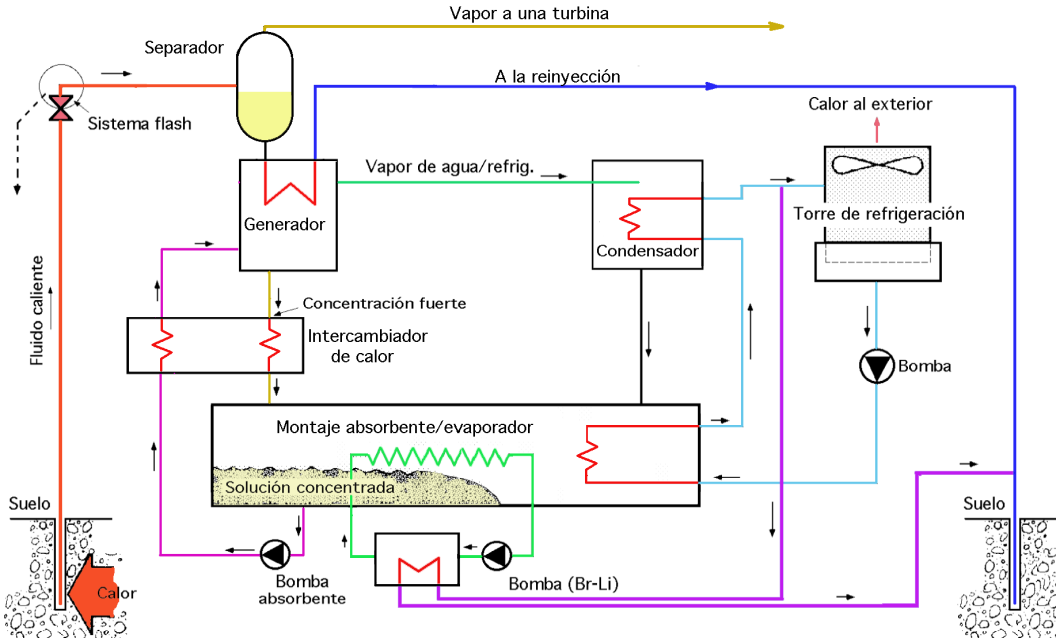


Fig XIII.42.- Esquema de refrigerador de absorción con fuente de alimentación geotérmica

Este sistema presenta buenas propiedades termodinámicas para ciclos destinados a la fabricación de hielo, según se ha demostrado con trabajos experimentales con un enfriador intermitente de (NH_3-H_2O) utilizando un colector de concentración cilíndrico parabólico para la regeneración.

También se han desarrollado experiencias de máquinas intermitentes funcionando con (NH_3-H_2O) en las que el aporte energético se realizaba mediante colectores de placa plana, y en las que el absorbedor y el generador estaban separados.

El generador forma parte del colector de placa plana; el fluido que circula por los tubos es una solución del refrigerante-absorbente mediante una combinación de termosifón y de bomba de burbujas.

En las etapas de regeneración y de refrigeración se emplea un tiempo del orden de 5 a 6 horas cada una; los coeficientes globales de rendimiento son del orden de un 6% para una temperatura del generador de unos 99°C sobre la del medio ambiente, y con temperaturas del evaporador por debajo de 0°C.

XIII.18.- BOMBA DE CALOR POR ABSORCIÓN

El ciclo inverso de Carnot puede dar lugar a un efecto frigorífico o a un efecto térmico. La utilización directa de la electricidad en el calentamiento no es conveniente debido a la irreversibilidad total de esta transformación energética. Las bombas de calor, como medio de calentamiento, son relativamente caras, pero sin embargo, el mismo equipo se puede utilizar indistintamente en invierno y en verano, para el acondicionamiento de temperaturas. Si se supone el hecho de que la temperatu-

ra T_3 tiende a infinito, sería lo mismo que aceptar que la aplicación de energía se realizase en forma de energía mecánica mediante un compresor, nos encontraríamos con una eficiencia máxima, igual a la correspondiente al ciclo de Carnot entre las temperaturas T_1 y T_2:

$$COP = \frac{T_2}{T_3}\ \frac{T_3 - T_1}{T_1 - T_2} = \frac{T_2}{T_3}\ \frac{T_3 (1 - \frac{T_1}{T_3})}{T_1 - T_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}\ ,\ con: T_3 \to \infty$$

en la que T_1 sería la temperatura del medio ambiente y T_2 la temperatura del foco frío, evaporador.

En estas circunstancias, la cantidad de calor Q_2 extraída del foco frío a la temperatura T_2, viene dada por:

$$Q_2 = COP\ T = \frac{T_2}{T_1 - T_2}\ T$$

y la cantidad de calor Q_1 enviada al foco caliente a la temperatura T_1:

$$COP = \frac{Q_2}{T} = \frac{Q_1 - T}{T} = \frac{Q_1}{T} - 1 \quad \Rightarrow \quad \frac{Q_1}{T} = 1 + COP$$

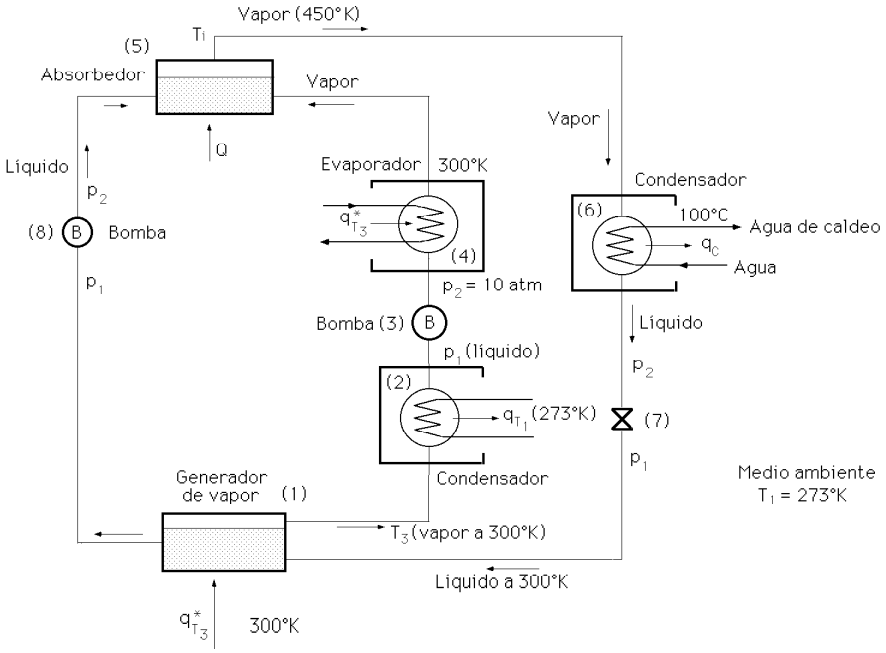


Fig XIII.43.- Bomba de calor de absorción

En el funcionamiento de la bomba de calor por absorción, el vapor concentrado a baja presión p_1, formado en el generador 1 a la temperatura T_3 = 300°C gracias al aporte de calor q_3, penetra en un intercambiador 2, en el que condensa y cede a la atmósfera ambiental una cantidad de calor q_{T1}, a la temperatura de la atmósfera, T_1 = 273°K.

El condensado obtenido se comprime mediante una bomba 3 hasta la presión p_2 = 10 atm; a esta

presión, y merced al aporte de calor q_{T3^*}, a la temperatura T_3 = 300°K, el líquido se evapora en el evaporador 4; el vapor concentrado a alta presión penetra en el aparato absorbedor 5 en donde se mezcla con el líquido de baja concentración que se ha llevado allí a través del circuito 1, 8, 5, y que está a la misma temperatura.

La mezcla se calienta mediante un aporte de calor Q hasta la temperatura T_i = 450°K, gracias a la absorción; el vapor así obtenido a la temperatura T_i penetra en el intercambiador 6 en donde cede el calor de condensación qc calentando el agua de caldeo hasta unos 100°C. El fluido condensado pasa por la válvula 7 penetra de nuevo a la presión p_1 en el generador de vapor, mientras que el líquido empobrecido en el generador, se lleva al mezclador absorbente mediante la bomba 8.

La eficiencia máxima es: $COP_{máx} = \frac{T_i}{T_3} \frac{T_3 - T_1}{T_1 - T_i}$

ANEXO.- FLUIDOS UTILIZADOS EN REFRIGERACIÓN

pfernandezdiez.es

XIIIA.1.- INTRODUCCIÓN

Los fluidos utilizador en refrigeración son sustancias puras (de componente único), o mezclas binarias o ternarias (de dos o tres componentes que no reaccionan químicamente entre sí).

Las sustancias puras cumplen la doble característica de que mientras dura el cambio isobárico de fase en el evaporador y en el condensador, la *composición* de cada una de las fases presentes en el equilibrio no se modifica (obvio, pues únicamente hay un componente), y la *temperatura* común a ambas fases no varía.

Las mezclas de dos o más componentes puros que no satisfacen esa doble característica se denominan mezclas *zeotrópicas* mientras que las que la cumplen exactamente reciben el nombre de mezclas *azeotrópicas*, reservándose el nombre de mezclas *cuasiazeotrópicas* para aquellas en las que la concordancia es muy aproximada.

Los fluidos frigorígenos tienen que satisfacer ciertas exigencias, a las que corresponden propiedades físicas de los mismos bien definidas en el campo de acción en el que van a trabajar. En particular, y de acuerdo con el tipo de instalación, van a comprimirse en compresores a pistón o en turbocompresores, debiendo cumplir las siguientes condiciones:

a) Deben tener una relación de compresión $\varepsilon_c = \frac{p_C}{p_v}$*, (entre las presiones de condensación y de vaporización ción) lo más pequeña posible para los valores dados de las temperaturas correspondientes de condensación y de vaporización*

b) El calor específico debe ser lo más pequeño posible y el calor latente de vaporización r lo más grande que se pueda.

c) El valor de la temperatura final de compresión, motivada por el recalentamiento de los vapores de escape bajo el efecto de la compresión, tiene que ser baja.

En el grupo de los fluidos cuya temperatura de vaporización está comprendida entre -45°C y +60°C, se encuentran numerosos productos, como el amoníaco, bastantes hidrocarburos, los freones y derivados del metano, propano y etileno.

Hasta hace unos años se han empleado los freones 11, 12, 21 y 22, tanto en instalaciones a turbocompresor, como en compresores de pistón; el amoníaco, muy utilizado en las máquinas de compresor a pistón, funciona mal en las máquinas de turbocompresor.

En las máquinas industriales de más de 15.000 frigorías/hora, se utilizan corrientemente el amoníaco y el anhídrido sulfuroso SO_2; en las máquinas domésticas hasta 500 frigorías/ hora se emplearon el anhídrido sulfuroso y el cloruro de metilo CH_3Cl, aunque fueron sustituidos por los freones, y éstos a su vez en la actualidad, por otros sustituyentes.

En las máquinas funcionando a bajas temperaturas se utilizan el etano, propano, butano, etc, en los que se cumple que la relación entre el calor específico y el calor latente de vaporización es baja, como ya hemos indicado.

Durante el funcionamiento de la máquina frigorífica, el fluido experimenta una laminación desde la presión del condensador p_C hasta la presión del vaporizador p_V; la vaporización de x kg de líquido, permiten la refrigeración de 1 kg de fluido desde la temperatura del condensador T_c hasta la del vaporizador T_v, cumpliéndose:

$$1\ c_x\ (T_c - T_v\ ) = x\ r_v$$

siendo c_x el calor específico del fluido frigorígeno y $r_{l\text{-}v}$ su calor latente de vaporización.

La fracción x del líquido que se evapora por la laminación se comprime en el compresor al mismo tiempo que la parte restante $1 - x$; para reducir este trabajo hay que elegir fluidos con un bajo valor del calor específico, y un elevado valor del calor latente de vaporización.

La relación de compresión es de la forma:

$$\varepsilon_c = \frac{p_c}{p_v} = \frac{p_v + \Delta p}{p_v} = 1 + \frac{\Delta p}{p_v} = \left| \begin{array}{l} \Delta p = \Delta h\ \gamma_v\ ,\ \ (\gamma_v\ \text{peso específico}) \\ p_v = R\ T_v \gamma_v\ \ ;\ \ M\ R = 848\ \frac{Kgm}{kg\,^oK} \end{array} \right| = 1 + \frac{\Delta h}{R\ T_v} = 1 + \frac{M\ \Delta h}{848\ T_v}$$

en la que Δp es la altura de carga creada por el compresor.

Por lo tanto, para una misma temperatura de vaporización T_v, el gas de peso molecular más elevado proporciona una relación de compresión más importante, hecho éste que no interesa en los turbocompresores por cuanto implica un mayor consumo energético en los mismos; como un aumento del peso molecular del fluido tiende a disminuir la velocidad periférica admisible a la salida del turbocompresor habrá que compatibilizar dichos factores.

A título de ejemplo, para los mismos valores de relación de compresión comprendidos en el intervalo $2{,}7 < \varepsilon_c < 2{,}9$, se obtiene, para el:

- Freón 12, de masa molecular M = 120, una velocidad periférica a la salida de 200 m/seg

- Amoníaco, con peso molécular M = 17, una velocidad de 580 m/seg, que es muy elevada, y que no permite su utilización en los compresores centrífugos

Por estas razones ciertos productos tales como el perfluorbutano, se revelan como fluidos frigorígenos prometedores M = 238,04, que permite velocidades de 140 a 150 m/seg.

XIIIA.2.- CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS UTILIZADOS EN REFRIGERACIÓN

Los refrigerantes se pueden designar mediante su fórmula molecular, su denominación química o su denominación simbólica numérica.

La norma ASHRAE-34 clasifica los refrigerantes utilizados en la producción de frío, estableciendo varios grupos, siendo los más importantes los que se indican a continuación.

Fluidos frigorígenos {
- *Compuestos inorgánicos: NH_3 , H_2O, Aire, CO_2 , SO_2*
- *Hidrocarburos* {
  - *saturados de bajo peso molecular, metano, etano, propano, butano*
  - *no saturados, etileno, propileno*
- *Halocarburos derivados de hidrocarburos saturados: R-11, R-12, R-22, etc*
- *Mezclas* {
  - *zeotrópicas: R-407A, R-407B, etc*
  - *azeotrópicas: R-502, R-507, etc*
  - *cuasiazeotrópicas*

Fluidos frigoríferos {
- *Agua*
- *Salmueras*
- *Anticongelantes*

FREONES; nomenclatura.- La asociación americana ASHRAE de ingeniería de calefacción, refrigeración y aire acondicionado ha establecido un criterio, universalmente adoptado, para designar comercialmente a los refrigerantes normalmente empleados. Los freones son derivados clorofluorados de hidrocarburos saturados, cuya fórmula general es, $C_m H_n F_x Cl_y$, debiéndose satisfacer la relación:

$$n + x + y = 2m + 2$$

Se designan con la letra R seguida de un número compuesto por 2 ó más cifras, en los que se cumple lo siguiente:

a) Para los de dos cifras: {
- *La primera indica los átomos de carbono*
- *La segunda indica los átomos de flúor*

b) Para los de tres cifras: {
- *La primera indica los átomos de carbono menos uno*
- *La segunda indica los átomos de hidrógeno más uno*
- *La tercera indica los átomos de flúor existentes en la molécula*

Puesto que estos derivados halofluorados proceden de hidrocarburos saturados, el número de átomos de cloro se obtiene por diferencia.

Cuando la molécula del fluido frigorígeno contenga un determinado número de átomos de bromo, se añade a la nomenclatura anteriormente descrita la letra B seguida de un número que especifique los correspondientes átomos de Br presentes; así, el refrigerante de fórmula CF_2ClBr se representa por, R-12B_1, y el CF_2Br_2 por, R-12B_2, etc.

Para diferenciar a los isómeros, a la cifra correspondiente a su fórmula química se le añaden al final letras minúsculas, a, b, c, etc. En la Tabla XIIIA.1 se incluyen, a título orientativo algunos de los refrigerantes ya retirados, así como los que les han sustituido.

Tabla XIIIA.1.- Refrigerantes más corrientes y sustituyentes

Fórmula	*Designación*	*Sustituido por*
$CFCl_3$	*R-11*	*R-123*
CF_2Cl_2	*R-12*	*R-134a, R-600a, R-290*
CHF_2Cl	*R-22*	*R-134a, R-290, R-717, R-407c*
CHF_2	*R-32*	
C_2FUCl_3	*R-113*	
C_2HEFU	*R-143a*	
C_2HEFU	*R-134a*	
C_2HFU	*R-125*	
C_23FCl_2	*R-123*	
C_2HECl	*R-115*	
CF_2Ar	*R-12B2*	

A menudo, y de manera indebida, la denominación de los halocarburos suele sustituir la R inicial por el nombre comercial del refrigerante: Freón, Carrene, Genetron, Isotron, Kulene, Ucon (USA), Arcton (UK y Canadá), Frigen (Alemania), Forane (Francia), Algeon (Argentina), etc. También está muy generalizada la designación que se indica en la Tabla XIIIA.2.

Tabla XIIIA.2.- Designación de los halocarburos

Fórmula	*Designación*	*Significado letras*
$CFCl_3$	*CFC-11*	*C, cloro; F, flúor; C, carbono*
$3FCl_2$	*CFC-12*	*C, cloro; F, flúor; C, carbono*
CHF_2Cl	*HCFC-22*	*La H índica que no todos los hidrógenos están sustituidos por Cl y F*
CHFU	*HFC-125*	*Solo flúor, sin cloro*
C_3HE	*HC-290*	*Solo hidrógeno y carbono*
C16K	*HC-600a*	*Solo hidrógeno y carbono*

Características de calidad de los freones.- Para una absoluta seguridad de empleo es necesario que los fluidos respondan a las siguientes pautas de calidad:

Contenido de humedad, 10 por mil en peso
Contenido de gases no condensables, 1,5% en volumen
Iones cloro y óxido de hierro, ausentes

Los fluidos pertenecientes al grupo de los freones se entregan en recipientes de color que permiten una inmediata identificación del contenido. Los colores de los recipientes son los recogidos en la Tabla XIIIA.3:

Tabla XIIIA.3.- Tabla de colores

R-12	*R-11*	*R-22*	*R-502*	*R-113*	*R-114*
Blanco	*Anaranjado*	*Verde*	*Rosa violáceo*	*Verde claro*	*Azul*

MEZCLAS AZEOTRÓPICAS; nomenclatura.- Se designan por medio de una cifra que se sitúa en la serie numérica 500, estando designadas las diferentes mezclas por orden de aparición cronológica en el mercado, R-500, R-501, R-502, etc.

MEZCLAS ZEOTRÓPICAS Y CUASIAZEOTRÓPICAS; nomenclatura.- Se designan por medio de una cifra que se sitúa en la serie numérica 400. Para poder diferenciar mezclas de idénticos componentes pero distintas composiciones porcentuales, al código numérico se le añaden letras indicativas mayúsculas, A,B,C, etc.

Tabla XIIIA.4.- Algunas mezclas zeotrópicas, azeotrópicas y cuasiazeotrópicas empleadas en la práctica

Mezcla	*Componentes*	*Composición en peso %*	*Deslizamiento a presión atm. ºC*	*Designación*	*Sustituye a*
zeotrópica	*R-32/R-125/R-134a*	*20/40/40*	*6,4*	*R-407A*	*R-502*
zeotrópica	*R-32/R-125/R-134a*	*10/70/20*	*4,1*	*R-407E*	*R-12, R-22*
zeotrópica	*R-32/R-125/R-134a*	*23/25/52*	*7,1*	*R-407C*	*R-22*
azeotrópicas	*R-115/R-22*	*48,8/51,2*	*0*	*R-502*	
azeotrópica	*R-125/R-143a*	*50/50*	*0*	*R-507*	*R-502*
cuasiazeotrópica	*R-125/R-143a/R-134a*	*44/52/4*	*0,8*	*R-404A*	*R-502*
cuasiazeotrópica	*R-32/R-125*	*50/50*	*0,1*	*R-410A*	*R-22*
cuasiazeotrópica	*R-32/R-125*	*45/55*	*0,1*	*R-410B*	*R-22*

En la Tabla XIIIA.4 se registran, a modo de ejemplo, mezclas zeotrópicas, azeotrópicas y cuasiazeotrópicas empleadas en la práctica. En las mezclas zeotrópicas y azeotrópicas se presenta el fenómeno de deslizamiento, como la diferencia de temperaturas existente entre el comienzo de la ebullición y la desaparición de la fase líquida, presentándose el deslizamiento tanto en el evaporador como en el condensador, con valores diferentes, alterándose el proceso de la transmisión de calor.

HIDROCARBUROS SATURADOS.- Cada hidrocarburo tiene asignada una cifra, añadiéndose al final del código numérico letras minúsculas a, b, c, etc, para diferenciar a los isómeros.

Tabla XIIIA.5.- Hidrocarburos saturados

Fórmula química	*Designación química*	*Designación frigorífica*
C_3H_8	*propano*	*R-290*
C_4H_{10}	*butano*	*R-600*
C_4H_{10}	*isobutano*	*R-600a*

COMPUESTOS INORGÁNICOS.- Para los refrigerantes de naturaleza inorgánica, su designación se obtiene sumando 700 a la masa molecular M del compuesto, no teniendo ésta cifra un significado especial.

Tabla XIIIA.6.- Compuestos inorgánicos

Fórmula química	H_2O	NH_3	CO_2
Designación química	*Agua*	*Amoníaco*	*Dióxido de Carbono*
Designación frigorífica	*R-718*	*R-717*	*R-744*

XIIIA.3.- REGLA DE LAS FASES DE GIBBS

Permite calcular el número de grados de libertad l de una mezcla de n compuestos, coexistiendo en equilibrio entre sí un número f de fases presentes (líquido, sólido, vapor), en las mismas condiciones de presión p y temperatura T.

$l = n + 2 - f$

- SUSTANCIA PURA (COMPONENTE ÚNICO)

Monofásica, *$f = 1$*.- Aplicando la ley de Gibbs para n = 1 y f = 1, el número l de grados de libertad, es:

$l = 1 + 2 - 1 = 2$

que significa que en las regiones de fase única señaladas en el diagrama termodinámico correspondiente como de líquido, sólido ó vapor, la presión p y la temperatura T son dos variables independientes, es decir, sus valores se pueden fijar independientemente uno del otro

Tabla XIIIA.7a.- Tabla de propiedades físicas

Refrigerante	*Tetrafluor dicloro etano R-114*	*Dicloro difluor metano R-12*	*Monocloro difluor metano R-22*	*{1} R-502*	*Trifluor bromo metano R-13 B1*	*Trifluor cloro metano R-13*	*{2} R-503*
Temperatura de congelación ºC a la presión de 1 kg/cm² (abs)	*-94*	*-155*	*-160*		*-168*	*-181*	
Temperatura de ebullición ºC a la presión de 1 kg/cm² (abs)	*3,55*	*-29,8*	*-40,8*	*-45,6*	*-57,8*	*-81,05*	*-88,7*
Temperatura crítica ºC	*145,7*	*112*	*96*	*90,1*	*67*	*28,9*	*19,4*
Presión crítica, bars abs	*32,54*	*40*	*49,34*	*42,53*	*39,1*	*38,8*	*43,075*
Tensión de vapor a -10ºC, bars abs	*0,842*	*2,185*	*3,61*	*4,14*	*6,485*	*15,15*	*20,92*
Tensión de vapor a +25ºC, bars abs	*2,24*	*6,5*	*10,52*	*12,08*	*16,67*	*35,5*	
Calor latente de vaporización a presión normal, Kcal/kg	*32,78*	*39,47*	*55,92*	*42,48*	*28,38*	*35,47*	*41*
Producción frigorífica volumétrica a -10ºC, +25ºC, + 15ºC, frig/m³		*415,3*	*671*	*697*	*937,5*	*1630*	
Coeficiente adiabático	*1,106*	*1,138*	*1,19*	*1,133*	*1,135*	*1,15*	*1179*
Poder de mezcla con los aceites	*{6}*	*B*	*{6}*	*{6}*	*{6}*	*N*	*N*
Tipo de compresor	*R*	*A-R-C*	*A*	*A*	*A*	*A*	*A*
Toxicidad	*N*	*N*	*N*	*N*	*N*	*N*	*N*
Inflamabilidad	*N*	*B*	*N*	*F*	*{7}*	*N*	*N*

Refrigerante	*Agua*	*Cloruro de etilo*	*Anhidrido sulfuroso*	*Cloruro de metilo*	*Amoníaco*	*Anhidrido carbónico*	*Tricloro trifluor etano R-113*	*Monofluor tricloro metano R-11*
Temperatura de congelación ºC a la presión de 1 kg/cm² (abs)	*0*	*-138,4*	*-75,5*	*-91,5*	*-77,9*	*-56,6*	*-36,5*	*-111*
Temperatura de ebullición ºC a la presión de 1 kg/cm² (abs)	*100*	*12,5*	*-10*	*-24*	*-33,3*	*-78,5(3)*	*47,6*	*23,65*
Temperatura crítica ºC	*365*	*55*	*157,2*	*143,1*	*132,4*	*31,35*	*214,1*	*198*
Presión crítica (bars abs	*200,5*	*53,9*	*79*	*66,8*	*113*	*73,7*	*34,1*	*43,7*
Tensión de vapor a -10ºC, bars abs	*0,0041*	*0,407*	*1,014*	*1,77*	*2,91*	*25,48*	*0,09*	*0,256*
Tensión de vapor a +25ºC, bars abs	*0,0315*	*1,58*	*3,92*	*5,65*	*10*	*64,2*	*0,445*	*1,06*
Calor latente de vaporización a presión normal, Kcal/kg	*537*	*93,6*	*93,13*	*102,54*	*326,57*	*136,5(4)*	*35,07*	*43,51*

Producción frigorífica volumétrica a -10ºC, +25ºC, + 15ºC, frig / m³	*1,36*	*124*	*286*	*386*	*673,9*	*4300*	*25,8*	*66,93*
Coeficiente adiabático	*1,4*	*1,187*	*1,271*	*1,27*	*1,312*	*1,3*	*1,075*	*1,124*
Poder de mezcla con los aceites	*N*	*{5}*	*F*	*B*	*N*	*N*	*B*	*B*
Tipo de compresor	*E*	*R*	*A-R*	*A-R*	*A*	*A*	*C*	*1,124*
Toxicidad	*N*	*F*	*G*	*F*	*G*	*F*	*N*	*B*
Inflamabilidad	*N*	*B*	*N*	*F*	*{7}*	*N*	*N*	*C-R*

Bifásica, *f = 2.-* Aplicando la ley de Gibbs para, n = 1 y f = 2, el número *l* de grados de libertad, es:

$l = 1 + 2 - 2 = 1$

que significa que en la región bifásica señalada en el diagrama termodinámico correspondiente como de (líquido+vapor), la presión *p* y la temperatura *T* no son dos variables independientes, por lo que fijado el valor de una de ellas queda determinado el de la otra.

- MEZCLA BINARIA, COMPONENTES, A + B.- Se puede suponer que los dos componentes *A* y *B* son miscibles entre sí en todas las proporciones, extremo que no siempre se cumple en la práctica; si sólo fueran parcialmente miscibles, el estudio se complicaría, originándose diagramas de fases como el, Fe-C. Se supondrá que de los dos componentes, el *A* es el más volátil, es decir el de punto de ebullición más bajo, $\begin{cases} X_A \text{ representa el porcentaje en tanto por uno del componente } A \\ X_B \text{ representa el porcentaje en tanto por uno del componente } B \end{cases} \Rightarrow X_A + X_B = 1$

Monofásica, *f =1.-* Aplicando la ley de Gibbs para, n = 2 y f = 1, el número *l* de grados de libertad, es:

$l = 2 + 2 - 1 = 3$

que significa que en las regiones de fase única señaladas en el diagrama termodinámico correspondiente como de líquido, sólido ó vapor, supuesto un diagrama (p, T, X_A) y fijada por ejemplo la presión *p* de la mezcla binaria, la temperatura *T* y la composición X_A pueden tomar valores independientes entre sí, siempre relacionados con el de la presión fijada inicialmente.

Bifásica, *f = 2.-* Aplicando la ley de Gibbs para, n = 2 y f = 2, el número *l* de grados de libertad, es:

$l = 2 + 2 - 2 = 2$

que significa que, en la región señalada en el diagrama termodinámico correspondiente como (de líquido+vapor), fijada la presión *p* de la mezcla binaria, para cada valor de la temperatura *T* quedan determinadas las composiciones tanto de la fase líquida como de la fase de vapor.

- MEZCLA ZEOTRÓPICA.- Si en el diagrama (T, p, X_A) el volumen correspondiente a los estados (líquido + vapor) de la mezcla $(A+B)$ se corta por un plano $p = Cte$, se obtiene un diagrama similar al representado en la Fig XIIIA.1.

Diagrama de fases.- Las líneas denominadas de líquido saturado y vapor saturado dividen el plano *(X_A, T)* en tres regiones, dos monofásicas de líquido ó vapor, y una tercera de (líquido+vapor), Fig XIIIA.1. Si se considera un proceso de calentamiento de una mezcla *(A + B)* de composición, X_A= a, siendo su estado inicial el punto 1 (fase líquida) a *p=Cte*, al ir elevándose la temperatura desde el estado 1 al 2, no cambian ni la composición ni la forma de agregación (sólido, líquido, vapor) de la mezcla.

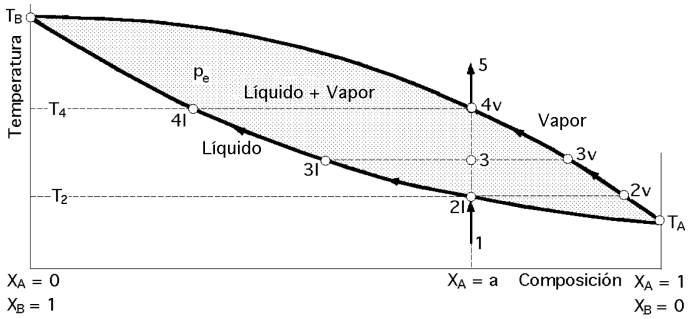


Fig XIIIA.1.- Diagrama de fases de una mezcla zeotrópica (A+B) en el plano p= Cte

El estado 2 marca la aparición de las primeras burbujas de vapor. La característica de este incipiente sistema bifásico es que la fase de vapor (burbujas) y la fase líquida (restante masa de líquido) tienen composiciones porcentuales diferentes:

- Las primeras burbujas de vapor tienen como composición X_A, es decir, la correspondiente al punto (2v)

- El líquido circundante tiene la correspondiente a la composición original $X_A(2l) = X_A(1) = a$, por lo que el vapor formado inicialmente es más rico en el componente más volátil A y, por consiguiente, la composición de la fase líquida residual se empobrece en dicho componente, enriqueciéndose en el menos volátil y elevándose por lo tanto su punto de ebullición

Al proseguir el calentamiento, se incrementa también la temperatura y el sistema evoluciona como una mezcla bifásica en la que la fase de:

- Vapor es, a su vez, una mezcla binaria de composición $X_A(3v)$

- Líquido saturado es también una mezcla binaria de composición $X_A(3l)$

como se observa en la Fig XIIIA.1, ambos valores $X_A(3v)$ y $X_A(3l)$ experimentan cambios conforme la temperatura se va incrementando.

La existencia del sistema bifásico concluye cuando la concentración de la fase de vapor $X_A(4v)$ se iguala al vapor de la concentración original $X_A(l)$ del sistema líquido inicial. Las últimas gotas de líquido que desaparecen del sistema tienen una composición $X_A(4l)$ completamente diferente de la inicial, siendo muy bajo el contenido del componente más volátil *A*.

Si se prosigue el calentamiento, se ocasiona una elevación de la temperatura de la mezcla, ahora monofásica, pasándose del estado del punto *(4v)* al del *(5l)* moviéndose a lo largo de una línea verti-

cal de concentración, $X_A = Cte$.

El proceso inverso de enfriamiento isobárico se describiría en forma análoga a partir del estado inicial representado ahora por el punto 5.

De lo anterior se deduce que:

- Para unos valores fijos de p y T de la mezcla binaria, la composición de la fase líquida difiere de la del vapor en equilibrio con ella, siendo precisamente este hecho lo que distingue una mezcla binaria de una sustancia pura, razón por la que las mezclas azeotrópicas son más idóneas para ser aplicadas en los sistemas de expansión directa con evaporador seco, que implican menos estancamiento de masa líquida a lo largo del circuito, que aquellos que utilizan evaporadores inundados.

- Si en una instalación cargada con una mezcla zeotrópica se origina una fuga, la composición del refrigerante que resta en el interior ya no será la de la mezcla original, por lo que si se procediera a recargar con refrigerante original, la composición inicial de la mezcla quedaría alterada. Si la diferencia es importante, la única solución es proceder al vaciado y posterior carga completa de la instalación.

- Se ha podido comprobar que para cada presión considerada, las mezclas zeotrópicas presentan una significativa diferencia, llamada deslizamiento, entre la temperatura T_2 de comienzo de la ebullición y la T_4 de desaparición de la fase líquida, Fig XIIIA.2. Esto significa que tanto en el condensador como en el evaporador del equipo frigorífico se presentarán valores de deslizamiento, que en general serán diferentes, y que alterarán los procesos de transmisión de calor, eliminándose la condición isotérmica típica de ellos, que deberá tenerse en cuenta a la hora de diseñar térmicamente ambos componentes frigoríficos, disponiendo los flujos en contracorriente.

Las temperaturas T_A y T_B representan las temperaturas de saturación de los componentes puros *A* y *B* correspondientes a la presión, p = Cte, en base a las cuales se ha construido el diagrama de equilibrio de fases.

Diagrama termodinámico.- En las mezclas zeotrópicas tanto en el proceso isobárico de evaporación como en el de condensación las temperaturas no se mantienen constantes, por lo que en los diagramas termodinámicos correspondientes a este tipo de mezclas, no coinciden dentro de la campana de saturación las líneas isotermas con las isobaras.

La Fig XIIIA.2 muestra la representación de un ciclo frigorífico convencional en el que se pueden observar tanto la forma que adoptan las isotermas en el interior de la campana de saturación como los valores resultantes del deslizamiento en el evaporador.y condensador.

Este hecho obliga a redefinir de acuerdo con A.R.I. (Air Conditioning and Refrigeration Institute), las siguientes magnitudes utilizadas en refrigeración:

Temperatura de evaporación: $T_{evap} = \dfrac{T_6 + T_7}{2}$

Temperatura de condensación: $T_{cond} = \dfrac{T_3 + T_4}{2}$

Temperatura de subenfriamiento: $T_4 - T_5$

Grado de recalentamiento: $T_1 - T_7$

Deslizamiento en el evaporador: $T_7 - T_6$

Deslizamiento en el condensador: $T_3 - T_4$

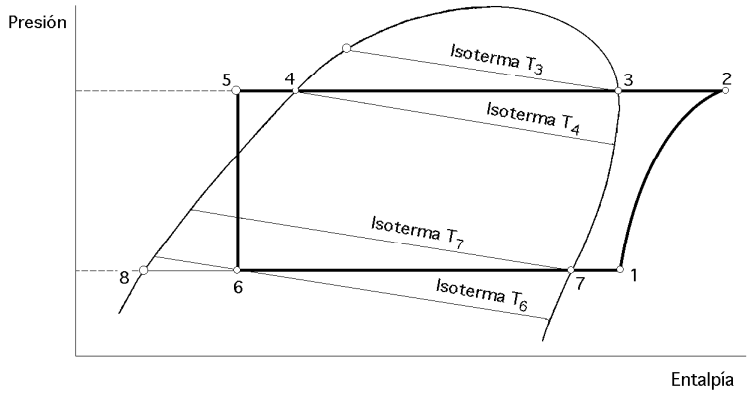


Fig XIIIA.2.- Representación en un diagrama (lg p-i) de una mezcla zeotrópica (A+B) de composición original $X_A = b$

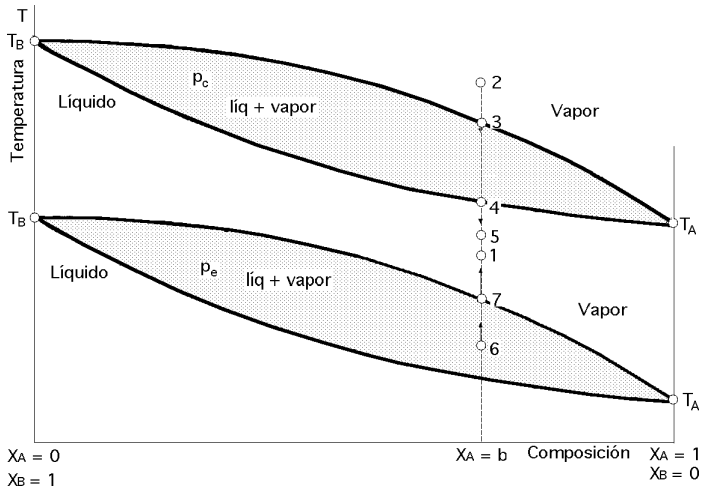


Fig XIIIA.3.- Diagrama de fases de una mezcla zeotrópica (A + B) en el plano, p = Cte

Representación del ciclo frigorífico en el diagrama de fases.- La Fig XIIIA.3 muestra los diagramas de fases correspondientes a las presiones $p_{condensación}$ y $p_{evaporación}$ de la mezcla zeotrópica *(A+B)*, en los que se han representado los puntos característicos correspondientes al ciclo frigorífico de la Fig XIIIA.2. Del mismo se deducen los valores de las diferentes concentraciones de las fases líquida y de vapor presentes en el evaporador y condensador, así como los valores de los deslizamientos, $T_7 - T_6$, y $T_3 - T_4$, que en ellos se originan en una mezcla zeotrópica de composición original $X_A = b$. El proceso que tiene lugar en el condensador es el (2~3~4~5), mientras que el que se produce en el evaporador es el (6~7~1), Fig XIIIA.2.

- MEZCLA AZEOTRÓPICA.- Algunas mezclas *(A+B)* presentan excepcionalmente, a determi-

nadas presiones, diagramas similares al presentado en la Fig XIIIA.4.

La particularidad estriba en que, a una presión determinada, las dos líneas que limitan la región (líquido + vapor) tienen un punto común de tangencia de pendiente nula.

La composición $X_A = c$, para la que ésto sucede se denomina composición azeotrópica y la mezcla binaria correspondiente recibe el nombre de mezcla azeotrópica. Como se observa de la Fig XIIIA.4, este tipo de mezclas, a una presión determinada, se comportan a todos los efectos como los refrigerantes de componente único.

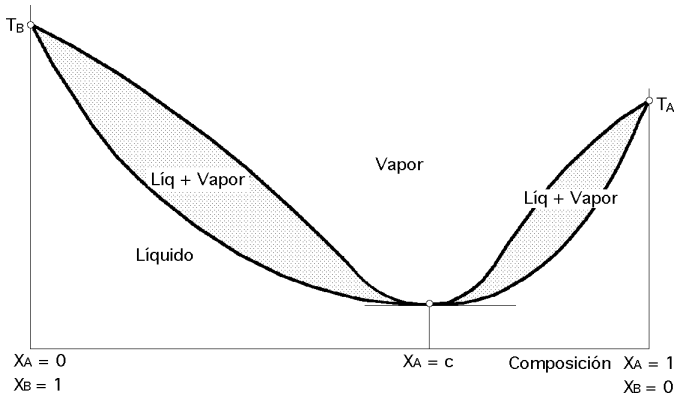


Fig XIIIA.4.- Diagrama de fases de una mezcla azeotrópica (A + B) en el plano, p = Cte

Cuando cambia la presión, el valor de la composición azeotrópica se modifica también, desplazándose en un sentido u otro, por lo que una mezcla no es verdaderamente azeotrópica más que en una parte del circuito frigorífico, produciéndose en el resto los fenómenos característicos de una mezcla zeotrópica.

XIIIA.4.- PROPIEDADES DEL REFRIGERANTE IDEAL

Calor latente de vaporización.- El calor latente de vaporización debe ser elevado, para disminuir el caudal másico del refrigerante y el calor específico en estado líquido bajo; de esta forma se consiguen elevados valores de flujo másico de refrigerante, a la vez que se aumenta el contenido en humedad del mismo a la salida del estrangulamiento, con el consiguiente aumento del poder refrigerante de la instalación. En la Tabla XIIIA.8 se representan los calores latentes de vaporización de algunos fluidos frigorígenos a las temperaturas de, 0°C y -15°C.

El calor latente de vaporización, puede venir influenciado por el volumen específico del fluido a la temperatura que posee a la entrada del compresor.

Tabla XIIIA.8.- Calor latente de vaporización de algunos fluidos frigorígenos

Fluido	*Temperatura de vaporización*		*Fluido*	*Temperatura de vaporización*	
	0°C	*15°C*		*0°C*	*15°C*
R-13	*89,91*	*104,98*	*R-22*	*206,91*	*217,53*
R-744	*234,96*	*273,18*	*R-717*	*1262,16*	*1312,43*
R-13B1	*93,98*	*101,15*	*R-12*	*151,48*	*158,64*
R-502	*150,06*	*160,24*	*R-111*	*137,93*	*141,82*

Tabla XIIIA.9.- Calor latente y volumen específico

	Calor latente -15ºC a +30ºC Kcal/kg	*Volumen específico del vapor a +5ºC m^3/kg*	*Capacidad volumétrica $Kcal/m^3$*
R-11	*37*	*0,66*	*56*
R-12	*27,5*	*0,11*	*250*
R-13	*12*	*0,015*	*800*
R-22	*38,75*	*0,1*	*387*
R-114	*23,65*	*0,312*	*75,8*
NH_3	*537*	*0,833*	*644*

Analizando la Tabla XIIIA.9, efectuada para un ciclo recorrido por diversos fluidos en el que la evaporación se produce a -15ºC y la condensación a +30ºC, y en donde el gas entra en el compresor con una temperatura de +5ºC, a primera vista parece que el NH_3 fuera el fluido más ventajoso; pero en realidad no es así, por lo que el calor latente de vaporización no es un factor determinante para la elección de un líquido refrigerante.

Presión de condensación.- No debe ser elevada, ya que, de lo contrario aumenta el coste del compresor y dificulta la estanqueidad de la instalación.

Presión de evaporación.- No debe ser excesivamente baja, pero sí mayor que la atmosférica, evitando con ello que el aire pueda penetrar en la instalación, ya que en caso contrario provocaría un aumento del trabajo requerido para obtener un determinado enfriamiento, al tiempo que haría descender la conductividad calorífica del fluido frigorígeno y presentaría problemas de estanqueidad, por lo que sería preciso instalar dispositivos de purga de aire.

Temperatura crítica.- Debe ser elevada para no incrementar la presión de condensación lo que exigiría utilizar grandes superficies de intercambio en el condensador.

Volumen específico.- El volumen específico del vapor a la presión de evaporación debe ser reducido, a fin de disminuir el tamaño del compresor.

Temperatura de congelación.- Debe ser lo suficientemente baja como para que el refrigerante no pueda solidificarse durante el trabajo normal.

Conductividad térmica.- Debe ser elevada, para que las superficies de intercambio no sean grandes.

Viscosidad.- Debe ser reducida para disminuir las pérdidas de carga en las tuberías y en los intercambiadores.

Resistencia dieléctrica del vapor.- En las instalaciones que empleen compresores herméticos debe ser elevada pues el vapor está en contacto con los arrollamientos del motor.

Inactividad y estabilidad.- Debe ser inerte a los materiales que forman el sistema y al aceite de lubricación del compresor y debe ser estable en su construcción química.

Solubilidad en aceite.- El refrigerante debe ser lo más inmiscible posible con el aceite lubricante; de lo contrario se prefiere que sea totalmente miscible. La miscibilidad parcial crea problemas de

depósitos de aceite en el evaporador, cuya solución requiere el empleo de separador de aceite y velocidades altas en la línea de aspiración.

Algunos fluidos como el R-12 son miscibles en cualquier proporción y temperatura, mientras que otros, como el R-22 y el R-114 no son miscibles más que en determinados intervalos de temperatura.

Solubilidad en agua.- Cuando el agua se pone en contacto con el refrigerante puede formar una disolución o permanecer como agua libre. El agua libre es la que causa el taponamiento por congelación de las válvulas de expansión y evaporadores.

Ha de procurarse que la producción de frío específica sea lo más alta posible; las propiedades químicas del fluido frigorígeno han de ser tales que, en las condiciones de funcionamiento y utilización más usuales, no tengan lugar reacciones nocivas ni con el agua, ni con el aceite empleado en la instalación.

Es evidente que no existe un refrigerante ideal que posea todas y cada una de las propiedades anteriormente descritas; no obstante, algunos fluidos poseen características que los hacen especialmente aconsejables en ciertas instalaciones, pudiéndose admitir como norma general, que el fluido frigorígeno ideal sería aquel que poseyese todas las propiedades anteriormente citadas, y que para el caso de un fluido real el que mejor aproxime su comportamiento al del correspondiente ideal.

Al no haber encontrado la industria del frío fluidos idóneos de reemplazamiento inmediato entre las sustancias puras exentas de cloro, sometida a un urgente calendario de eliminación de los refrigerantes CFC y HCFC, decidido a nivel internacional, *los esfuerzos de investigación se dirigieron hacia las mezclas de componentes puros*, y ésto debido al elevado número de posibilidades que ofrecen, sin más que variar su naturaleza y número de componentes, o su composición porcentual; de esta manera se facilita la búsqueda de mezclas cuyo comportamiento termodinámico, físico y químico se parezca lo más posible al de los refrigerantes a reemplazar.

La adición de un componente ignífugo posibilita, por ejemplo, la consecución de mezclas ininflamables aunque alguno de sus componentes lo sea; para ello es suficiente que la composición de la mezcla sea tal que en caso de fuga, la cantidad total de componentes inflamables se mantenga por debajo del llamado limite de inflamabilidad en el aire.

No existe ningún fluido frigorígeno cuyas propiedades le hagan el mejor para cualesquiera condiciones de funcionamiento. El más idóneo para producir bajas temperaturas puede, por ejemplo, no serlo para conseguir las moderadas; el adecuado para compresores alternativos puede no serlo para centrífugos; el permitido para plantas industriales podría ser peligroso para equipos domésticos, etc.

De todas formas, en cada aplicación concreta y para cada fluido frigorígeno en particular, deberán tenerse en cuenta una serie de características termodinámicas, químicas, físicas, económicas y medioambientales, algunas de las cuales se comentan a continuación.

XIIIA.5.- CARACTERÍSTICAS TERMODINÁMICAS

Temperatura de congelación a la presión atmosférica.- Interesa que sea lo más baja posible, para que de esta manera el fluido frigorígeno pueda estar en fase líquida a las temperaturas normalmente empleadas en el evaporador. El agua, por ejemplo, tiene una temperatura de congelación de 0ºC lo que impide utilizarla en niveles térmicos por debajo de esa temperatura.

Temperatura de ebullición a la presión atmosférica.- La temperatura de ebullición conviene que sea lo más baja posible en orden a que no sea necesario un alto grado de vacío para conseguir las temperaturas de evaporación usuales en el campo del frío industrial. El agua, por ejemplo, que tiene una temperatura de ebullición alta a la presión atmosférica 100ºC, por lo que necesita reducir su presión a 0,0075 kg/cm^2 para poder alcanzar una temperatura de evaporación de 4,45ºC.

La consecuencia de trabajar con vacíos es que en los circuitos con compresores abiertos puede entrar aire tanto por las empaquetaduras como, en general, a través de cualquier poro o fisura presente en el equipo; esta eventualidad origina, por un lado, un aumento del costo de funcionamiento (fluido incondensable) y por otro, el hecho de que el aire tenga humedad, por lo que el agua puede reaccionar con los fluidos frigorígenos y aceites lubricantes, pudiendo llegar a congelar en el lado de baja.

Si se supone que la temperatura de evaporación impuesta por el proyecto, fuese de -35ºC, de acuerdo con lo expuesto hasta el momento, se deberá elegir un fluido frigorígeno cuya presión de saturación a esa temperatura sea superior a la atmosférica. Si la selección se hace entre los refrigerantes tradicionales de la Fig XIIIA.5 se tiene que, si se utilizan los datos de la tabla:

Fluido	*NH_3*	*R-11*	*R-12*	*R-22*
Presión saturación kg/cm^2	*0,9506*	*0,07043*	*0,82315*	*1,35305*

el fluido frigorígeno más indicado bajo el único punto de vista de evitar entradas de aire en el circuito sería el R-22, pues su presión en estas circunstancias es, 1,35305 > 1.

Sin embargo, si por otros motivos la elección recayese en el NH_3, sería obligado disponer en el condensador de un purgador de incondensables de funcionamiento discontinuo, para así purgar periodicamente el aire hacia el exterior, mezclado inevitablemente con algo de NH_3 que se perdería definitivamente. Otros aspectos a tener en cuenta son, que cuanto menor sea la presión necesaria en el evaporador, mayor será el volumen específico del gas a la entrada del compresor y más elevado, por lo tanto, el caudal volumétrico que éste deberá desplazar, lo que hace necesario la utilización de un compresor centrífugo en lugar de uno alternativo; es el caso del agua, que exige cifras de desplazamiento en volumen enormes. La consecución de un COP elevados se facilita, en principio, mediante la elección de refrigerantes de presiones de evaporación lo más altas posibles.

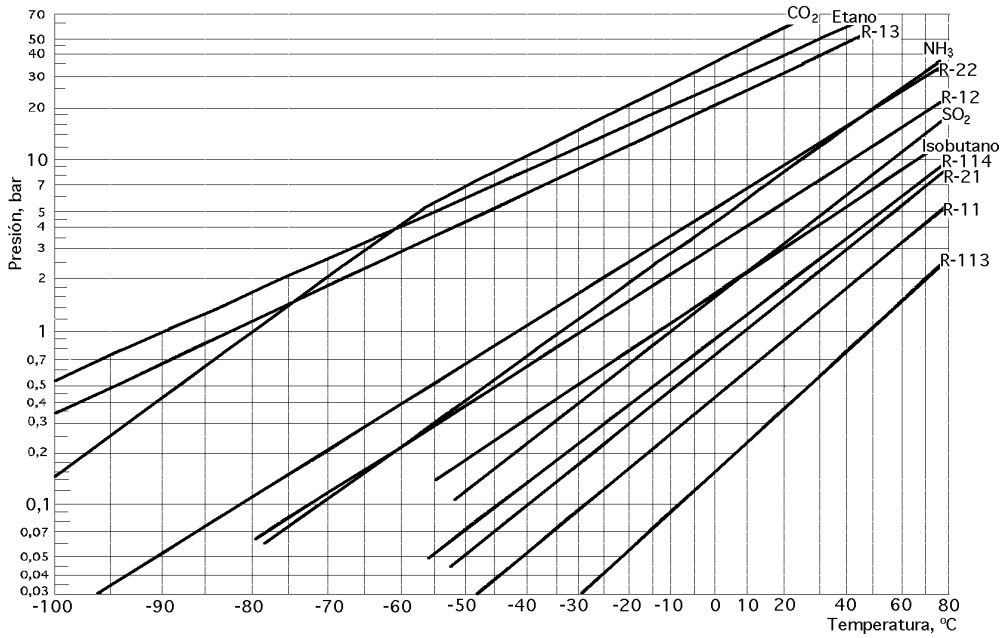


Fig XIIIA.5.- Relación (presión-temperatura) de saturación de varios refrigerantes

Presión de condensación.- Conviene que la presión correspondiente a las temperaturas usuales en condensación del orden de 30ºC no sea alta, pues el dimensionado correspondiente del compresor, condensador, depósito de líquido y tuberías deberá ser proporcionalmente más grueso; si el fluido frigorígeno utilizado fuera por ejemplo el CO_2, la presión de condensación sería del orden de 75 kg/cm^2, valor evidentemente demasiado elevado.

Si bien los compresores de tipo alternativo no tienen problemas para conseguir altas presiones de escape, no sucede lo mismo con los TC centrífugos que para alcanzarlas necesitan varias etapas, con el consiguiente encarecimiento. Esta es la razón por la que en los TC centrífugos interesa utilizar fluidos frigorígenos cuyas presiones de condensación resultantes sean bajas, fluidos frigorígenos de baja presión, con lo que la diferencia de presiones entre escape y admisión puede fácilmente generarse en un TC centrífugo de alta velocidad y uno ó dos rodetes. En la Fig XIIIA.5 puede comprobarse que los fluidos frigorígenos R-113 y R-11 son los que mejor satisfacen esta característica. La consecución de COP elevados se facilita en principio mediante la elección de refrigerantes de presiones de condensación lo más bajas posibles.

Presión y temperatura críticas.- En general, es conveniente que la presión crítica se encuentre bastante por encima de cualquier presión de condensación esperada en el funcionamiento de la instalación. Si el condensador del circuito frigorífico se refrigera por aire, sería deseable que el fluido frigorígeno utilizado tuviese una temperatura crítica inferior, al menos en 55ºC; de los fluidos frigorígenos más corrientes, únicamente el dióxido de carbono no llega a este valor, pues su temperatura crítica es de 31ºC. No solamente conviene que el fluido frigorígeno pueda licuarse sino que además interesa que la potencia de compresión absorbida en el compresor sea lo menor posible, lo cual depende del valor de la relación de compresión pero sobre todo de lo alejada que se encuentre la presión crítica de la de condensación. Cuanto más se acerque ésta última al máximo de la campana de

saturación, tanto más rápidamente crece el trabajo requerido para la compresión. Esto dato es muy importante en las grandes plantas frigoríficas de costes de explotación elevados, y no lo es tanto en las pequeñas.

Peso molecular, constante R y exponente de compresión isentrópica del gas.- Como los compresores centrífugos tienen dificultad para generar presiones de escape altas, observando la expresión de la máxima relación de compresión teóricamente alcanzable en el escalonamiento en uno de simple etapa, de la forma:

$$\varepsilon_c = \frac{p_3}{p_1} = \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma} \frac{u_2^2}{R T_1} + 1\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

se comprueba que los fluidos frigorígenos cuyas constantes R y γ son bajas, proporcionan valores elevados de la relación de compresión $\varepsilon_c = \frac{p_3}{p_1}$. Los gases de pesos moleculares altos como el R-113 y el R-11 cumplen ambas características.

Relación de presiones entre -15ºC a 30ºC.- En la mayoría de los equipos frigoríficos se registran producciones de frío a diversas temperaturas de saturación estando especificados en cada caso los posibles grados de recalentamiento, (a la entrada del compresor), y subenfriamiento, (a la salida del condensador), del ciclo. El intervalo de temperaturas, -15 a +30ºC, es representativa de los niveles medios de frío que se utilizan en la práctica; todas las magnitudes que a continuación se comentan están referidas al par de temperaturas de saturación mencionadas, en base a las cuales se supone ha sido trazado el ciclo termodinámico correspondiente.

Relación de compresión.- Cuanto menor sea su valor menor será también la tendencia del fluido frigorígeno a fugarse del lado de alta al de baja del compresor, lo que se reflejará en un rendimiento volumétrico más elevado. La existencia del espacio muerto en los compresores alternativos hace que en éstos sea todavía más crítica la dependencia del rendimiento volumétrico con la relación de compresión, aunque los valores de la relación de compresión varían poco de unos fluidos frigorígenos a otros.

Temperatura de escape.- Interesa que sea moderada para evitar averías en válvulas, y para que tanto el fluido frigorígeno como el aceite lubricante no pierdan sus características originales. En una compresión isentrópica, el amoniaco origina una temperatura de 99ºC que es demasiado elevada, lo que obliga a refrigerar el compresor mediante una camisa de agua. Otros refrigerantes sin embargo no necesitan de este enfriamiento adicional.

Eficiencia COP.- Interesa que sea alta, pudiéndose comprobar que los valores del COP varían poco de un fluido frigorígeno a otro.

Volumen específico en la aspiración.- Interesa que sea bajo para que el tamaño tanto del compresor como de la tubería de aspiración no sea excesivo.

Desplazamiento específico $\frac{VD}{q_{evap}}$ $\left(\frac{m^3/min}{Frig.\ hora}\right)$.- Este valor proporciona el volumen de refrigerante que es necesario desplazar por cada frigoría producida en el evaporador. Se puede comprobar que mientras que el amoniaco necesita desplazar 3,2 m^3/min de refrigerante, el R-113 debe desplazar 94,1 m^3/min, es decir, 30 veces más, lo que hace que el amoníaco se utilice en compresores alternativos y el R-113 en TC centrífugos.

XIIIA.6.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Toxicidad.- La toxicidad varía grandemente de unos a otros fluidos frigorígenos, siendo los más tóxicos el SO_2 y el NH_3 y los menos los halocarburos, algunos de los cuales están en trance de sustitución; ésto no quiere decir que una persona no pueda verse afectada en una atmósfera con alta concentración de éstos últimos, pero lo sería no por la toxicidad del refrigerante en sí, sino por la falta de oxígeno. Como las reglamentaciones al respecto varían bastante de unos paises a otros, ésto se ha hecho especialmente patente a la hora de encontrar sustituyentes a los refrigerantes objeto de prohibición.

Inflamabilidad.- Es deseable la ininflamabilidad del fluido frigorígeno para evitar peligros de explosión en el montaje, reparación (soldaduras) y funcionamiento de los equipos frigoríficos, así como en casos de incendio. La inflamabilidad varía grandemente, siendo los más peligrosos los hidrocarburos saturados, metano, etano, propano y butano que son gases empleados como combustibles; no obstante, éstos últimos se utilizan en las instalaciones frigoríficas de las plantas petroquímicas pues éstas en sus procesos están obligadas necesariamente a manejar todo tipo de derivados del petróleo altamente inflamables. Asimismo, y dependiendo de la reglamentación de cada país, es interesante señalar que en la actualidad se vuelven a utilizar en equipos frigoríficos domésticos los hidrocarburos saturados como sustituyentes de los halocarburos empleados hasta el momento.

Reglamentación.- En la actualidad, la reglamentación vigente en cada país difiere bastante en cuanto a las exigencias respecto a la toxicidad e inflamabilidad de los refrigerantes así como en relación en el posible impacto ambiental que pudieran ocasionar; por lo que respecta a la inflamabilidad, la tendencia actual parece que va en el sentido de hacer normativas menos restrictivas. Hay que tener en cuenta que las compañías aseguradoras acostumbran a clasificar las instalaciones frigoríficas en función de la peligrosidad del refrigerante manejado, elevando las primas a satisfacer a medida que aquella aumenta.

XIIIA.7.- GRADO DE SEGURIDAD DE LOS REFRIGERANTES

Según el grado de seguridad que aporte cada refrigerante, se pueden clasificar en tres grupos.

Grupo 1º.- El refrigerante no es combustible y la acción tóxica es ligera o nula, por lo que se considera refrigerante de alta seguridad, de utilidad en cualquier tipo de locales con limitación de la carga.

Grupo 2°.- El refrigerante es de acción tóxica o corrosiva, o su mezcla con el aire es combustible o explosiva, pero sólo a concentraciones superiores al 3,5% en volumen; se usa exclusivamente en locales industriales.

Grupo 3°.- Si su mezcla con el aire puede ser combustible o explosiva a concentraciones inferiores al 3.5% en volumen, son de uso exclusivo en laboratorios o en locales industriales con limitación de carga.

Olor.- La detección de posibles fugas se facilita si el fluido frigorígeno tiene alguna clase de olor que sirva de indicador. A título de ejemplo, los halocarburos son inodoros, siendo necesario para detectarlos una lámpara haloidea o un equipo detector electrónico; el amoníaco por el contrario tiene un olor característico y es muy irritante lo que hace inmediata su detección. La tendencia a la fuga de un fluido frigorígeno es inversamente proporcional a su tamaño molecular.

Compatibilidad con materiales.- Esta característica no influye a la hora de elegir el fluido frigorígeno a utilizar en cada caso, pero una vez decidido el empleo de uno determinado, es necesario conocer los materiales que son atacados por el fluido frigorígeno, con el fin de evitar incluirlos en los componentes y tuberías del equipo en contacto directo con él.

Al *amoniaco anhidro* no ataca a los metales, pero su gran afinidad con el agua impide mantenerlo perfectamente seco, lo que hace que en presencia de pequeñas cantidades de humedad corroa rápidamente al cobre y sus aleaciones (latones, bronces), pero no al hierro y acero.

La *presencia de humedad en el caso de los halocarburos* es mucho más crítica pues reaccionan con ella para formar ácidos que atacan a la mayoría de los metales; en ausencia de agua pueden reaccionar con el zinc, pero no con el hierro, acero, cobre, aluminio, etc. Los halocarburos atacan al caucho natural pero no al sintético (neopreno).

En el caso de los compresores herméticos, el tipo de material utilizado en el aislamiento eléctrico de los devanados del motor exige una atención especial, permanentemente en contacto directo con el refrigerante.

La posible *formación de hielo en el orificio laminador* de los dispositivos de expansión es otro efecto perjudicial de la presencia de humedad en un circuito frigorífico, que origina el consiguiente taponamiento o subalimentación del evaporador.

De lo expuesto hasta el momento se hace necesario que antes de proceder a la carga del fluido frigorígeno, se haga el vacío de la instalación frigorífica; al no poder ser nunca perfecto el vacío alcanzado, es imprescindible montar en el circuito un filtro secador.

Compatibilidad y solubilidad con lubricantes.- En general son deseables:

a) Bajas solubilidades entre el aceite y el fluido frigorígeno, en las condiciones reinantes a la salida del compresor (para que el aceite no salga de él hacia el resto del circuito en donde no es necesario y sí muy perjudicial)

b) Altas solubilidades en el resto del circuito (pues una vez salido del compresor es necesario que retorne a él pues de lo contrario terminaría por vaciarse completamente)

Los *nuevos fluidos frigorígenos HFC*, (exentos de cloro y que en la actualidad han sustituido a los fluidos CFC Y HCFC), no son solubles en los aceites minerales y sintéticos tradicionalmente empleados, lo que ha obligado a reemplazar éstos últimos por aceites más caros del tipo *éster de poliol* cuya solubilidad con los nuevos fluidos de sustitución es buena.

Viscosidad y conductividad térmica.- Interesa que el fluido frigorígeno tenga una viscosidad baja (resistencia térmica y pérdida de carga menores), y una conductividad térmica elevada (mejor transmisión del calor) .

Tabla XIIIA.10.- Nomenclatura simbólica de diversos refrigerantes

CLASIFICACION DE LOS REFRIGERANTES				
Denominación frigorífica	*Denominación química*	*Fórmula química*	*Masa molecular gramos*	*Punto ebullición en ºC a 1.013 bars*
Grupo primero: Refrigerantes de alta seguridad				
R-11	*Tricloromonofluormetano*	CCl_3F	*137,4*	*23,8*
R-12	*Diclorodifluormetano*	CCl_2F_2	*120,9*	*-29,8*
R-13	*Monoclorotrifluormetano*	$CClF_3$	*104,5*	*-81,5*
R-13B1	*Bromotrifluormetano*	$CBrF_3$	*148,9*	*-58*
R-14	*Tetrafluoruro de carbono*	CF_4	*88*	*-128*
R-21	*Dicloromonofluormetano*	$CHCl_2F$	*102,9*	*-8,2*
R-22	*Monoclorodifluormetano*	$CHClF_2$	*86,5*	*-40,8*
R-113	*Triclorotrifluoretano*	CCl_2FCClF_2	*187,4*	*-47,7*
R-114	*Diclorotetrafluoretano*	$CClF_2CClF_2$	*170,9*	*-3,5*
R-115	*Cloropentafluoretano*	$CClF_2CF_3$	*154,5*	*-38,7*
R-318C	*Octofluorciclobutano*	*C Fe*	*200*	*-5,9*
R-502	*R-22 (48,8%) + R-115 (51,2%)*	$CHClF_2/CClF_2CF_3$	*112*	*-45,6*
R-744	*Anhidrido carbónico*	CO_2	*44*	*-78,5*
R-718	*Agua*	H_2O	*18*	*100*
Grupo segundo: Refrigerantes de media seguridad				
R-30	*Cloruro de metileno*	CH_2Cl_2	*84,9*	*40,1*
R-40	*Cloruro de metilo*	CH_3Cl	*50,5*	*-24*
R-160	*Cloruro de etilo*	CH_3CH_2Cl	*64,5*	*-12,5*
R-611	*Formiato de metilo*	$HCOOCH_3$	*60*	*-31,2*
R-717	*Amoniaco*	NH_3	*17*	*-33*
R-764	*Anhidrido sulfuroso*	SO_2	*64*	*-10*
R-1130	*1.2-Dicloroetileno*	$CHCl=CHCl$	*96,9*	*-48,5*
Grupo tercero: Refrigerantes de baja seguridad				
R-170	*Etano*	CH_3CH_3	*30*	*-88,6*
R -290	*Propano*	$CH_3CH_2CH_3$	*44*	*-42,8*
R-600	*Butano*	$CH_3CH_2CH_2CH_3$	*58,1*	*-0,5*
R-600a	*Isobutano*	$CH(CH_3)_3$	*58,1*	*-10,2*
R-1150	*Etileno*	$CH_3=CH$	*28*	*-103,7*

Tabla XIIIA.11.- Precios orientativos de algunos refrigerantes

Refrigerante	*R 717*	*R 12*	*R 22*	*R-141b*	*R-134a*	*R-502*	*R-404a*	*R-401a*	*R-401b*	*R-402a*	*R-402b*
Precio, euro/kg	*2*	*40*	*7*	*10*	*18*	*65*	*40*	*19*	*22*	*30*	*28*

Características económicas.- El precio del refrigerante incide tanto sobre el costo inicial de la instalación como sobre las posibles pérdidas económicas por fugas que pudieran producirse en servicio; en muchas ocasiones este sumando representa un porcentaje muy pequeño del costo total. En la

Tabla XIIIA.11 se incluyen, a título orientativo, los precios comparativos de algunos fluidos frigorígenos que en los años 2000 eran de uso común. La elección de uno u otro fluido frigorígeno no se efectúa en la mayoría de los casos en función únicamente de su precio, sino según la repercusión económica que esta elección pudiera tener en el costo global de la instalación.

Por ejemplo, el amoniaco exige tuberías de acero, pero los halocarburos, sin embargo, pueden utilizarse con tuberías de cobre mucho más baratas de instalar, siendo ésta la razón por la que dado el elevado coste actual de la mano de obra, en instalaciones de tamaño medio son preferidos muchas veces los halocarburos. Sólo en las grandes plantas se ha seguido utilizando el amoniaco, reservándose los halocarburos para las pequeñas instalaciones.

De todas formas, la seguridad y conocimiento que se adquieren con el uso continuado de un determinado tipo de fluido frigorígeno hacen que muchas veces su elección sea una cuestión de preferencia personal.

La incidencia e importancia del precio unitario en la elección del fluido frigorígeno depende en definitiva del tamaño de la instalación. A modo de ejemplo, un frigorífico doméstico puede contener menos de medio kg de refrigerante, cantidad además que se espera dure toda la vida técnica del refrigerador; es evidente que la incidencia que sobre el precio total del frigorífico pueda tener la elección de uno u otro fluido frigorígeno es, en este caso, despreciable.

Sin embargo, en el caso de una gran instalación industrial, la carga de refrigerante puede llegar a ser de varios miles de kg, lo que invierte evidentemente la conclusión anterior; en este caso, tanto el coste inicial del refrigerante como el que puede producirse por pérdidas (fugas) durante el funcionamiento de la instalación puede alcanzar cifras considerables.

XIIIA.8.- CARACTERÍSTICAS MEDIOAMBIENTALES

Para que el impacto ambiental originado por algunos refrigerantes comenzará a ser tenido en cuenta a la hora de elegir en cada caso el fluido frigorígeno más idóneo, tuvieron que suceder varios hechos cuya descripción merece la pena realizar aunque sólo sea para comprender mejor el estado actual de la cuestión.

ANTECEDENTES.- Los primeros refrigerantes utilizados en la generación de frío eran todos tóxicos o inflamables, o ambas cosas a la vez. Por otra parte, los equipos que los empleaban solían tener frecuentes fugas de refrigerante, principalmente a través de las empaquetaduras de los compresores, que al ser de tipo abierto, suponían un riesgo constante de incendios e intoxicaciones (en la actualidad, el hecho de que la totalidad de los compresores pequeños y bastantes de tamaño medio sean herméticos ha minimizado este problema) .

En la década de 1930 se descubren los derivados clorofluorcarbonados o halocarburos, los cuales debido a sus excelentes propiedades no tóxicas, no inflamables y muy estables, experimentaron una

rapidísima extensión, desbancando de las instalaciones domésticas a los refrigerantes amoníaco, cloruro de metilo e hidrocarburos que habían sido utilizados hasta el momento.

En 1974 se constata la creciente acumulación de los compuestos CFC y HCFC en la estratosfera (S. Rowland y M. Molina), estimándose en varias decenas de millones de toneladas la cantidad que hasta el momento ha escapado hacia élla, a la vez que se expone por primera vez la teoría según la cual estas sustancias podrían estar destruyendo la capa de ozono.

Fueron necesarios once años más (hasta el descubrimiento del llamado agujero de la capa de ozono de la Antártida), para que los gobiernos comenzaran a tomar conciencia del problema y se decidieran a actuar, lo que se hizo finalmente en el protocolo de Montreal (1987) (auspiciado por las Naciones Unidas y firmado por 46 estados miembros), así como en sus posteriores revisiones de Londres (1990), Copenhague (1992) y Viena (1995), cuyo objetivo común fue el eliminar el empleo y la fabricación de los compuestos CFC y HCFC utilizados hasta entonces como refrigerantes y también como agentes expansores y propelentes de los sprays, para lo cual se fijó un estricto calendario de prohibiciones (congelaciones de fabricación y eliminación posterior final) a corto y medio plazo que se resume en el cuadro de la Tabla XIIIA.12.

Tabla XIIIA.12.- Resumen orientativo del calendario de prohibiciones

Fluido	*Año eliminación final*	
frigorígeno	*Paises desarrollados*	*Paises en vía de desarrollo*
CFC	*1996*	*2010*
HCFC	*2020*	*2040*

La prohibición se fundamentó en las teorías de Rowland y Molina, confirmada por posteriores mediciones experimentales, relativas a la progresiva destrucción de la capa de ozono cuyo papel protector es primordial frente a la radiación ultravioleta. Además, se ha comprobado que estos compuestos contribuyen también al incremento del efecto invernadero de la Tierra, otra sería amenaza a largo plazo para el equilibrio ecológico.

EFECTO INVERNADERO.- En la actualidad, la temperatura media de la Tierra es de 15ºC, siendo el responsable de este equilibrio el contenido atmosférico actual de CO_2 y otros gases heteropolares. En el futuro, la creciente descarga de CO_2 a la atmósfera, que no cesa desde la revolución industrial, y la no despreciable de HCFC y HFC (la presencia de átomos de hidrógeno en estos compuestos los hace menos estables, siendo sus vidas atmosféricas del orden de 2 a 25 años), así como de CFC (de vida atmosférica superior a 100 años), está originando el proceso que se registra a continuación:

El aumento del contenido de CO_2 y halocarburos en la atmósfera implica el incremento correspondiente del efecto invernadero, que a su vez influye en la elevación de la temperatura media actual en unos grados centígrados; ésto puede provocar la fusión de masas de hielo (con la consiguiente elevación del nivel de los océanos) y una mayor evaporación del agua de la tierra (ocasionando

una disminución de la humedad del suelo) .

La contribución de esta *agresividad ambiental* al efecto de calentamiento global de la Tierra varía de unos refrigerantes a otros y tiene lugar de dos formas distintas:

*a) De **modo directo**, por emisiones y fugas de los fluidos frigorígenos, que poseen vidas atmosféricas muy diferentes; este efecto se cuantifica mediante el índice denominado Potencial de Calentamiento de la Tierra (GWP, Global Warming Potential, que se define como el cociente entre el efecto y el incremento de la radiación térmica en la corteza terrestre, producido en un periodo de tiempo de 100 años por 1 kg de CO_2.*

$$GWP = \frac{\text{Efecto debido a las emisiones y fugas de los refrigerantes}}{\text{Incremento de la radiación térmica de la corteza terrestre en 100 años por 1 kg de } CO_2}$$

*b) De **modo indirecto**, por el consumo de electricidad en el funcionamiento del equipo refrigerador durante su vida técnica; en este efecto tiene la máxima influencia el COP del sistema pero inciden también factores tales como el número de horas previsto de funcionamiento durante la vida técnica del equipo, así como el modo de generación de la electricidad consumida por él.*

En este sentido, mientras que para USA y varios países de Europa, en donde la electricidad procede de combustibles fósiles, hidráulica y nuclear, se puede estimar una emisión media de $\frac{0{,}65\ kg\ CO_2}{kWh}$, para países como Francia, Suiza, Noruega y Suecia en los que la electricidad es casi exclusivamente de origen hidráulico y nuclear, la cifra es muy inferior, estando próxima a $\frac{0\ kg\ CO_2}{kWh}$.

La suma de estas dos contribuciones agresivas del CO_2 al efecto invernadero se denomina ***Impacto de Calentamiento Equivalente Total***, *(Total Equivalent Warming Impact)*, *TEWI,* y es un indicador del calentamiento, a escala mundial, más perfecto que el GWP; viene dado por la expresión binomia que se indica a continuación:

$$\text{Impacto de calentamiento: } TEWI = (GWP \times G) + (\alpha \times C)$$

en la que:

GWP, es el Potencial de Calentamiento de la Tierra correspondiente al fluido frigorígeno en cuestión, índice que representa el impacto directo.

G, es la masa total del fluido frigorígeno emitido en kg

α*, es la emisión de CO_2 por kWh producido en la central, kg de CO_2/kWh*

C, es el consumo de energía eléctrica durante la vida técnica del equipo, cifra que depende tanto de ésta última, como del tiempo real de funcionamiento y COP de la instalación en kWh

Capa de ozono.- El índice representativo del efecto destructor del refrigerante sobre la capa de ozono es el llamado *Potencial de Destrucción del Ozono ODP, Ozone Depletion Potential* y se define como el cociente entre el efecto ocasionado en un período de 100 años por 1 kg de sustancia emitida instantáneamente a la atmósfera, (ozono destruido), y el debido a 1 kg de R-12.

$$ODP\ (Potencial\ de\ destrucción\ del\ ozono) = \frac{Ozono\ destruido\ por\ 1\ kg\ de\ refrigerante\ en\ 100\ años}{1\ kg\ de\ R\text{-}12}$$

Recursos energéticos.- El efecto indirecto del refrigerante sobre la extinción de los depósitos no renovables de combustibles fósiles viene contabilizado por el COP.

XIIIA.9.- SUSTITUYENTES

Para que un refrigerante haya podido sustituir adecuadamente a los que hasta hace poco estaban en funcionamiento, se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- *Toxicidad*
- *Inflamabilidad*
- *Compatibilidad con materiales*
- *Compatibilidad y solubilidad con lubricantes*
- *Nuevo COP comparado con el del fluido sustituido*
- *Temperatura de escape*
- *ODP, Potencial de destrucción del ozono*
- *GWP y mejor aún TEWI*
- *Reglamentación vigente*

- REFRIGERANTES SINTÉTICOS.- La búsqueda de potenciales sustitutivos de los cuatro refrigerantes más utilizados hasta hace unos años, a saber:

R-11 (TC centrífugos)
R-12 (aire acondicionado de vehículos y en equipos de tamaños pequeño y medio)
R-22 (climatización con compresores no centrífugos)
R-502 (bajas temperaturas en túneles de congelación y cámaras de conservación de congelados)

se ha llevado a cabo en primer lugar entre los halocarburos puros exentos de cloro ODP=0, y bajo TEWI, no habiéndose encontrado ningún HFC que respondiera favorablemente a las exigencias anteriores.

Las grandes multinacionales del sector químico han ampliado su campo de investigación, dirigiendo su atención a las mezclas binarias o ternarias, tanto zeotrópicas como azeotrópicas, que sean capaces de poder reemplazar, a corto plazo, a los fluidos ya prohibidos pero presentes todavía en instalaciones en funcionamiento, y a largo plazo, a los que en el futuro deberán ser incorporados a los equipos de nueva fabricación.

- REFRIGERANTES NATURALES.- Aunque se han encontrado sustituyentes sintéticos capaces de reemplazar, al menos de momento, a los refrigerantes sujetos a prohibición, no parece que esos productos sintéticos vayan a ser la solución final del problema, y ésto en razón a su elevado GWP. Existe una corriente de opinión al respecto, que estima más lógica la vuelta a los viejos refri-

gerantes naturales, presentes en la biosfera de modo natural y que no suponen por lo tanto peligro ambiental alguno, siendo los más significativos:

El ***amoniaco R-717*** es de entre los primeros refrigerantes, el único que se ha seguido utilizando hasta nuestros días, si bien únicamente en las grandes plantas industriales; en pequeñas instalaciones no se usa por su toxicidad y debido a su efecto en los devanados de los motores eléctricos de los compresores herméticos. La enorme experiencia que ha podido acumularse junto con el hecho de ser un refrigerante natural de nulo impacto ambiental, ODP = 0 ; GWP = 0 lo han revalorizado de nuevo, teniendo en cuenta además que es un excelente transmisor del calor y mucho más económico que los halocarburos. Sus mayores inconvenientes son su toxicidad, inflamabilidad de grado medio e incompatibilidad con el cobre y sus aleaciones.

El ***agua R-718*** posee excelentes propiedades termodinámicas y medioambientales ODP = 0; GWP = 0, y no es tóxico ni inflamable. El peor inconveniente es su elevado volumen específico a 0ºC, 1 kg ocupa 200 m^3, que lo hace no apropiado en los compresores alternativos y sí en los TC centrífugos; su mayor limitación radica en que sólo es utilizable en instalaciones de aire acondicionado y de refrigeración que no requieran temperaturas inferiores a 0ºC.

El ***dióxido de carbono R-744*** no es tóxico ni inflamable; su inconveniente principal estriba en su muy baja temperatura crítica 31ºC lo que, para la mayoría de sumideros de agua o aire disponibles en la naturaleza, impide la utilización de temperaturas de condensación subcríticas. El ciclo supercrítico de Lorentzen (híbrido Carnot-Joule) que realiza la evaporación en la región subcrítica y la cesión de calor, a presión constante, en la supercrítica, fuera de la campana de saturación, se utilizada en aplicaciones de bomba de calor para producción de agua caliente y en sistemas de recuperación de calor.

El ***aire R-729***, es ininflamable, no tóxico y de nulo impacto medioambiental, ODP = 0; GWP = 0; como su temperatura crítica es exageradamente baja, impide conseguir isotermicidad tanto en la absorción como en la cesión de calor del ciclo frigorífico.

El ***propano R-290*** *y el* ***isobutano R-600a***, así como los hidrocarburos saturados en general, aunque inflamables, son refrigerantes suficientemente seguros si se utilizan en cantidades inferiores a 100 gramos, como es el caso de los frigoríficos domésticos, o instalaciones exteriores a la intemperie, o en plantas industriales en las que el peligro de incendio o explosión esté presente en su proceso, etc. Estos fluidos son además excelentes sustituyentes directos pues necesitan pocos cambios en el equipo (sólo el lubricante) y una carga menor de refrigerante, dando lugar a valores superiores del COP y temperaturas de escape más bajas, si se comparan con los halocarburos sustituidos. Por si ésto fuera poco, tienen también la ventaja de su no toxicidad así como una nula agresividad ambiental, ODP = 0; GWP = 0. La creciente utilización de estos fluidos frigorígenos en equipos domésticos requerirá seguramente la revisión de la reglamentación vigente de ciertos países, algo anticuada y demasiado restrictiva en algunos casos.

XIIIA.10.- EL ACEITE EN LOS EQUIPOS FRIGORÍFICOS

El aceite es necesario en los compresores frigoríficos por tres motivos:

a) Lubricación, para minimizar el rozamiento entre los órganos móviles

b) Eliminación de calor hacia el exterior (rodamientos, etc)

c) Estanqueidad y sellado del compresor (entre segmentos y cilindro); en los compresores abiertos, en la salida del eje de acoplamiento al motor

PROPIEDADES DE LOS ACEITES LUBRICANTES.- El aceite cumple la función de lubricar y refrigerar las partes móviles del compresor. Dado que va mezclado con el fluido refrigerante y que, además, entra en contacto con los arrollamientos del motor eléctrico, debe tener la capacidad de poder suportar simultáneamente las altas temperaturas de compresión y las bajas temperaturas de evaporación y, por otra parte, ser un buen aislante eléctrico y no dañar las partes con las que se encuentra en contacto.

Las características generales que debe poseer un aceite lubricante destinado a los equipos de refrigeración son las siguientes:

- Buenas cualidades de lubricación, las cuales se pueden mejorar usando aditivos a base de Tiresilfosfato o sustancias antiespuma.

- Baja viscosidad, definida en función de la temperatura de evaporación del fluido utilizado y del tipo de compresor empleado. La viscosidad de los aceites que se encuentran en el comercio varia entre 150 y 800 S.U.V.T. (Saybold Universal vis. test).

- Bajo punto de floculación, para evitar que las partes que se solidifican (ceras) puedan obstruir las válvulas termostáticas o se depositen en el serpentín del evaporador, reduciendo el coeficiente de intercambio térmico. Por ejemplo, en los equipos que funcionan $\begin{cases} a\ 18ºC, \text{ el punto de floculación debe ser de } 30ºC \\ a\ 40ºC, \text{ el punto de floculación debe ser de } 50ºC \end{cases}$

- Tiene que encontrarse exento de humedad, por lo que hay que conservarle en recipientes limpios y secos, de forma que su constante dieléctrica supere siempre los 20 kV/mm. Hay que tener en cuenta que vestigios de agua del orden del 0,06% llegan a reducir la rigidez dieléctrica en un 50%.

- Bajo contenido de cera inerte

- Buena estabilidad química, es decir, a los materiales y al fluido refrigerante.

- Buena estabilidad térmica, para no formar depósitos carbonosos en los puntos calientes del compresor, ni inflamarse a temperaturas inferiores a los 140ºC. Esta última cualidad es muy importante, ya que la temperatura de la alimentación, como así también la de la culata del compresor, puede sufrir una gran variación al modificarse las condiciones exteriores.

Para que se produzca intercambio térmico en un condensador refrigerado por aire, la temperatura del vapor tiene que ser normalmante de 17ºC a 19ºC superior a la del aire exterior.

Si la temperatura ambiente aumenta 10ºC, sucederá lo mismo para el vapor.

Otra de las causas que puede provocar sobrepresión y, en consecuencia, sobretemperaturas, es la presencia de fluidos no condensables; en este caso la presión de la mezcla es, por la ley de Dalton, la suma de las presiones parciales de los componentes; como consecuencia, se produce un aumento de la temperatura de la alimentación proporcional a la cantidad de fluido no condensable.

Otras causas que pueden llevar a un repentino aumento de la temperatura de alimentación, que puede llegar a quemar el aceite, las culatas del compresor, el motor eléctrico, etc, son la existencia de una sobrecarga de fluido que inunda el condensador (con la consiguiente reducción de la superficie que disipa calor), o si este último se encuentra sucio, o bien, si se verifica una reducción del fluido de enfriamiento. Por esta razón, se acostumbra proteger el equipo instalando el presostato en el lado de la alta presión.

LUBRICACIÓN DE CILINDROS EN COMPRESORES FRIGORÍFICOS ALTERNATIVOS

Lubricación por barboteo.- Este sistema se utiliza en compresores verticales de tamaño pequeño y medio. Como los cilindros de la mayoría de los compresores están abiertos al cárter, el aceite es impulsado por las cabezas de biela, centrífugamente, salpicando de esta manera las paredes del cilindro, siendo los segmentos del pistón los que en su movimiento alternativo terminan de distribuirlo hacia la parte superior.

Lubricación forzada por bomba de aceite.- Este sistema se utiliza en todos los compresores horizontales y en los verticales de mayor tamaño, en los que (por esta razón) quedan los cilindros más alejados del cárter. El aceite se impulsa a la fuerza hasta los rodamientos y paredes del cilindro. Para evitar el excesivo arrastre de aceite desde el compresor hacia el escape, (en ambos sistemas), es conveniente que el nivel de aceite en el cárter no sobrepase el suficiente para su correcta lubricación.

Solubilidad entre el fluido frigorígeno y el aceite.- Depende de los siguientes factores:

- Del tipo de fluido frigorígeno

- Del tipo de aceite

- De la temperatura de ambos (que en el circuito frigorífico será común a aceite y fluido frigorígeno)

- De la presión de la fase gaseosa (pues el fluido frigorígeno está en algunas partes del circuito frigorífico en fase líquida y en otras en fase gaseosa). Cuando ambos están en fase líquida, la influencia de la presión es despreciable.

La solubilidad del aceite en el fluido frigorígeno líquido aumenta con la temperatura.

Ley de Raoult.- Es la elevación del punto de ebullición del fluido frigorígeno líquido (disolvente líquido), al aumentar el aceite (soluto) disuelto en él. Las consecuencias termodinámicas de la Ley de Raoult son:

- El fluido frigorígeno con aceite disuelto en él, tiene a una presión dada p_1, Fig XIIIA.6, un punto de ebullición más alto que en estado puro. (La curva del R-12 puro está desplazada a la izquierda)

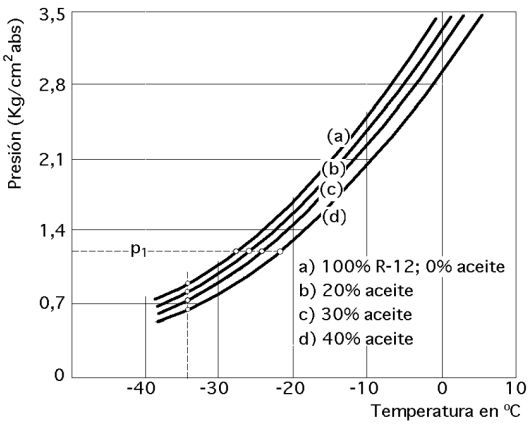


Fig XIIIA.6.- Presión de vapor de la solución R-12 aceite

- La presión de vapor de la solución fluido frigorígeno-aceite a una temperatura dada, es siempre menor que la que tendría el fluido frigorígeno puro a la misma temperatura.

En consecuencia, la presencia en el evaporador de aceite disuelto en el fluido frigorígeno implica:

- Una presión de aspiración menor que la correspondiente al fluido frigorígeno puro a la temperatura existente en el evaporador

- Una temperatura real más alta que la que se podría deducir de la lectura de la presión reinante en el lado de baja; este aumento de la temperatura en el evaporador reduce evidentemente la potencia frigorífica que podría producirse a esa misma presión, pero sin aceite presente

Consecuencias físicas desfavorables para el aceite:

- La solución aceite-fluido frigorígeno, tiene una viscosidad mucho menor que la del aceite puro con la consiguiente pérdida de su poder lubricante

- La formación de espuma

Solubilidad en aceite de los diferentes fluidos frigorígenos en fase liquida.- *El NH_3 líquido y el aceite son insolubles*, como lo son el agua y el aceite, sólo que el NH_3 al ser más ligero, flota sobre el aceite.

El R-12 líquido es completamente miscible en aceite en cualquier proporción

El R-22 líquido es completamente miscible en aceite a altas temperaturas, pero a temperaturas más bajas ambos se separan en dos fases con la particularidad de que el aceite, que es más ligero, flota sobre el R-22, tiene algo de fluido frigorígeno en disolución y el R-22 a su vez algo de aceite.

Solubilidad entre el vapor de fluido frigorígeno y el aceite.- La cantidad de vapor de fluido frigorígeno absorbido por el aceite aumenta con la presión; a presión constante, el aumento de la temperatura disminuye la solubilidad ó absorción de equilibrio, *(Ley de Henry)*.

Solubilidad en aceite de diferentes fluidos frigorígenos en fase de vapor.- El NH_3 a presión y en fase gaseosa se disuelve algo en aceite pero no lo suficiente como para alterar sus propiedades lubricantes, por lo que se le considera inmiscible. Esto no evita que el aceite purgado de una instalación tenga un fuerte olor a amoniaco.

El R-12 en fase gaseosa, en contacto con el aceite, se disuelve en proporción inversa a la temperatura, es decir que a altas temperaturas, el R-12 es menos miscible en el aceite que a bajas.

El R-22 en fase gaseosa se disuelve en aceite en menos proporción que el R-12, siendo sus curvas de solubilidad similares a las del R-12.

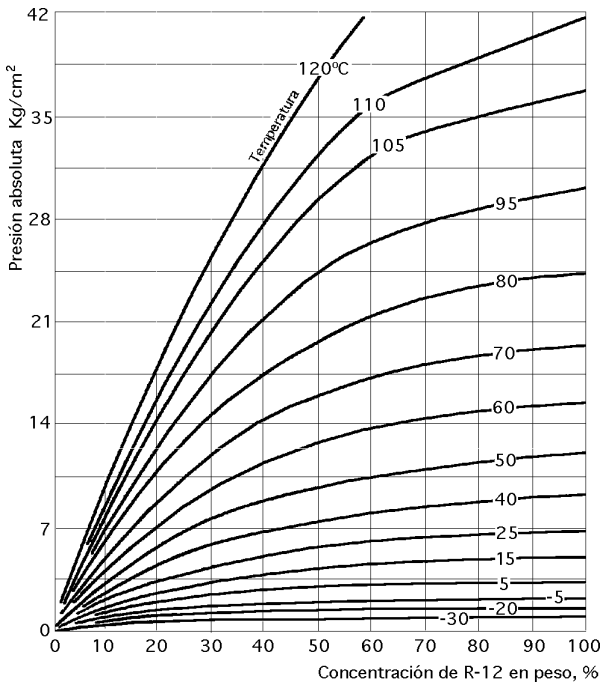


Fig XIIIA.7.- Curvas de solubilidad del R-12, (presión, temperatura, concentración), en un aceite determinado

Recuperación del aceite.- El aceite es arrastrado en el escape del compresor, ocasionando:

- Una disminución del nivel de aceite lubricante en el cárter con la consiguiente falta de lubricación en el compresor

- Películas de aceite en el condensador y en el evaporador, con la consiguiente disminución del rendimiento de los mismos, y una suciedad general en todo el circuito

Por lo tanto, el sistema se tiene que diseñar de forma que se evite en lo posible esta fuga y la consiguiente llegada de aceite al evaporador y caso de producirse ésta, tratar de hacerlo retornar al cárter. Como a lo largo del circuito varía la miscibilidad del aceite y del fluido frigorígeno, existen zonas en las que es más fácil proceder a su separación, por lo que es ahí donde se deberá colocar el *separador de aceite*, para su drenado vía válvula manual o automática de boya, hacia el cárter del compresor, Fig XIIIA.8a.

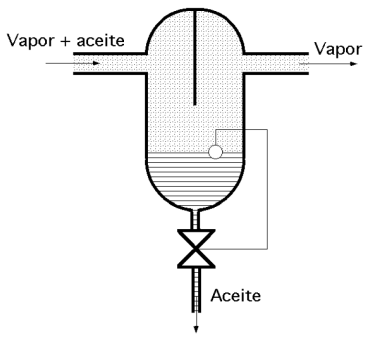
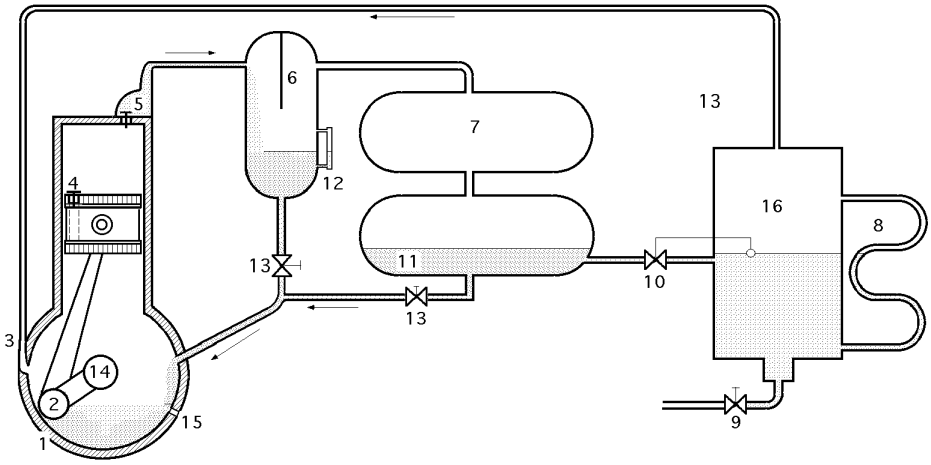


Fig XIIII.8A.- Separador de aceite en el escape del compresor

Este separador se coloca siempre en el escape del compresor donde el vapor y el aceite, por estar a más alta temperatura, son menos miscibles tanto en el caso del NH_3 como en el del R-12; además, por estar el interior del separador a la presión de escape del compresor, el aceite pasará fácilmente al cárter, donde reina una presión más baja. Para facilitar su drenado y, en su caso, retorno al compresor, la diferente miscibilidad del NH_3 y del R-12 en aceite (casos opuestos y extremos) obliga a establecer variantes en sus respectivos circuitos frigoríficos.

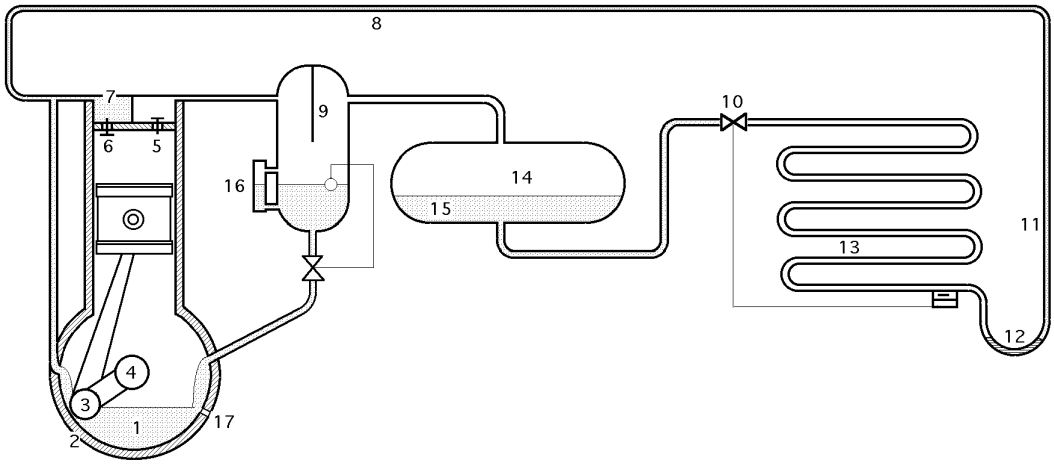
Si en lugar del evaporador inundado de la Fig XIIIA.9 existiera un evaporador seco, el aceite se

quedaría en él, y al ser viscoso y no volátil se podría llegar a almacenar en lugares y pasos ciegos que no serían alcanzados por la succión de la aspiración del compresor, reduciéndose la capacidad del evaporador; esta es la razón por la que se suele preveer una *purga periódica manual de aceite* en el evaporador. La presencia excesiva de aceite en el evaporador le ocasiona una temperatura mayor que la correspondiente para el R-12 a la presión de aspiración, con la consiguiente disminución en la eficacia del evaporador.



1) Cárter; 2) Cabezal de biela; 3) Admisión por el cárter; 4) Válvula de aspiración; 5) Válvula de escape; 6) Separador de aceite; 7) Condensador; 8) Evaporador inundado; 9) Purga manual (se pierde el aceite ó se puede regenerar); 10) Válvula de expansión; 11) Depósito líquido; 12) Nivel; 13) Purga manual ó automática de flotador; el aceite es insoluble en el NH_3 y va al fondo; 14) Cigüeñal; 15) Visor; 16) Depósito separador

Fig XIIIA.9.- Circulación del aceite en sistemas de NH_3



1) Aceite; 2) Cárter; 3) Cabeza de biela; 4) Cigüeñal; 5) Válvula de escape; 6) Válvula de admisión; 7) Admisión por la cabeza del cilindro debido a la mayor miscibilidad con el aceite; 8) Línea de aspiración con inclinación hacia el compresor; 9) Separador de aceite; 10) Válvula de expansión termostática; 11) Dimensionado del diámetro del riser de aspiración para velocidad mínima para arrastre de aceite;12) Trampa de aceite (a colocar siempre antes de un riser de aspiración) que al llenarse de aceite disminuye la sección y aumenta la velocidad del R-12 que arrastra el aceite; 13) Evaporador seco alimentado por arriba para mejorar el arrastre de aceite (peor desde el punto de vista de la obtención de Frío); 14) Condensador; 15) El aceite está completamente disuelto en el R-12 y pasa al evaporador; 16) Nivel; 17) Visor

Fig XIIIA.10.- Circulación del aceite en sistemas de R-12

Si el diseño del circuito tiene en cuenta lo expuesto en la Fig XIIIA.10, se consigue el correcto retorno del R-12 al compresor.

En los evaporadores inundados es más difícil el conseguirlo y se suelen arbitrar diferentes soluciones (para evitar que el aceite se vaya almacenando en el *surge drum* o depósito separador alimentador), basadas todas ellas en efectuar extracciones de líquido rico en aceite del *surge drum* y posterior entrega al cárter ó a la aspiración, previa evaporación a sequedad del líquido en un cambiador de calor, siendo el fluido caliente ó vapor recalentado tomado a la salida del compresor ó líquido antes de la expansión en la válvula de flotador.

XIIIA.11.- REFRIGERANTE R-134 a

La misión del presente anexo sobre el refrigerante R-134a es consecuencia de la normativa de sustitución de algunos de los refrigerantes fluorados, utilizados antiguamente en la técnica del frío, por otras sustancias que posean las propiedades físicas y termodinámicas adecuadas. El R-134a tiene un punto de ebullición de (-26,3ºC), por lo que esta sustancia es muy adecuada como sustituto del refrigerante R-12.

El R-134a, cuya fórmula química es Tetrafluoroetano CF_3-CH_2F, es un isómero del R-134.

Tal como se deduce de su fórmula estructural, la molécula no contiene ningún átomo de cloro, responsable de la descomposición del ozono, por lo que se le adjudica a esta sustancia el potencial 0, respecto a la destrucción del ozono.

- La contribución del R-134a al efecto invernadero es (3600 x 0,34 = 1225) veces mayor que la del CO_2

- El escape del R-134a correspondiente a la carga de un refrigerador doméstico (alrededor de 140 g) equivaldría a (0,14 x 1225 = 171,5 kg de CO_2)

En Europa se forman alrededor de 448 g de CO_2 en la generación de 1 kWt/h de energía, es decir, esta emisión del refrigerante correspondería a la producción de, aproximadamente, 350 kWt/h de energía.

Tabla XIIIA.13.- Datos comparativos entre las propiedades físicas de los freones R-134a y R-12

	Unidades	*R-134a Tetrafluoroetano CH_3-CH_2-F*	*R-12 Diclorodifluormetano CCl_2F_2*
Masa molecular	*kg/Kmol*	*102,6*	*120,9*
Temperatura de ebullición	*ºC*	*-26,3*	*-29,8*
Densidad del liquido a 20 ºC	*kg/dm³*	*1,225*	*1,328*
Tensión de vapor a 20 ºC	*bar*	*5,74*	*5,67*
Entalpía de evaporación	*kJ/kg*	*196,2*	*182,5*
Inflamabilidad		*no inflamable*	*no inflamable*
Temperatura crítica	*ºC*	*101,1*	*112*
Presión crítica	*bar*	*40,7*	*41,2*

En la Tabla XIIIA.13 se indican los datos comparativos entre las propiedades físicas de los freo-

nes R-134a y R-12; para efectuar una comparación cualitativa entre los mismos se puede hacer uso de los ciclos de trabajo utilizados por ambos fluidos para obtener un determinado COP, Tabla XIIIA.14, a partir de una serie de datos que permanecen constantes.

Se puede suponer que tanto el rendimiento mecánico del compresor, como el rendimiento eléctrico del motor de accionamiento son los mismos en ambos ciclos.

Con las condiciones impuestas en la Tabla XIIIA.14 se calculan los resultados de la Tabla XIIIA.15, observándose que el R-134a resulta muy adecuado para sustituir al R-12 como refrigerante.

Tabla XIIIA.14

Temperatura de ebullición	*-30°C*
Sobrecalentamiento	*15°C*
Temperatura de licuación	*30°C*
Sobreenfriamiento	*5°C*
Potencia frigorífica	*10 kW*
Rendimiento isentrópico	*0,8*

Los resultados de la Tabla XIIIA.15 no cambiarían de manera significativa si en el ciclo se introducen otras condiciones de funcionamiento, por lo que se pueden constatar las siguientes ventajas del R-134a frente al R-12: $\begin{cases} \text{- } \textit{Una temperatura final de compresión más baja} \\ \text{- } \textit{Los mismos diámetros de las tuberías conductoras del refrigerante} \\ \text{- } \textit{Relaciones de compresión casi iguales} \end{cases}$

Como inconveniente se podría citar el *mayor volumen de cilindrada, por lo que hay que emplear un compresor mayor*.

Tabla XIIIA.15

	Unidades	*R-134a*	*R-12*
Presión de evaporación	*bar*	*85*	*100*
Presión de licuación	*bar*	*7,73*	*7,45*
Relación de presiones		*9,04*	*7,43*
Diferencia de presión	*bar*	*6,88*	*6,45*
Temperatura final de compresión	*°C*	*66,4*	*74,5*
Gasto másico del refrigerante	*kg/s*	*0,639*	*0,811*
Potencia de accionamiento del compresor	*kW*	*390*	*390*
Volumen de la cilindrada	*m^3/hora*	*7380*	*6330*
Diámetro de la tubería de aspiración	*mm*	*38,9*	*39,3*
Diámetro de la tubería de impulsión	*mm*	*20*	*22*
Diámetro de la tubería del liquido	*mm*	*11,7*	*12,7*

Presion de vapor.- Para la obtención de las presiones de vapor se ha elegido la ecuación de Wagner de la siguiente forma:

$$\frac{p}{p_k} = A\,(1 - \frac{T}{T_k}) + B\,(1 - \frac{T}{T_k})^a + C\,(1 - \frac{T}{T_k})^b + D\,\frac{(1 - \frac{T}{T_k})^c}{1 - \frac{T}{T_k}}$$

cuyas constantes vienen indicadas en la Tabla XIIIA.16.

Tabla XIIIA.16.- Constantes para la representación de las presiones del vapor (Wagner)

A	*-7,6817720*	*Exponentes*		*Constantes termodinámicas*	
B	*0,0001735*	*a*	*1,1*	T_k *(°K)*	*374,21*
C	*-3,1027510*	*b*	*2,5*	p_k *(bar)*	*40,56*
D	*1,9583420*	*c*	*1,5*	T_s *(°C)*	*-26,25*

Densidad.- La densidad del líquido a la temperatura de saturación se puede obtener a partir de la ecuación:

$$\frac{\rho}{\rho_k} = 1 + D_1\left(1 - \frac{T}{T_k}\right)^{\frac{1}{3}} + D_2\left(1 - \frac{T}{T_k}\right)^{\frac{2}{3}} + D_3\left(1 - \frac{T}{T_k}\right) + D_4\left(1 - \frac{T}{T_k}\right)^{\frac{4}{3}}$$

en la que las constantes para la representación de la densidad del líquido en ebullición del R-134a vienen indicadas en la Tabla XIIIA.17

Tabla XIIIA.17.- Constantes para la representación de la densidad del líquido en ebullición del R-134a

D_1	D_2	D_3	D_4	D_5
1,7127	*1,045143*	*-0,2276586*	*0,1836428*	*515,3*

Calor específico.- El calor específico en estado de gas ideal se calcula con ayuda del siguiente polinomio, función de la temperatura, (Wilson)

$$c_{p0} = a_1 + a_2\ T + a_3\ T^2 + a_4\ T^3 + \frac{a_5}{T}$$

viniendo indicadas las constantes correspondientes en la Tabla XIIIA.18.

Tabla XIIIA.18.- Constantes para la representación del calor especifico en estado de gas ideal

a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
kJ/kg°K	*kJ/kg°K*	*kJ/kg°K*	*kJ/kg°K*	*kJ/kg*
-0,005257455	*0,00329657*	*0,00000201732*	*0*	*15,8217*

Ecuación de estado.- La ecuación de estado de Martin-Hou, muy apropiada para la representación del comportamiento (p *(bar)*, v (m^3/kg), T *(°K)*) de refrigerantes fluorados, es de la forma:

$$p = \frac{R\ T}{v - b} + \frac{A_2 + B_2\ T + C_2\ e^{-\frac{k\ T}{T_k}}}{(v - b)^2} + \frac{A_3 + B_3\ T + C_3\ e^{-\frac{k\ T}{T_k}}}{(v - b)^3} + \frac{A_4}{(v - b)^4} + \frac{A_5 + B_5\ T + C_5\ e^{-\frac{k\ T}{T_k}}}{(v - b)^5}$$

Entalpía específica.- La ecuación para el estado de vapor recalentado es:

$$i = i_0 + (p\ v - R\ T) + a_1 T + a_2 \frac{T^2}{2} + a_3 \frac{T^3}{3} + a_4 \frac{T^4}{4} + a_5\ ln\ T +$$

$$+ \frac{A_2}{v - b} + \frac{A_3}{2\ (v - b)^2} + \frac{A_4}{3\ (v - b)^3} + \frac{A_5}{4\ (v - b)^4} + \left(\frac{C_2}{v - b} + \frac{C_3}{2\ (v - b)^2} + \frac{C_4}{3\ (v - b)^3} + \frac{C_5}{4\ (v - b)^4}\right)\left(1 + \frac{k\ T}{T_k}\right) e^{-\frac{k\ T}{T_k}}$$

Tabla XIIIA.19.- Constantes para la representación de la ecuación de estado, entalpía y entropía

a = 1,1	*b = 2,5*	*c = 1,5*		
A = -7,681772	*B = 0,0001735438*	*C = -3,102751*	*D = 1,958342*	
a_1*=0,00525745(kJ/kg°K)*	a_2 *= 0,0032965(kJ/kg°K)*	a_3 *= 0,0000020(kJ/kg°K)*	a_4 *= 0 (kJ/kg°K)*	a_5 *= 15,8217(kJ/kg°K)*
	A_2 *= - 0,00106625818*	A_3 *= 0,00000109761*	A_4 *= -0,00000000099*	A_5 *= 1,72454E-14*

	$B_2 = 0{,}00000086508$	$B_3 = -0{,}00000000013$		$B_5 = 9{,}13004E\text{-}16$
	$C_2 = -0{,}3884745358$	$C_3 = 0{,}00006767425$		$C_5 = -1E\text{-}11$
$D_1 = 1{,}7127$	$D_2 = 1{,}045143$	$D_3 = -0{,}2276586$	$D_4 = 0{,}1836428$	

Entropía específica.- La ecuación para el estado de vapor recalentado es:

$$s = s_0 + R\ ln\ \frac{(v - b)\,p_1}{R\,T} + a_1 ln\ T + a_2\ T + a_3\ \frac{T^2}{2} + a_4\ \frac{T^3}{3} + \frac{a_5}{T} +$$

$$+ \frac{B_2}{v-b} + \frac{B_3}{2\,(v-b)^2} + \frac{B_4}{3\,(v-b)^3} + \frac{B_5}{4\,(v-b)^4} + \left(\frac{C_2}{v-b} + \frac{C_3}{2\,(v-b)^2} + \frac{C_4}{3\,(v-b)^3} + \frac{C_5}{4\,(v-b)^4}\right) \frac{T\,e^{-\frac{k\,T}{T_k}}}{T_k}$$

Tabla XIIIA.20.- Constantes termodinámicas del R-134a

M	$kg/Kmol$	$102{,}032$	b	m^3/kg	$0{,}000299628$
ρ_k	kg/m^3	$515{,}3$	R	$kJ/kg°K$	$0{,}08148817$
p_k	bar	$40{,}56$	k		$5{,}475$
T_K	$°K$	$374{,}21$			

La ecuación de estado térmica y la ecuación del calor específico en estado de gas ideal de un refrigerante son las bases para el cálculo de la entalpía y entropía específicas.

Vapor húmedo.- Los datos termodinámicos del vapor húmedo se pueden determinar mediante la ecuación de Clausius-Clapeyron, de la forma:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{1}{T}\ \frac{i' - i''}{v' - v''} \quad \Rightarrow \quad i' = i'' - \frac{dp}{dT}\ T\,(v' - v'')$$

Las constantes de integración para el cálculo de la entalpía y entropía específicas se han determinado para el líquido en ebullición a 0ºC, $\begin{cases} i'_{T=0°C} = 200\ \frac{kJ}{kg} \\ s'_{T=0°C} = 1\ \frac{kJ}{kg°K} \end{cases} \xrightarrow{obteniéndose} \begin{cases} i_0 = 208{,}74\ \frac{kJ}{kg} \\ s_0 = 1{,}0932\ \frac{kJ}{kg°K} \end{cases}$

Exergía específica.- En la búsqueda de mejoras para las componentes de una instalación de frío o de bombas de calor, las posibilidades basadas exclusivamente en la definición del rendimiento térmico según el Primer Principio de la Termodinámica, son de poco valor puesto que no indican los puntos donde se producen las pérdidas termodinámicas. Sin embargo, el rendimiento exergético es bastante más significativo, puesto que su definición contempla ventajas y demandas relativas a la exergía, ya que por ejemplo, las pérdidas de exergía en una instalación frigorífica de compresión se pueden representar gráficamente en un diagrama *(T-s)*.

Con ayuda de un diagrama *(i-s)*, la exergía de cualquier estado se puede determinar gráficamente mediante la denominada *recta del ambiente*.

Si no se tienen en cuenta la energía cinética y potencial del medio, la exergía específica puede venir definida, respecto el medio ambiente, por la ecuación:

$$Exergía = i - i_{amb} - T_{amb}\ (s - s_{amb})$$

PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL R 134 a (VAPOR HÚMEDO)

Temp.	*Presión abs.*	*Volumen (m^3/kg)*		*Densidad (kg/m^3)*		*Entalpía (kJ/kg)*			*Entropía (kJ/kg°K)*	
°C	*kPascal*	*Líquido*	*Vapor*	*Líquido*	*Vapor*	*Líquido*	*Calor lat.*	*Vapor*	*Líquido*	*Vapor*
-100	*0,57*	*0,0006*	*25,0000*	*1580,5*	*0,039*	*77,3*	*259,9*	*337,2*	*0,4448*	*1,9460*
-99	*0,63*	*0,0006*	*22,7275*	*1577,3*	*0,044*	*78,4*	*259,4*	*337,3*	*0,4514*	*1,9407*
-98	*0,71*	*0,0006*	*20,4082*	*1575,0*	*0,049*	*79,5*	*258,8*	*338,4*	*0,4581*	*1,9356*
-97	*0,77*	*0,0006*	*19,5185*	*1572,3*	*0,054*	*80,7*	*258,2*	*339,0*	*0,4646*	*1,9306*
-96	*0,86*	*0,0006*	*18,9492*	*1569,9*	*0,059*	*81,9*	*257,7*	*339,6*	*0,4711*	*1,9297*
-95	*0,95*	*0,0006*	*15,3846*	*1565,8*	*0,065*	*83,0*	*257,1*	*340,1*	*0,4776*	*1,9209*
-94	*1,04*	*0,0006*	*13,8889*	*1564,1*	*0,072*	*84,2*	*256,6*	*340,7*	*0,4841*	*1,9161*
-93	*1,15*	*0,0006*	*12,6582*	*1561,3*	*0,079*	*85,3*	*256,0*	*341,3*	*0,4905*	*1,9115*
-92	*1,27*	*0,0006*	*11,6279*	*1558,6*	*0,085*	*86,4*	*255,4*	*341,9*	*0,4958*	*1,9070*
-91	*1,40*	*0,0006*	*10,6363*	*1555,8*	*0,094*	*87,6*	*254,9*	*342,5*	*0,5032*	*1,9025*
-90	*1,53*	*0,0006*	*9,7087*	*1553,1*	*0,103*	*88,8*	*254,3*	*343,1*	*0,5095*	*1,8982*
-89	*1,68*	*0,0006*	*8,9286*	*1550,4*	*0,112*	*89,9*	*253,8*	*343,7*	*0,5158*	*1,8939*
-88	*1,84*	*0,0006*	*8,1967*	*1547,5*	*0,122*	*91,1*	*253,2*	*344,3*	*0,5220*	*1,8698*
-87	*2,02*	*0,0006*	*7,5188*	*1544,9*	*0,133*	*92,3*	*252,7*	*344,9*	*0,5282*	*1,8857*
-86	*2,20*	*0,0006*	*6,8966*	*1542,1*	*0,145*	*93,4*	*252,1*	*345,5*	*0,5344*	*1,8817*
-85	*2,41*	*0,0006*	*6,3291*	*1539,4*	*0,158*	*94,6*	*251,6*	*346,2*	*0,5406*	*1,8778*
-84	*2,63*	*0,0007*	*5,8480*	*1536,7*	*0,171*	*95,7*	*251,0*	*345,8*	*0,5467*	*1,8739*
-83	*2,86*	*0,0007*	*5,4054*	*1533,9*	*0,169*	*96,9*	*250,5*	*347,4*	*0,5528*	*1,8702*
-82	*3,11*	*0,0007*	*4,9751*	*1531,2*	*0,201*	*98,0*	*249,9*	*348,0*	*0,5569*	*1,8665*
-81	*3,39*	*0,0007*	*4,6083*	*1528,5*	*0,217*	*99,2*	*249,4*	*348,5*	*0,5650*	*1,8629*
-80	*3,68*	*0,0007*	*4,2553*	*1525,7*	*0,235*	*100,4*	*248,8*	*349,2*	*0,5710*	*1,8594*
-79	*3,99*	*0,0007*	*3,9526*	*1523,0*	*0,253*	*101,5*	*248,3*	*349,8*	*0,5770*	*1,8559*
-78	*4,33*	*0,0007*	*3,5630*	*1520,2*	*0,273*	*102,7*	*247,7*	*350,4*	*0,5830*	*1,8525*
-77	*4,69*	*0,0007*	*3,3898*	*1517,5*	*0,295*	*103,9*	*247,2*	*351,1*	*0,5890*	*1,8492*
-76	*5,07*	*0,0007*	*3,1546*	*1514,8*	*0,317*	*105,0*	*246,6*	*351,7*	*0,5949*	*1,8460*
-75	*5,48*	*0,0007*	*2,9326*	*1512,0*	*0,341*	*106,2*	*246,1*	*352,3*	*0,6009*	*1,8428*
-74	*5,92*	*0,0007*	*2,7248*	*1509,3*	*0,367*	*107,4*	*245,5*	*352,9*	*0,6058*	*1,8397*
-73	*5,39*	*0,0007*	*2,5381*	*1506,5*	*0,394*	*108,5*	*245,0*	*353,5*	*0,6126*	*1,8366*
-72	*6,89*	*0,0007*	*2,3641*	*1503,8*	*0,423*	*109,7*	*244,4*	*354,2*	*0,6185*	*1,8336*
-71	*7,42*	*0,0007*	*2,2075*	*1501,0*	*0,453*	*110,9*	*243,9*	*354,8*	*0,6243*	*1,8307*
-70	*7,98*	*0,0007*	*2,0578*	*1498,3*	*0,486*	*112,1*	*243,3*	*355,4*	*0,6302*	*1,8279*
-69	*8,58*	*0,0007*	*1,9231*	*1495,5*	*0,520*	*113,3*	*242,8*	*356,0*	*0,6360*	*1,9251*
-68	*9,22*	*0,0007*	*1,7985*	*1492,8*	*0,556*	*114,5*	*242,2*	*356,6*	*0,6417*	*1,8223*
-67	*9,89*	*0,0007*	*1,6835*	*1490,0*	*0,594*	*115,6*	*241,6*	*357,3*	*0,6475*	*1,8195*
-66	*10,61*	*0,0007*	*1,5773*	*1487,3*	*0,634*	*116,8*	*241,1*	*357,9*	*0,6532*	*1,8170*
-65	*11,37*	*0,0007*	*1,4771*	*1484,5*	*0,677*	*118,0*	*240,5*	*358,5*	*0,6590*	*1,8144*
-64	*12,18*	*0,0007*	*1,3853*	*1481,8*	*0,722*	*119,2*	*239,9*	*359,2*	*0,6647*	*1,8119*
-63	*13,03*	*0,0007*	*1,3004*	*1479,0*	*0,769*	*120,4*	*239,4*	*359,8*	*0,6704*	*1,8095*
-62	*13,93*	*0,0007*	*1,2210*	*1476,3*	*0,819*	*121,6*	*238,8*	*360,4*	*0,6760*	*1,8071*
-61	*14,88*	*0,0007*	*1,1481*	*1473,5*	*0,871*	*122,8*	*238,2*	*361,0*	*0,6817*	*1,8047*
-60	*15,89*	*0,0007*	*1,0799*	*1470,7*	*0,975*	*124,0*	*237,7*	*361,7*	*0,6873*	*1,8024*
-59	*16,95*	*0,0007*	*1,0163*	*1468,0*	*0,984*	*125,2*	*237,1*	*362,3*	*0,6929*	*1,8001*
-58	*18,07*	*0,0007*	*0,9579*	*1465,2*	*1,044*	*126,4*	*236,5*	*362,9*	*0,6985*	*1,7979*
-57	*19,25*	*0,0007*	*0,9025*	*1462,4*	*1,108*	*127,6*	*236,0*	*363,6*	*0,7041*	*1,7958*
-56	*20,49*	*0,0007*	*0,8511*	*1459,5*	*1,175*	*128,8*	*235,4*	*364,2*	*0,7097*	*1,7937*
-55	*21,80*	*0,0007*	*0,8037*	*1458,9*	*1,245*	*130,0*	*234,8*	*364,8*	*0,7152*	*1,7916*
-54	*23,17*	*0,0007*	*0,7587*	*1454,1*	*1,318*	*131,2*	*234,2*	*365,4*	*0,7208*	*1,7896*
-53	*24,62*	*0,0007*	*0,7165*	*1451,3*	*1,395*	*132,4*	*233,5*	*366,1*	*0,7263*	*1,7876*
-52	*26,14*	*0,0007*	*0,5775*	*1448,5*	*1,476*	*133,7*	*233,1*	*366,7*	*0,7318*	*1,7857*
-51	*27,73*	*0,0007*	*0,5410*	*1445,7*	*1,560*	*134,9*	*232,5*	*367,3*	*0,7373*	*1,7838*
-50	*29,41*	*0,0007*	*0,5058*	*1442,9*	*1,648*	*136,1*	*231,9*	*368,0*	*0,7428*	*1,7819*
-49	*31,16*	*0,0007*	*0,5747*	*1440,1*	*1,740*	*137,3*	*231,3*	*368,5*	*0,7482*	*1,7801*
-48	*33,00*	*0,0007*	*0,5447*	*1437,3*	*1,836*	*138,5*	*230,7*	*369,2*	*0,7537*	*1,7783*
-47	*34,93*	*0,0007*	*0,5165*	*1434,5*	*1,936*	*139,8*	*230,1*	*369,9*	*0,7591*	*1,7766*
-46	*36,55*	*0,0007*	*0,4902*	*1431,8*	*2,040*	*141,0*	*229,5*	*370,5*	*0,7645*	*1,7749*
-45	*39,06*	*0,0007*	*0,4653*	*1428,8*	*2,149*	*142,2*	*228,9*	*371,1*	*0,7699*	*1,7732*
-44	*41,27*	*0,0007*	*0,4419*	*1426,0*	*2,263*	*143,5*	*228,3*	*371,8*	*0,7753*	*1,7715*
-43	*43,58*	*0,0007*	*0,4198*	*1423,2*	*2,382*	*144,7*	*227,7*	*372,4*	*0,7805*	*1,7700*

-42	45,99	0,0007	0,3992	1420,3	2,505	145,9	227,1	373,0	0,7860	1,7685
-41	48,51	0,0007	0,3798	1417,5	2,623	147,2	226,5	373,7	0,7913	1,7670
-40	51,14	0,0007	0,3614	1414,5	2,767	148,4	225,9	374,3	0,7967	1,7655
-39	53,66	0,0007	0,3441	1411,6	2,908	149,6	225,3	374,9	0,8020	1,7641
-38	56,74	0,0007	0,3279	1408,5	3,050	150,9	224,7	375,5	0,8073	1,7627
-37	59,72	0,0007	0,3125	1406,0	3,200	152,1	224,0	376,0	0,8126	1,7613
-36	62,33	0,0007	0,2980	1403,1	3,355	153,4	223,4	376,5	0,8178	1,7599
-35	66,07	0,0007	0,2843	1400,2	3,519	154,6	222,8	377,4	0,8231	1,7586
-34	69,43	0,0007	0,2713	1397,4	3,685	155,9	222,2	378,1	0,8293	1,7573
-33	72,93	0,0007	0,2590	1394,3	3,851	157,1	221,5	378,7	0,8336	1,7561
-32	76,56	0,0007	0,2474	1391,5	4,042	158,4	220,9	379,3	0,8388	1,7548
-31	80,36	0,0007	0,2366	1388,6	4,229	159,7	220,3	379,9	0,8440	1,7535
-30	84,29	0,0007	0,2260	1385,7	4,424	160,9	219,6	380,5	0,8492	1,7525
-29	88,37	0,0007	0,2162	1382,3	4,625	162,2	219,0	381,1	0,8544	1,7513
-28	92,51	0,0007	0,2069	1379,8	4,833	163,5	218,3	381,8	0,8595	1,7502
-27	97,03	0,0007	0,1981	1376,9	5,049	164,7	217,7	382,4	0,8647	1,7491
-26	101,58	0,0007	0,1856	1373,9	5,273	166,0	217,1	383,1	0,8698	1,7481
-25	106,32	0,0007	0,1817	1371,0	5,504	167,3	216,4	383,7	0,8750	1,7470
-24	111,22	0,0007	0,1741	1368,0	5,743	168,6	215,7	384,3	0,8801	1,7460
-23	116,31	0,0007	0,1669	1365,0	5,991	169,8	215,1	384,9	0,8852	1,7450
-22	121,57	0,0007	0,1601	1362,0	6,247	171,1	214,4	385,5	0,8903	1,7440
-21	127,02	0,0007	0,1536	1359,0	6,511	172,4	213,7	386,2	0,8954	1,7431
-20	132,57	0,0007	0,1474	1356,0	6,784	173,7	213,1	386,8	0,9005	1,7422
-19	138,50	0,0007	0,1415	1353,0	7,055	175,0	212,4	387,4	0,9055	1,7413
-18	144,54	0,0007	0,1359	1349,9	7,357	176,3	211,7	388,0	0,9105	1,7404
-17	150,78	0,0007	0,1301	1346,9	7,638	177,6	211,0	388,5	0,9157	1,7395
-16	157,23	0,0007	0,1255	1343,8	7,958	178,9	210,4	389,2	0,9207	1,7387
-15	163,90	0,0007	0,1207	1340,8	8,288	180,2	209,7	389,8	0,9257	1,7379
-14	170,78	0,0007	0,1180	1337,7	8,618	181,5	209,0	390,4	0,9307	1,7371
-13	177,89	0,0007	0,1116	1334,6	8,958	182,8	208,3	391,1	0,9357	1,7363
-12	185,22	0,0008	0,1074	1331,5	9,309	184,1	207,6	391,7	0,9407	1,7355
-11	192,79	0,0008	0,1034	1328,4	9,671	185,4	206,9	392,3	0,9457	1,7348
-10	200,60	0,0008	0,0996	1325,3	10,011	186,7	206,2	392,9	0,9507	1,7341
-9	208,65	0,0008	0,0959	1322,1	10,428	188,0	205,4	393,5	0,9557	1,7334
-8	216,95	0,0008	0,0924	1319,0	10,823	189,3	204,7	394,1	0,9608	1,7327
-7	225,50	0,0008	0,0890	1315,8	11,231	190,7	204,0	394,7	0,9656	1,7321
-6	234,32	0,0008	0,0858	1312,8	11,630	192,0	203,3	395,3	0,9705	1,7314
-5	243,39	0,0008	0,0828	1309,4	12,082	193,3	202,5	395,9	0,9755	1,7308
-4	252,74	0,0008	0,0798	1306,2	12,525	194,6	201,8	396,4	0,9804	1,7302
-3	262,36	0,0008	0,0770	1303,0	12,983	196,0	201,1	397,0	0,9853	1,7295
-2	272,25	0,0008	0,0743	1299,8	13,454	197,3	200,3	397,8	0,9902	1,7290
-1	282,45	0,0008	0,0718	1296,3	13,937	198,6	199,5	398,2	0,9951	1,7284
0	292,93	0,0008	0,0693	1293,3	14,435	200,0	198,8	398,8	1,0000	1,7278
1	303,70	0,0008	0,0669	1290,0	14,946	201,3	198,0	399,4	1,0049	1,7273
2	314,77	0,0008	0,0648	1286,7	15,472	202,7	197,3	400,0	1,0098	1,7267
3	326,16	0,0008	0,0624	1283,4	16,013	204,0	196,5	400,5	1,0145	1,7262
4	337,85	0,0008	0,0604	1280,1	16,569	205,4	195,7	401,1	1,0195	1,7257
5	349,87	0,0008	0,0583	1276,7	17,140	206,8	194,9	401,7	1,0244	1,7252
6	362,21	0,0008	0,0564	1273,4	17,728	208,1	194,2	402,3	1,0292	1,7247
7	374,88	0,0008	0,0546	1270,0	18,329	209,5	193,4	402,8	1,0340	1,7242
8	387,88	0,0008	0,0528	1266,6	18,948	210,8	192,5	403,4	1,0381	1,7238
9	401,23	0,0008	0,0511	1263,2	19,583	212,2	191,8	404,0	1,0437	1,7233
10	414,92	0,0008	0,0494	1259,8	20,206	213,5	190,9	404,5	1,0485	1,7229
11	428,97	0,0008	0,0478	1256,3	20,905	215,0	190,1	405,1	1,0533	1,7224
12	443,37	0,0008	0,0483	1252,9	21,594	216,4	189,3	405,5	1,0582	1,7220
13	458,11	0,0008	0,0448	1249,4	22,301	217,7	188,5	406,2	1,0630	1,7216
14	473,25	0,0008	0,0434	1245,9	23,028	219,1	187,6	406,9	1,0678	1,7212
15	488,78	0,0008	0,0421	1242,3	23,770	220,5	186,8	407,3	1,0725	1,7208
16	504,63	0,0008	0,0408	1238,8	24,533	221,9	185,9	407,8	1,0773	1,7204
17	520,98	0,0008	0,0395	1235,2	25,317	223,3	185,1	408,4	1,0821	1,7200
18	537,67	0,0008	0,0383	1231,1	26,121	224,7	184,2	408,9	1,0869	1,7196
19	554,76	0,0008	0,0371	1228,0	26,945	225,1	183,3	409,5	1,0917	1,7192

20	*572,25*	*0,0008*	*0,0358*	*1224,4*	*27,787*	*227,5*	*182,5*	*410,0*	*1,0964*	*1,7189*
21	*590,13*	*0,0008*	*0,0348*	*1220,7*	*28,885*	*228,9*	*181,5*	*410,5*	*1,1012*	*1,7185*
22	*608,48*	*0,0008*	*0,0338*	*1217,0*	*29,543*	*230,4*	*180,7*	*411,0*	*1,1060*	*1,7182*
23	*627,25*	*0,0008*	*0,0328*	*1213,3*	*30,462*	*231,8*	*179,8*	*411,5*	*1,1107*	*1,7177*
24	*646,24*	*0,0008*	*0,0318*	*1209,5*	*31,399*	*233,2*	*178,9*	*412,0*	*1,1155*	*1,7175*
25	*666,06*	*0,0008*	*0,0309*	*1205,9*	*32,359*	*234,6*	*178,0*	*412,5*	*1,1202*	*1,7171*
26	*686,13*	*0,0008*	*0,0300*	*1202,1*	*33,344*	*236,1*	*177,0*	*413,1*	*1,1250*	*1,7168*
27	*706,66*	*0,0008*	*0,0291*	*1198,3*	*34,374*	*237,5*	*176,1*	*413,6*	*1,1297*	*1,7165*
28	*727,54*	*0,0008*	*0,0283*	*1194,4*	*35,352*	*238,9*	*175,2*	*414,1*	*1,1345*	*1,7161*
29	*749,04*	*0,0008*	*0,0274*	*1190,8*	*36,451*	*240,4*	*174,7*	*414,6*	*1,1392*	*1,7158*
30	*771,02*	*0,0008*	*0,0266*	*1185,7*	*37,540*	*241,8*	*173,3*	*415,1*	*1,1409*	*1,7155*
31	*793,43*	*0,0008*	*0,0259*	*1182,8*	*38,657*	*243,3*	*172,3*	*415,5*	*1,1487*	*1,7151*
32	*816,29*	*0,0008*	*0,0251*	*1178,8*	*39,602*	*244,8*	*171,3*	*416,1*	*1,1534*	*1,7148*
33	*839,56*	*0,0009*	*0,0244*	*1174,9*	*40,975*	*246,2*	*170,3*	*416,6*	*1,1581*	*1,7145*
34	*863,53*	*0,0009*	*0,0237*	*1170,8*	*42,179*	*247,7*	*169,3*	*417,0*	*1,1628*	*1,7142*
35	*887,91*	*0,0009*	*0,0230*	*1165,8*	*43,413*	*249,2*	*168,3*	*417,5*	*1,1675*	*1,7138*
36	*912,90*	*0,0009*	*0,0224*	*1162,7*	*44,579*	*250,6*	*167,3*	*418,0*	*1,1723*	*1,7135*
37	*938,20*	*0,0009*	*0,0218*	*1158,5*	*45,977*	*252,1*	*166,3*	*418,4*	*1,1770*	*1,7132*
38	*954,14*	*0,0009*	*0,0211*	*1154,5*	*47,308*	*253,6*	*165,3*	*418,9*	*1,1817*	*1,7129*
39	*990,50*	*0,0009*	*0,0205*	*1150,3*	*48,672*	*255,1*	*164,2*	*419,3*	*1,1864*	*1,7125*
40	*1017,51*	*0,0009*	*0,0200*	*1145,1*	*50,072*	*256,6*	*163,2*	*419,8*	*1,1912*	*1,7122*
41	*1045,16*	*0,0009*	*0,0194*	*1141,9*	*51,508*	*258,1*	*162,1*	*420,2*	*1,1959*	*1,7119*
42	*1073,75*	*0,0009*	*0,0189*	*1137,5*	*52,980*	*259,6*	*161,0*	*420,6*	*1,2008*	*1,7115*
43	*1101,93*	*0,0009*	*0,0184*	*1133,3*	*54,490*	*261,1*	*159,9*	*421,1*	*1,2053*	*1,7112*
44	*1131,15*	*0,0009*	*0,0178*	*1128,9*	*56,040*	*262,7*	*158,8*	*421,5*	*1,2101*	*1,7108*
45	*1161,01*	*0,0009*	*0,0174*	*1124,5*	*57,630*	*264,2*	*157,7*	*421,9*	*1,2148*	*1,7105*
46	*1191,41*	*0,0009*	*0,0169*	*1120,0*	*59,251*	*265,7*	*156,6*	*422,3*	*1,2195*	*1,7101*
47	*1222,41*	*0,0009*	*0,0164*	*1115,8*	*60,934*	*267,3*	*155,4*	*422,7*	*1,2242*	*1,7097*
48	*1253,95*	*0,0009*	*0,0160*	*1111,0*	*62,652*	*268,8*	*154,3*	*423,1*	*1,2290*	*1,7093*
49	*1286,17*	*0,0009*	*0,0155*	*1106,4*	*64,415*	*270,4*	*153,1*	*423,5*	*1,2337*	*1,7090*
50	*1319,00*	*0,0009*	*0,0151*	*1101,8*	*66,225*	*271,9*	*151,9*	*423,8*	*1,2384*	*1,7085*
51	*1352,44*	*0,0009*	*0,0147*	*1097,1*	*68,084*	*273,5*	*150,7*	*424,2*	*1,2432*	*1,7082*
52	*1386,52*	*0,0009*	*0,0143*	*1092,4*	*69,992*	*275,1*	*149,5*	*424,6*	*1,2479*	*1,7077*
53	*1421,23*	*0,0009*	*0,0139*	*1087,5*	*71,952*	*276,6*	*148,3*	*424,9*	*1,2527*	*1,7073*
54	*1456,58*	*0,0009*	*0,0135*	*1082,8*	*73,966*	*278,2*	*147,0*	*425,3*	*1,2574*	*1,7069*
55	*1497,59*	*0,0009*	*0,0132*	*1077,9*	*76,035*	*279,8*	*145,8*	*425,6*	*1,2622*	*1,7064*
56	*1529,78*	*0,0009*	*0,0128*	*1072,9*	*78,162*	*281,4*	*144,5*	*425,9*	*1,2670*	*1,7059*
57	*1566,51*	*0,0009*	*0,0124*	*1067,9*	*80,348*	*283,0*	*143,2*	*426,2*	*1,2717*	*1,7055*
58	*1604,63*	*0,0009*	*0,0121*	*1062,8*	*82,598*	*284,6*	*141,9*	*426,5*	*1,2755*	*1,7050*
59	*1643,35*	*0,0009*	*0,0118*	*1057,7*	*84,908*	*286,3*	*140,5*	*426,8*	*1,2813*	*1,7044*
60	*1682,78*	*0,001*	*0,0115*	*1052,5*	*87,287*	*287,9*	*139,2*	*427,1*	*1,2881*	*1,7039*
61	*1722,88*	*0,001*	*0,0111*	*1047,2*	*89,735*	*289,5*	*137,8*	*427,4*	*1,2909*	*1,7033*
62	*1763,72*	*0,001*	*0,0108*	*1041,8*	*92,255*	*291,2*	*136,4*	*427,6*	*1,2957*	*1,7028*
63	*1805,28*	*0,001*	*0,0105*	*1036,4*	*94,851*	*292,9*	*135,0*	*427,9*	*1,3008*	*1,7021*
64	*1847,47*	*0,001*	*0,0103*	*1030,9*	*97,526*	*294,5*	*133,6*	*428,1*	*1,3054*	*1,7015*
65	*1890,54*	*0,001*	*0,0100*	*1025,3*	*100,283*	*296,2*	*132,1*	*428,3*	*1,3102*	*1,7009*
66	*1934,38*	*0,001*	*0,0097*	*1019,5*	*103,125*	*297,9*	*130,6*	*428,5*	*1,3151*	*1,7002*
67	*1978,94*	*0,001*	*0,0094*	*1013,8*	*106,058*	*299,6*	*129,1*	*428,7*	*1,3200*	*1,6995*
68	*2024,28*	*0,001*	*0,0092*	*1008,0*	*109,085*	*301,3*	*127,5*	*428,8*	*1,3249*	*1,6987*
69	*2070,47*	*0,001*	*0,0089*	*1002,0*	*112,212*	*303,0*	*126,0*	*429,0*	*1,3298*	*1,6979*
70	*2117,34*	*0,001*	*0,0087*	*995,9*	*115,442*	*304,8*	*124,4*	*429,1*	*1,3347*	*1,6971*
71	*2185,08*	*0,001*	*0,0084*	*989,7*	*118,783*	*306,5*	*122,7*	*429,2*	*1,3387*	*1,6963*
72	*2713,53*	*0,001*	*0,0082*	*983,4*	*122,239*	*308,3*	*121,1*	*429,3*	*1,3448*	*1,6954*
73	*2763,01*	*0,001*	*0,0079*	*977,0*	*125,918*	*310,1*	*119,4*	*429,4*	*1,3496*	*1,6945*
74	*2313,23*	*0,001*	*0,0077*	*970,4*	*129,527*	*311,8*	*117,6*	*429,5*	*1,3547*	*1,6935*
75	*2364,31*	*0,001*	*0,0075*	*963,7*	*133,373*	*313,7*	*115,8*	*429,5*	*1,3597*	*1,6924*
76	*2416,25*	*0,001*	*0,0073*	*956,9*	*137,366*	*315,5*	*114,0*	*429,5*	*1,3648*	*1,6913*
77	*2469,08*	*0,0011*	*0,0071*	*949,9*	*141,514*	*317,3*	*112,2*	*429,5*	*1,3699*	*1,6902*
78	*2522,79*	*0,0011*	*0,0069*	*942,7*	*145,830*	*319,2*	*110,3*	*429,4*	*1,3750*	*1,6890*
79	*2577,47*	*0,0011*	*0,0067*	*935,4*	*150,324*	*321,0*	*108,3*	*429,3*	*1,3801*	*1,5877*
80	*2602,97*	*0,0011*	*0,0065*	*927,8*	*155,010*	*322,8*	*106,3*	*429,2*	*1,3854*	*1,6868*
81	*2689,46*	*0,0011*	*0,0063*	*920,1*	*159,904*	*324,7*	*104,2*	*429,1*	*1,3903*	*1,6843*

82	2746,90	0,0011	0,0061	912,1	165,022	326,5	102,1	428,9	1,3959	1,6834
83	2805,31	0,0011	0,0059	909,9	170,083	328,3	99,9	428,7	1,4012	1,6813
84	2364,70	0,0011	0,0057	895,6	176,010	330,7	97,7	428,4	1,4065	1,6798
85	2925,11	0,0011	0,0055	886,7	181,929	332,9	95,3	428,1	1,4125	1,6782
86	2986,54	0,0011	0,0053	877,6	188,169	334,8	92,9	427,7	1,4175	1,6762
87	3049,01	0,0012	0,0051	868,2	194,755	336,9	90,4	427,3	1,4232	1,6741
88	3112,55	0,0012	0,0050	858,4	201,761	339,0	87,7	426,8	1,4289	1,6719
89	3177,10	0,0012	0,0048	848,1	209,205	341,2	85,0	426,2	1,4347	1,6694
90	3242,87	0,0012	0,0046	837,3	217,162	343,4	82,1	425,5	1,4405	1,6668
91	3309,78	0,0012	0,0044	825,0	225,705	345,7	79,1	424,8	1,4465	1,6639
92	3377,85	0,0012	0,0043	814,0	234,936	348,0	75,9	423,9	1,4528	1,6607
93	3447,13	0,0012	0,0041	801,1	244,978	350,4	72,5	422,9	1,4592	1,6572
94	3517,65	0,0013	0,0039	787,4	256,005	353,0	68,9	421,8	1,4658	1,6533
95	3589,44	0,0013	0,0037	772,3	268,255	355,5	64,9	420,5	1,4727	1,6489
96	3662,57	0,0013	0,0035	755,8	282,079	358,4	60,5	418,9	1,4799	1,6439
97	3737,09	0,0014	0,0034	737,1	298,029	361,3	55,7	417,0	1,4877	1,6381
98	3813,08	0,0014	0,0032	715,4	317,065	364,6	50,0	414,5	1,4962	1,6311
99	3890,54	0,0015	0,0029	688,5	341,133	368,4	43,2	411,5	1,5081	1,6221
100	3969,94	0,0015	0,0027	651,4	375,503	373,2	33,8	407,0	1,5187	1,6092
101	4051,05	0,0018	0,0022	566,4	457,594	383,0	13,0	396,0	1,5447	1,5794

Temperat. saturación ºC	Presión saturación bar	R-134a.- SOBRECALENTAMIENTO (ºC), VOLUMEN ESPECIFICO (dm^3/kg)													
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
-100	0,01	21945	22582	23219	23855	24491	25127	25783	27034	28305	29575	30846	32116	33386	34655
-90	0,02	8886	9132	9376	9621	9866	10110	10354	10843	11331	11818	12306	12793	13281	13768
-80	0,04	4005	4111	4216	4321	4427	4532	4637	4847	5057	5266	5475	5684	5893	6102
-70	0,08	1975	2025	2075	2125	2175	2225	2274	2374	2473	2572	2671	2769	2868	2966
-65	0,12	1428	1463	1499	1535	1570	1605	1641	1711	1782	1852	1922	1992	2062	2132
-60	0,16	1050	1076	1102	1128	1153	1179	1205	1256	1307	1357	1408	1458	1909	1589
-55	0,22	785	804	824	843	862	883	899	937	975	1012	1049	1086	1123	1160
-50	0,30	596	610	625	639	653	668	582	710	738	766	794	822	949	877
-45	0,40	458	469	480	491	502	513	524	545	567	588	609	630	651	672
-40	0,52	357	366	374	383	391	359	408	424	441	457	474	490	506	522
-35	0,66	281	288	295	302	308	315	321	334	347	360	373	385	398	411
-30	0,85	224	230	235	240	246	251	255	286	277	287	297	307	317	327
-27	0,97	196	201	206	211	220	225	234	243	251	251	260	269	278	296
-26	1,02	188	193	197	202	211	215	224	232	241	241	249	257	286	274
-25	1,07	180	185	189	193	198	202	206	214	223	231	239	247	255	263
-20	1,33	146	150	184	157	161	154	167	174	181	187	194	200	207	213
-15	1,64	120	123	126	129	132	134	137	143	148	154	159	164	170	175
-10	2,01	99	102	104	106	109	111	114	118	123	127	132	136	140	145
-5	2,43	82,3	84,4	86,5	88,6	90,6	92,6	94,6	98,4	102	106	110	113	117	120
0	2,93	58,9	70,7	72,5	74,3	76,0	77,7	79,3	82,6	85,8	88,9	92,0	95,1	98,1	101
5	3,50	58,0	59,6	61,1	62,6	64,1	65,6	66,6	69,9	72,5	75,2	77,8	80,4	82,9	85,5
10	4,14	49,1	50,5	51,9	53,2	54,4	55,7	56,9	59,3	61,7	63,9	66,2	68,4	70,6	72,8
15	4,88	41,8	43,0	44,2	45,4	46,5	47,6	48,6	50,7	52,7	54,7	56,6	58,6	60,4	62,3
20	5,72	35,8	36,9	37,9	38,9	39,9	40,8	41,8	43,6	45,4	47,1	48,8	50,4	52,0	53,7
25	6,65	30,7	31,7	32,6	33,5	34,4	35,2	36,0	37,6	39,2	40,7	42,2	43,6	45,0	46,4
30	7,70	26,5	27,4	28,2	29,0	29,8	30,5	31,3	32,7	34,1	35,4	36,7	37,9	39,2	40,4
35	8,67	22,9	23,7	24,4	25,1	25,8	26,8	27,2	28,5	29,7	30,9	32,0	33,1	34,2	35,3
40	10,16	20,6	20,6	21,3	21,9	22,6	23,2	23,9	24,9	28,0	27,1	28,1	29,1	30,0	31,0
45	31,60	17,3	17,9	18,6	19,2	19,8	20,3	20,8	21,8	22,8	23,8	24,7	26,5	27,3	27,3
50	13,18	15,0	15,7	16,2	16,8	17,3	17,6	18,3	19,3	20,2	21,0	21,8	22,6	23,4	24,2
55	14,91	13,1	13,7	14,2	14,7	15,2	15,7	16,2	17,0	17,8	18,6	19,3	20,1	20,7	21,5
60	16,81	11,4	12,0	12,5	13,0	13,5	13,8	14,3	15,1	15,8	16,5	17,2	17,9	18,5	19,1
65	18,90	9,9	10,5	11,0	11,4	11,8	12,3	12,7	13,4	14,1	14,7	15,3	15,9	16,5	17,1
70	21,16	9,21	9,21	9,68	10,1	10,5	10,9	11,3	11,9	12,6	13,1	13,7	14,3	14,6	15,3
75	23,63	8,68	8,06	8,52	8,94	9,32	9,67	10,0	10,6	11,2	11,7	12,3	12,8	13,3	13,7
80	26,32	7,54	7,05	7,50	7,90	8,26	8,60	8,92	9,6	10,1	10,6	11,0	11,5	12,4	12,4
85	29,25	5,62	6,16	6,60	6,98	7,34	7,66	7,95	8,51	9,01	9,48	9,92	10,3	11,1	11,1
90	32,43	4,80	5,36	5,80	6,18	6,51	6,82	7,1	7,62	8,09	8,53	8,94	9,34	9,71	10,1

Temperat. saturación ºC	Presión saturación bar	R-134a.- SOBRECALENTAMIENTO (ºC), ENTROPIA (kJ/kgºK)													
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
-100	0,01	1,929	1,946	1,983	1,980	1,996	2,013	2,029	2,061	2,093	2,124	2,155	2,185	2,215	2,245
-90	0,02	1,884	1,901	1,918	1,934	1,951	1,967	1,983	2,015	2,046	2,077	2,107	2,137	2,166	2,196
-80	0,04	1,848	1,865	1,881	1,897	1,913	1,929	1,945	1,976	2,007	2,038	2,068	2,097	2,126	2,155
-70	0,08	1,818	1,835	1,851	1,887	1,883	1,899	1,914	1,945	1,976	2,006	2,035	2,065	2,094	2,122
-65	0,12	1,906	1,822	1,838	1,854	1,870	1,886	1,901	1,932	1,962	1,992	2,022	2,051	2,080	2,108
-60	0,16	1,794	1,810	1,827	1,842	1,858	1,834	1,889	1,920	1,950	1,980	2,009	2,038	2,067	2,095
-55	0,22	1,784	1,800	1,816	1,832	1,848	1,863	1,879	1,909	1,939	1,969	1,998	2,027	2,056	2,084
-50	0,30	1,775	1,791	1,807	1,823	1,838	1,854	1,869	1,900	1,930	1,959	1,988	2,017	2,045	2,074
-45	0,40	1,766	1,783	1,798	1,814	1,830	1,845	1,861	1,891	1,929	1,950	1,979	2,008	2,036	2,064
-40	0,52	1,759	1,775	1,791	1,807	1,822	1,838	1,853	1,883	1,913	1,942	1,971	2,000	2,028	2,056
-35	0,66	1,752	1,768	1,784	1,800	1,816	1,831	1,848	1,877	1,906	1,936	1,964	1,993	2,021	2,049
-30	0,85	1,746	1,762	1,778	1,794	1,810	1,826	1,840	1,871	1,900	2,049	1,958	1,987	2,015	2,042
-27	0,97	1,743	1,759	1,775	1,799	1,807	1,822	1,837	1,667	1,897	1,929	1,955	1,983	2,011	2,039
-26	1,02	1,742	1,758	1,774	1,790	1,806	1,821	1,836	1,866	1,896	1,926	1,954	1,982	2,010	2,038
-25	1,07	1,741	1,757	1,773	1,789	1,805	1,820	1,835	1,865	1,895	1,925	1,953	1,981	2,009	2,037
-20	1,33	1,736	1,753	1,769	1,784	1,800	1,815	1,831	1,861	1,890	1,924	1,948	1,976	2,004	2,032
-15	1,64	1,732	1,748	1,764	1,780	1,799	1,811	1,927	1,857	1,886	1,920	1,944	1,972	2,000	2,028
-10	2,01	1,728	1,745	1,761	1,777	1,792	1,808	1,922	1,853	1,883	1,916	1,941	1,969	1,997	2,024
-5	2,43	1,725	1,741	1,758	1,774	1,789	1,805	1,820	1,851	1,880	1,912	1,938	1,966	1,994	2,021
0	2,93	1,722	1,739	1,755	1,771	1,787	1,803	1,818	1,848	1,878	1,909	1,935	1,963	1,991	2,018
5	3,50	1,719	1,736	1,753	1,769	1,785	1,800	1,816	1,846	1,876	1,907	1,933	1,962	1,989	2,016
10	4,14	1,717	1,734	1,751	1,767	1,783	1,799	1,814	1,845	1,874	1,905	1,932	1,960	1,988	2,015
15	4,88	1,715	1,732	1,749	1,765	1,782	1,797	1,813	1,843	1,873	1,903	1,931	1,959	1,986	2,014
20	5,72	1,715	1,739	1,748	1,764	1,780	1,796	1,812	1,843	1,872	1,902	1,930	1,958	1,986	2,013
25	6,65	1,712	1,729	1,746	1,763	1,779	1,795	1,811	1,842	1,872	1,092	1,930	1,958	1,985	2,012
30	7,70	1,790	1,728	1,745	1,762	1,739	1,795	1,811	1,842	1,872	1,902	1,930	1,958	1,985	2,012
35	8,67	1,709	1,727	1,744	1,761	1,778	1,794	1,810	1,842	1,872	1,901	1,930	1,958	1,985	2,012
40	10,16	1,707	1,726	1,744	1,761	1,778	1,794	1,810	1,842	1,872	1,901	1,930	1,958	1,986	2,013
45	31,60	1,706	1,725	1,743	1,780	1,778	1,794	1,810	1,842	1,872	1,901	1,931	1,959	1,986	2,013
50	13,18	1,705	1,724	1,742	1,760	1,777	1,794	1,811	1,842	1,873	1,901	1,931	1,959	1,987	2,014
55	14,91	1,703	1,723	1,742	1,760	1,777	1,794	1,811	1,843	1,874	1,902	1,932	1,960	1,988	2,015
60	16,81	1,701	1,721	1,741	1,759	1,777	1,794	1,811	1,844	1,874	1,903	1,933	1,961	1,989	2,016
65	18,90	1,698	1,720	1,740	1,759	1,777	1,795	1,812	1,844	1,875	1,903	1,934	1,963	1,990	2,017
70	21,16	1,595	1,718	1,739	1,758	1,777	1,795	1,812	1,845	1,876	1,904	1,935	1,963	1,991	2,018
75	23,63	1,692	1,716	1,737	1,757	1,777	1,795	1,812	1,846	1,877	1,905	1,937	1,965	1,993	1,999
80	26,32	1,687	1,713	1,736	1,757	1,776	1,795	1,812	1,846	1,878	1,908	1,938	1,966	1,994	2,021
85	29,25	1,681	1,710	1,734	1,755	1,775	1,794	1,813	1,847	1,879	1,908	1,940	1,968	1,996	2,023
90	32,43	1,874	1,705	1,731	1,754	1,775	1,794	1,813	1,847	1,880	1,908	1,940	1,969	1,997	2,024

Temperat. saturación ºC	Presión saturación bar	R-134a.- SOBRECALENTAMIENTO (ºC), ENTALPIA (kJ/kg)													
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
-100	0,01	335,6	338,6	341,7	344,8	347,9	351,2	354,5	361,2	368,1	375,2	382,5	390,0	397,8	405,7
-90	0,02	341,6	347,9	344,7	351,1	354,4	357,7	361,1	368,0	375,0	382,5	390,0	397,7	405,7	413,8
-80	0,04	347,7	350,9	354,2	357,6	360,9	364,4	367,9	375,0	382,3	389,9	397,6	405,8	413,7	422,1
-70	0,08	353,9	357,3	360,7	364,2	367,7	371,2	374,8	382,2	389,8	397,5	405,5	413,6	422,0	430,5
-65	0,12	357,1	360,5	364,0	367,5	371,1	374,7	378,6	385,8	393,5	401,4	409,4	417,7	426,2	434,8
-60	0,16	360,2	363,7	367,3	370,9	374,5	378,2	381,9	389,5	397,3	405,3	413,4	421,8	430,4	439,1
-55	0,22	383,4	367,0	370,6	374,2	377,9	381,7	385,4	393,2	401,1	409,2	417,5	425,9	434,6	443,4
-50	0,30	366,6	370,2	373,9	377,8	381,4	385,2	389,0	396,9	404,9	413,1	421,5	430,1	438,9	447,8
-45	0,40	369,7	373,4	377,2	381,0	384,8	388,7	392,6	400,6	408,7	417,1	425,6	434,3	443,2	452,2
-40	0,52	372,9	376,7	380,5	384,4	388,3	392,2	396,2	404,3	412,8	421,1	429,7	438,5	447,5	456,6
-35	0,66	376,0	379,9	383,8	387,7	391,7	395,7	399,8	408,1	416,5	425,0	433,8	442,7	451,8	461,1
-30	0,85	379,1	383,1	387,1	391,1	395,2	399,3	403,4	411,8	420,3	429,0	477,9	446,9	456,1	465,5
-27	0,97	381,0	385,0	389,1	393,1	397,2	401,4	405,5	414,0	422,7	431,5	440,4	449,5	458,8	468,2
-26	1,02	381,6	385,6	389,7	393,8	397,9	402,1	406,3	414,8	423,4	432,3	441,2	450,3	459,6	469,1
-25	1,07	382,2	386,3	390,4	394,5	398,6	402,8	407,0	415,5	424,2	433,1	442,0	451,2	460,5	470,0
-20	1,33	385,3	399,4	393,6	397,8	402,1	406,3	410,6	419,3	428,1	437,1	448,2	455,5	464,9	474,5

-15	*1,64*	*388,3*	*392,6*	*396,9*	*401,2*	*405,5*	*409,8*	*414,2*	*423,0*	*432,0*	*441,1*	*450,3*	*459,7*	*469,2*	*479,0*
-10	*2,01*	*391,3*	*395,7*	*400,1*	*404,5*	*408,5*	*413,3*	*417,8*	*426,7*	*435,9*	*445,1*	*454,5*	*464,0*	*473,7*	*483,5*
-5	*2,43*	*394,3*	*398,8*	*403,3*	*407,7*	*412,2*	*416,8*	*421,3*	*430,5*	*439,7*	*449,1*	*458,6*	*468,3*	*478,1*	*488,0*
0	*2,93*	*797,2*	*401,8*	*406,4*	*411,0*	*415,6*	*420,2*	*424,8*	*434,2*	*443,6*	*453,1*	*462,8*	*472,1*	*482,4*	*492,5*
5	*3,50*	*400,1*	*404,8*	*409,5*	*414,2*	*418,9*	*423,9*	*428,4*	*437,9*	*447,4*	*457,1*	*466,9*	*476,6*	*486,8*	*497,0*
10	*4,14*	*402,9*	*407,8*	*412,6*	*417,4*	*422,2*	*427,0*	*431,8*	*441,5*	*451,3*	*461,1*	*471,0*	*481,1*	*491,2*	*501,5*
15	*4,88*	*405,8*	*410,6*	*415,6*	*420,0*	*425,5*	*430,4*	*435,3*	*445,2*	*455,1*	*465,1*	*475,2*	*485,3*	*495,6*	*506,0*
20	*5,72*	*408,4*	*413,5*	*418,6*	*423,6*	*428,7*	*433,7*	*438,7*	*448,9*	*458,9*	*469,0*	*479,3*	*489,6*	*500,0*	*510,5*
25	*6,65*	*411,0*	*416,3*	*421,5*	*426,7*	*431,9*	*437,0*	*442,1*	*452,4*	*462,7*	*473,0*	*483,3*	*493,8*	*504,3*	*515,0*
30	*7,70*	*413,5*	*419,0*	*424,3*	*429,7*	*435,0*	*440,2*	*445,5*	*456,0*	*466,4*	*476,9*	*487,4*	*498,0*	*508,7*	*519,4*
35	*8,67*	*415,9*	*421,9*	*427,1*	*432,8*	*438,0*	*443,4*	*448,8*	*459,5*	*470,1*	*480,9*	*491,5*	*502,2*	*513,0*	*523,9*
40	*10,16*	*418,3*	*424,1*	*429,8*	*435,5*	*441,1*	*446,6*	*452,1*	*463,0*	*473,8*	*484,6*	*495,5*	*506,4*	*517,3*	*528,3*
45	*31,60*	*420,4*	*426,5*	*432,5*	*438,3*	*444,0*	*449,7*	*455,3*	*466,4*	*477,4*	*488,5*	*499,5*	*510,5*	*521,6*	*532,7*
50	*13,18*	*422,5*	*428,8*	*435,0*	*441,1*	*446,9*	*452,3*	*458,4*	*469,8*	*481,0*	*492,2*	*503,4*	*514,6*	*525,8*	*537,1*
55	*14,91*	*424,4*	*431,0*	*437,4*	*443,6*	*449,6*	*455,6*	*461,5*	*473,1*	*484,6*	*496,0*	*507,3*	*518,7*	*530,1*	*541,5*
60	*16,81*	*426,1*	*423,0*	*439,8*	*446,1*	*452,3*	*458,5*	*464,5*	*476,4*	*488,1*	*499,7*	*511,2*	*522,7*	*534,3*	*545,8*
65	*18,90*	*427,5*	*434,8*	*441,8*	*448,4*	*454,9*	*451,2*	*467,4*	*479,6*	*491,5*	*903,3*	*595,1*	*526,7*	*538,4*	*550,1*
70	*21,16*	*428,6*	*436,4*	*443,7*	*450,7*	*457,4*	*463,9*	*470,3*	*482,7*	*494,3*	*506,9*	*598,9*	*530,7*	*542,6*	*554,4*
75	*23,63*	*429,4*	*437,8*	*445,5*	*452,7*	*459,7*	*466,5*	*473,0*	*485,8*	*498,3*	*510,5*	*522,6*	*534,6*	*546,6*	*558,6*
80	*26,32*	*429,7*	*438,8*	*447,0*	*454,6*	*481,9*	*468,9*	*475,7*	*488,8*	*501,5*	*514,0*	*526,3*	*538,5*	*550,7*	*562,8*
85	*29,25*	*429,4*	*439,5*	*448,3*	*456,4*	*463,9*	*471,2*	*478,2*	*491,6*	*504,7*	*517,4*	*529,9*	*542,3*	*554,6*	*566,9*
90	*32,43*	*428,4*	*439,8*	*449,3*	*457,8*	*465,8*	*473,3*	*480,6*	*494,4*	*507,7*	*520,7*	*533,5*	*546,1*	*558,6*	*571,0*

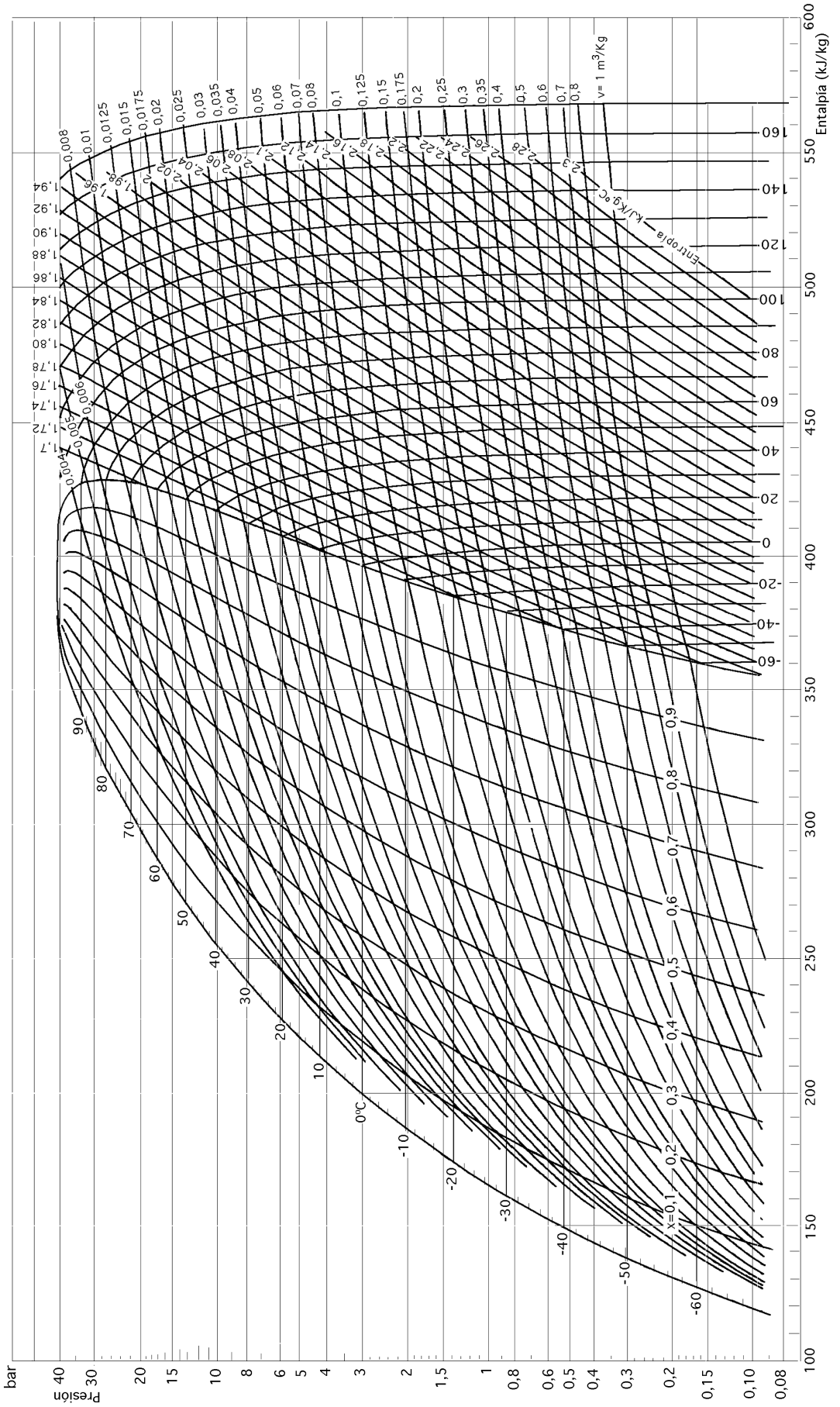


DIAGRAMA (ln p, i) DEL REFRIGERANTE R-134 A

Freón 142 b	
Clorodifluoroetano	$CH_3/CClF_2$
Masa molar	100,5 (gr/mol)
Temperatura de fusión	-130,8 ºC
Temperatura de ebullición a 1 atm	-9,8 ºC
Temperatura crítica	137,1 ºC
Presión crítica	41,2 (bar abs)
Calor específico líquido a 30ºC	1,31 (kJ/kg)
Calor específico vapor a 30ºC y 1 atm	0,86 (kJ/kg)
Coeficiente adiabático a 30ºC y 1 atm	1,122

PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL REFRIGERANTE R-142b.

VAPOR HÚMEDO											
Temper. saturac. ºC	Presión absoluta bar	Presión efectiva bar	Volumen másico		Densidad		Entalpía		Calor vaporiz. r_{l-v} kJ/kg	Entropía	
			líquido v´ dm^3/kg	vapor v" m^3/kg	líquido ρ' kg/dm^3	vapor ρ" kg/m^3	líquido i´ kJ/kg	vapor i" kJ/kg		líquido i´ kJ/kgºK	vapor i" kJ/kgºK
-90	0,006	-1,006	0,731	23,992	1,367	0,042	86,72	356,85	270,13	0,498	1,973
-80	0,016	-0,997	0,743	10,145	1,347	0,099	99,26	362,96	263,70	0,565	1,930
-70	0,035	-0,978	0,754	4,765	1,326	0,210	111,77	369,32	257,55	0,628	1,895
-60	0,022	-0,941	0,766	2,443	1,305	0,409	124,25	375,86	251,61	0,688	1,868
-50	0,135	-0,877	0,779	1,348	1,283	0,742	136,72	382,54	382,54	0,745	1,846
-40	0,240	-0,773	0,792	0,791	1,262	1,264	149,22	389,31	240,09	0,799	1,829
30	0,402	-0,610	0,806	0,489	1,240	2,044	161,78	396,14	234,36	0,852	1,816
-25	0,510	-0,502	0,814	0,391	1,229	2,556	168,09	399,55	231,46	0,878	1,811
-20	0,642	-0,371	0,821	0,316	1,218	3,163	174,42	402,97	228,55	0,903	1,806
-15	0,799	-0,214	0,829	0,258	1,207	3,878	180,78	406,37	225,59	0,928	1,802
-10	0,993	-0,029	0,837	0,212	1,195	4,714	187,16	409,76	222,60	0,952	1,798
-9	0,024	0,011	0,838	0,204	1,193	4,897	188,44	410,44	222,00	0,957	1,798
-5	0,200	0,187	0,845	0,176	1,184	5,685	193,57	413,13	219,56	0,976	1,795
0	1,452	0,439	0,853	0,147	1,172	6,807	200,00	416,48	216,48	1,000	1,793
5	1,744	0,731	0,862	0,124	1,160	8,097	206,45	419,73	213,33	1,023	1,790
10	2,070	1,066	0,871	0,105	1,148	9,568	212,93	423,05	210,12	1,046	1,788
15	2,461	1,448	0,881	0,086	1,136	11,245	219,43	426,26	206,83	1,069	1,787
20	2,896	1,883	0,890	0,076	1,123	13,147	225,94	429,41	203,47	1,091	1,785
25	3,386	2,373	0,901	0,065	1,110	15,298	232,47	432,50	200,03	1,113	1,784
30	3,933	2,925	0,912	0,056	1,097	17,723	239,02	435,52	196,50	1,135	1,783
35	4,456	3,543	0,923	0,049	1,083	20,450	245,57	438,44	192,87	1,156	1,782
40	5,244	4,231	0,935	0,043	1,070	23,511	252,14	441,27	189,13	1,177	1,781
45	6,009	4,996	0,948	0,037	1,055	26,940	258,71	444,00	185,29	1,198	1,780
50	6,856	5,943	0,951	0,032	1,041	30,778	265,29	446,61	181,32	1,218	1,779
55	7,791	6,778	0,975	0,029	1,025	35,067	271,88	449,08	177,20	1,238	1,778
60	8,590	7,806	0,991	0,025	1,009	39,859	278,47	451,42	172,95	1,257	1,777
65	9,047	8,934	1,007	0,002	0,993	45,211	285,07	453,49	168,52	1,277	1,775
70	11,182	10,169	1,025	0,020	0,976	51,188	291,08	455,59	163,91	1,296	1,773
75	12,530	11,517	1,044	0,017	0,957	57,868	298,31	457,41	159,10	1,315	1,772
80	13,999	12,986	1,066	0,015	0,938	65,339	304,37	459,01	154,04	1,333	1,769
85	15,596	14,583	1,089	0,014	0,918	73,710	311,68	460,39	148,71	1,352	1,767
90	17,329	16,316	1,116	0,012	0,896	83,114	318,46	461,52	143,06	1,370	1,764
95	19,208	18,195	1,145	0,011	0,873	93,718	325,37	462,37	137,00	1,388	1,760
100	21,239	20,226	1,179	0,009	0,848	105,746	322,45	462,90	130,45	1,407	1,766
105	23,434	22,421	1,219	0,008	0,820	119,512	339,82	463,06	123,24	1,425	1,751
110	25,802	24,789	1,266	0,007	0,790	135,506	347,65	462,78	115,15	1,445	1,746
120	31,099	30,086	1,396	0,006	0,736	178,626	365,99	460,06	96,07	1,491	1,730

Temperatura saturación °C	Presión saturación bar	R-142B.- SOBRECALENTAMIENTO (°C), ENTALPIA (kJ/kg)													
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
-90	0,01	356,9	959,9	363,0	366,2	369,4	372,7	376,1	383,0	390,0	397,3	404,8	412,4	420,3	428,3
-80	0,02	363,0	366,1	369,4	372,7	376,1	379,5	382,9	390,0	397,3	404,8	412,4	420,3	428,3	436,5
-70	0,04	369,3	372,6	376,0	379,4	382,9	386,4	390,0	397,2	404,7	412,4	420,2	428,2	436,5	444,9
-60	0,07	375,9	379,3	382,8	386,3	389,8	393,5	397,1	404,6	412,3	420,1	428,2	436,4	444,8	453,4
-50	0,14	382,5	386,1	389,6	393,3	396,9	400,7	404,4	412,1	419,9	428,0	436,2	444,7	453,2	462,0
-40	0,24	389,3	392,9	396,6	400,4	404,1	407,9	411,8	419,7	427,8	436,0	444,4	453,0	461,8	470,8
-30	0,40	396,1	399,9	403,7	416,5	411,4	415,3	419,3	427,4	435,6	444,1	452,7	461,5	470,5	479,6
-25	0,51	399,6	403,4	407,2	411,1	415,0	419,0	423,0	431,2	439,6	448,1	456,8	465,7	474,8	484,0
-20	0,64	403,0	406,8	410,7	414,7	418,7	422,7	426,8	435,1	443,5	452,2	461,0	470,0	479,2	488,5
-15	0,80	406,4	410,3	414,2	418,2	422,3	426,4	430,5	438,9	447,5	456,2	465,2	474,3	483,5	492,9
-10	0,98	409,8	413,8	417,8	421,8	425,9	430,1	434,3	442,8	451,5	460,3	469,3	478,5	487,9	497,4
-9	1,02	410,4	414,4	418,5	422,5	426,6	430,8	435,0	443,5	452,2	461,1	470,2	479,4	488,7	498,3
-5	1,20	413,1	417,2	421,7	425,4	429,5	433,7	437,9	446,6	455,4	464,4	473,5	482,8	492,2	501,8
0	1,45	416,5	420,6	474,0	428,9	433,1	437,4	441,7	450,4	459,3	468,4	477,7	487,0	496,6	506,3
5	1,74	419,8	423,9	428,2	432,4	436,7	441,0	445,4	454,0	463,2	472,4	481,8	491,3	500,9	510,7
10	2,08	423,1	427,3	431,6	435,9	440,2	444,6	449,0	458,0	467,2	476,5	485,9	495,5	505,2	515,1
15	2,46	426,3	430,6	434,9	439,3	443,7	448,2	452,7	461,8	471,0	480,4	489,9	499,7	509,5	519,5
20	2,89	429,4	433,8	438,2	442,7	447,2	451,7	456,3	465,5	474,9	484,4	494,1	503,9	513,5	523,9
25	3,39	442,5	436,7	441,5	446,0	450,5	455,1	453,0	465,0	475,6	458,3	498,1	508,0	518,1	528,3
30	3,94	435,5	442,1	444,7	449,3	453,9	458,6	463,3	472,8	482,4	492,2	502,1	512,1	522,3	532,6
35	4,56	438,4	443,1	447,7	452,4	457,1	461,9	466,7	476,3	486,1	496,0	506,0	516,2	526,0	536,9
40	5,24	441,3	446,0	450,9	455,6	460,4	465,2	470,0	479,9	489,8	499,8	510,0	520,3	530,0	541,2
45	6,01	444,0	448,8	453,7	458,6	463,5	468,4	473,3	483,3	493,3	503,5	513,8	525,2	534,5	545,4
50	6,85	446,6	451,6	456,5	461,5	466,5	471,5	476,5	486,7	496,9	507,2	517,7	528,2	538,6	549,5
55	7,79	449,1	454,2	459,7	464,3	469,4	474,5	479,7	490,0	500,4	510,8	521,4	532,1	542,9	535,7
60	8,82	451,4	456,7	461,9	467,1	472,3	477,5	482,7	493,2	503,8	514,4	525,1	535,9	546,9	557,9
65	9,95	453,6	459,0	464,3	469,7	475,0	480,3	485,5	496,3	507,1	517,9	528,8	539,7	550,8	561,9
70	11,18	455,6	461,2	466,7	472,1	477,6	483,1	488,5	499,4	510,3	521,3	532,4	543,5	554,7	565,9
75	12,53	457,4	463,2	468,8	474,5	480,1	485,7	491,2	502,4	513,5	524,7	535,9	547,1	558,5	569,9
80	14,00	459,0	465,0	470,9	476,7	482,4	488,2	493,9	505,2	516,6	527,9	539,3	550,8	562,2	573,8
85	15,60	460,4	466,6	472,7	478,7	484,6	490,5	496,4	508,0	519,6	531,1	542,7	554,3	565,9	577,6
90	17,33	461,5	468,1	474,4	480,6	486,7	492,8	498,8	510,7	522,5	534,2	546,0	557,8	569,6	581,4
95	19,21	462,4	469,2	475,9	482,3	488,6	494,9	501,0	513,2	525,3	537,3	549,2	561,2	573,2	585,2
100	21,23	462,9	470,2	477,1	483,9	490,4	496,9	503,2	515,7	528,0	540,2	552,4	564,6	576,7	588,9
105	23,43	463,0	470,8	478,2	485,2	492,0	498,7	505,2	518,1	530,6	543,1	555,5	567,8	580,1	592,5
110	25,80	462,8	471,2	479,0	486,3	493,4	500,3	507,1	520,3	533,2	545,9	558,5	571,0	583,6	596,1
120	31,09	460,1	470,5	479,5	487,8	495,6	503,1	510,3	524,3	537,9	551,1	564,2	577,2	590,1	603,0

Temper. saturac. °C	Presión saturac. bar	R-142B.- SOBRECALENTAMIENTO (°C), ENTROPIA (kJ/kg°C)													
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
-90	0,01	1,973	1,989	2,005	2,022	2,038	2,054	2,070	2,101	2,132	2,163	2,193	2,223	2,252	2,281
-80	0,02	1,930	1,946	1,962	1,978	1,994	2,010	2,026	2,057	2,087	2,117	2,147	2,176	2,205	2,234
-70	0,04	1,895	1,911	1,927	1,943	1,959	1,975	1,990	2,021	2,051	2,080	2,110	2,138	2,160	2,195
-60	0,07	1,868	1,884	1,900	1,915	1,931	1,946	1,961	1,991	2,021	2,050	2,079	2,108	2,130	2,164
-50	0,14	1,846	1,862	1,877	1,893	1,908	1,923	1,938	1,968	1,997	2,026	2,055	2,083	2,110	2,138
-40	0,24	1,829	1,845	1,860	1,875	1,890	1,905	1,920	1,949	1,978	2,007	2,035	2,063	2,090	2,118
-30	0,40	1,816	1,831	1,846	1,861	1,876	1,891	1,906	1,935	1,963	1,992	2,020	2,047	2,074	2,102
-25	0,51	1,811	1,826	1,841	1,856	1,870	1,885	1,900	1,929	1,957	1,985	2,013	2,041	2,068	2,095
-20	0,64	1,805	1,821	1,836	1,850	1,865	1,880	1,894	1,923	1,951	1,979	2,007	2,035	2,062	2,088
-15	0,80	1,802	1,817	1,832	1,846	1,861	1,876	1,890	1,919	1,947	1,975	2,003	2,030	2,057	2,084
-10	0,98	1,798	1,813	1,828	1,842	1,857	1,871	1,886	1,914	1,943	1,970	1,998	2,025	2,052	2,079
-9	1,02	1,798	1,812	1,827	1,842	1,857	1,871	1,886	1,914	1,942	1,970	1,998	2,025	2,051	2,078
-5	1,20	1,795	1,810	1,825	1,839	1,854	1,869	1,883	1,911	1,939	1,967	1,995	2,022	2,048	2,075
0	1,45	1,792	1,807	1,822	1,836	1,851	1,865	1,880	1,908	1,936	1,964	1,991	2,018	2,045	2,071
5	1,74	1,790	1,805	1,820	1,834	1,849	1,863	1,878	1,906	1,934	1,961	1,989	2,015	2,042	2,068
10	2,08	1,788	1,803	1,818	1,832	1,847	1,861	1,875	1,903	1,931	1,959	1,986	2,013	2,039	2,065
15	2,46	1,787	1,802	1,816	1,831	1,845	1,860	1,874	1,902	1,930	1,957	1,984	2,011	2,037	2,063
20	2,89	1,785	1,800	1,814	1,829	1,843	1,858	1,872	1,900	1,928	1,955	1,982	2,009	2,035	2,067

25	*3,39*	*1,784*	*1,799*	*1,814*	*1,828*	*1,843*	*1,857*	*1,871*	*1,899*	*1,927*	*1,954*	*1,981*	*2,008*	*2,034*	*2,060*
30	*3,94*	*1,783*	*1,797*	*1,812*	*1,827*	*1,841*	*1,856*	*1,870*	*1,898*	*1,926*	*1,953*	*1,980*	*2,006*	*2,033*	*2,058*
35	*4,56*	*1,782*	*1,797*	*1,812*	*1,826*	*1,841*	*1,855*	*1,869*	*1,897*	*1,925*	*1,952*	*1,979*	*2,006*	*2,032*	*2,058*
40	*5,24*	*1,781*	*1,796*	*1,810*	*1,825*	*1,840*	*1,854*	*1,868*	*1,896*	*1,924*	*1,951*	*1,978*	*2,005*	*2,031*	*2,057*
45	*6,01*	*1,780*	*1,795*	*1,810*	*1,825*	*1,839*	*1,854*	*1,868*	*1,896*	*1,924*	*1,951*	*1,978*	*2,005*	*2,031*	*2,056*
50	*6,85*	*1,779*	*1,794*	*1,809*	*1,824*	*1,838*	*1,853*	*1,867*	*1,895*	*1,923*	*1,950*	*1,977*	*2,004*	*2,030*	*2,056*
55	*7,79*	*1,778*	*1,793*	*1,808*	*1,823*	*1,838*	*1,852*	*1,867*	*1,895*	*1,923*	*1,950*	*1,977*	*2,004*	*2,030*	*2,056*
60	*8,82*	*1,776*	*1,792*	*1,807*	*1,822*	*1,837*	*1,852*	*1,866*	*1,895*	*1,922*	*1,950*	*1,977*	*2,003*	*2,029*	*2,055*
65	*9,95*	*1,775*	*1,791*	*1,806*	*1,822*	*1,837*	*1,851*	*1,866*	*1,895*	*1,923*	*1,950*	*1,977*	*2,004*	*2,030*	*2,055*
70	*11,18*	*1,773*	*1,789*	*1,805*	*1,820*	*1,835*	*1,850*	*1,865*	*1,894*	*1,922*	*1,950*	*1,977*	*2,003*	*2,029*	*2,055*
75	*12,53*	*1,772*	*1,788*	*1,804*	*1,819*	*1,835*	*1,850*	*1,865*	*1,894*	*1,922*	*1,950*	*1,977*	*2,004*	*2,030*	*2,055*
80	*14,00*	*1,769*	*1,786*	*1,802*	*1,818*	*1,833*	*1,849*	*1,864*	*1,893*	*1,921*	*1,949*	*1,976*	*2,003*	*2,029*	*2,055*
85	*15,60*	*1,767*	*1,784*	*1,801*	*1,817*	*1,833*	*1,848*	*1,863*	*1,893*	*1,921*	*1,949*	*1,977*	*2,004*	*2,030*	*2,056*
90	*17,33*	*1,763*	*1,781*	*1,798*	*1,815*	*1,831*	*1,847*	*1,862*	*1,892*	*1,921*	*1,949*	*1,976*	*2,003*	*2,030*	*2,055*
95	*19,21*	*1,760*	*1,779*	*1,796*	*1,813*	*1,830*	*1,846*	*1,861*	*1,891*	*1,921*	*1,949*	*1,977*	*2,004*	*2,030*	*2,056*
100	*21,23*	*1,756*	*1,775*	*1,793*	*1,811*	*1,828*	*1,844*	*1,860*	*1,890*	*1,920*	*1,948*	*1,976*	*2,003*	*2,030*	*2,056*
105	*23,43*	*1,751*	*1,772*	*1,791*	*1,809*	*1,826*	*1,843*	*1,859*	*1,890*	*1,920*	*1,948*	*1,976*	*2,004*	*2,030*	*2,056*
110	*25,80*	*1,745*	*1,767*	*1,787*	*1,806*	*1,823*	*1,840*	*1,857*	*1,888*	*1,918*	*1,947*	*1,976*	*2,003*	*2,030*	*2,056*
120	*31,09*	*1,730*	*1,756*	*1,778*	*1,799*	*1,818*	*1,836*	*1,853*	*1,886*	*1,917*	*1,946*	*1,975*	*2,003*	*2,030*	*2,056*

Freón R-124	
Monoclorotetrafluoroetano	$CHCLFCF_3$
Masa molar	136,48 (gr/mol)
Temperatura de fusión	-199,15 ºC
Temperatura de ebullición a 1 atm	-12,1 ºC
Temperatura crítica	122,2 ºC
Presión crítica	36,2 (bar abs)
Calor específico líquido a 30ºC	0,732 (kJ/kg)
Calor específico vapor a 30ºC y 1 atm	0,738 (kJ/kg)
Coeficiente adiabático a 30ºC y 1 atm	1,099
Viscosidad del líquido a 30ºC	0,293 (centipois)
Tensión superficial a 30ºC en dinas por cm	9,06

CARACTERISTICAS TERMODINAMICAS DEL REFRIGERANTE R-124

VAPOR HUMEDO											
Temper. saturac. ºC	Presión absoluta bar	Presión relativa bar	Volumen específico		Peso específico		Entalpía		Calor latente kJ/Kg	Entropía	
			Líquido dm^3/kg	Vapor m^3/kg	Líquido kg/dm^3	Vapor kg/m^3	Líquido kJ/kg	Vapor kJ/kg		Líquido kJ/kgºK	Vapor kJ/kgºK
-90	0,0068	-1,0062	0,592	16,414	1,6905	0,061	108,0	308,7	200,7	0,593	1,689
-80	0,0171	-0,9959	0,601	6,8841	1,6637	0,145	118,0	314,0	196,0	0,646	1,661
70	0,0385	-0,9745	0,611	3,2104	1,6367	0,311	128,0	319,5	191,4	0,697	1,639
-60	0,0790	-0,9340	0,621	1,6360	1,6094	0,611	138,1	325,1	187,0	0,745	1,622
-50	0,1502	-0,8628	0,632	0,8981	1,5817	1,114	148,1	330,9	182,7	0,791	1,610
-40	0,2672	-0,7458	0,644	0,5249	1,5537	1,905	158,2	336,7	178,5	0,835	1,601
-30	0,4493	-0,5637	0,656	0,3235	1,5252	3,091	168,5	342,7	174,2	0,878	1,595
-20	0,7194	-0,2935	0,668	0,2086	1,4962	4,794	178,8	348,7	169,9	0,920	1,591
-15	0,8957	-0,1173	0,675	0,1700	1,4815	5,883	184,1	351,8	167,7	0,940	1,590
-13	0,9751	-0,0379	0,678	0,1570	1,4755	6,370	186,2	353,0	166,8	0,948	1,590
-12	1,0168	0,0038	0,679	0,1510	1,4726	6,624	187,2	353,6	166,4	0,952	1,589
-10	1,1044	0,0914	0,682	0,1397	1,4666	7,158	189,3	354,8	165,5	0,960	1,589
-5	1,3494	0,3364	0,689	0,1158	1,4515	8,637	194,6	357,8	163,2	0,980	1,589
0	1,6346	0,6216	0,696	0,0967	1,4363	10,346	200,0	360,9	160,9	1,000	1,589
5	1,9645	0,9515	0,704	0,0812	1,4208	12,308	205,4	363,9	158,5	1,020	1,589
10	2,3436	1,3306	0,712	0,0687	1,4052	14,550	210,8	366,9	156,0	1,039	1,590
15	2,7764	1,7634	0,720	0,0585	1,3892	17,103	216,3	369,9	153,5	1,058	1,591
20	3,2678	2,2548	0,728	0,0500	1,3730	19,996	221,9	372,8	150,9	1,077	1,592
25	3,8229	2,8099	0,737	0,0430	1,3565	23,268	227,5	375,8	148,3	1,096	1,593
30	4,4468	3,4338	0,746	0,0371	1,3396	26,955	233,2	378,6	145,5	1,114	1,594
35	5,1449	4,1319	0,756	0,0322	1,3224	31,104	238,9	381,5	142,6	1,133	1,596
40	5,9228	4,9998	0,766	0,0280	1,3047	35,765	244,7	384,3	139,6	1,151	1,597
45	6,7863	5,7733	0,777	0,0244	1,2866	40,993	250,5	387,0	136,5	1,170	1,599
50	7,7413	6,7283	0,789	0,0213	1,2679	46,856	256,4	389,7	133,2	1,188	1,600
60	9,9510	8,9380	0,814	0,0164	1,2287	60,807	268,6	394,7	126,1	1,224	1,603
70	12,6041	11,591	0,843	0,0128	1,1861	78,425	281,1	399,3	118,2	1,261	1,605
80	15,7575	14,745	0,878	0,0099	1,1389	100,91	294,1	403,3	109,2	1,297	1,607
90	19,4729	18,460	0,922	0,0077	1,0848	130,22	307,9	405,5	98,6	1,335	1,605
100	23,8176	22,805	0,981	0,0059	1,0191	169,92	322,6	408,3	85,7	1,374	1,603
110	28,8661	27,853	1,075	0,0044	0,9302	228,21	339,0	407,8	68,8	1,416	1,595

Temperat. saturación ºC	Presión saturación bar	R-124 .- SOBRECALENTAMIENTO (ºC), ENTALPIA (kJ/kg)													
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
-90	0,0068	308,7	311,3	314,0	316,7	319,5	322,4	325,2	331,1	337,2	343,5	349,9	356,5	363,2	370,2
-80	0,0171	314,0	316,7	319,5	322,3	325,2	328,1	331,1	337,2	343,4	349,9	356,5	363,2	370,2	377,2
-70	0,0385	319,5	322,3	325,2	328,1	331,1	334,1	337,1	343,4	349,8	356,4	363,2	370,1	377,2	384,5
-60	0,0790	325,1	328,0	331,0	334,0	331,1	340,2	343,3	349,8	356,4	363,1	370,1	377,2	384,4	391,8
-50	0,1502	330,9	333,9	336,9	343,1	343,2	346,4	349,7	356,3	363,0	370,0	377,1	384,3	391,7	399,3

-40	0,2672	336,7	339,9	343,0	346,2	349,5	352,8	356,1	362,9	369,8	376,9	384,2	391,6	399,1	406,8
-30	0,4198	342,7	345,9	349,2	352,5	355,8	359,2	352,6	389,6	376,7	384,0	391,4	398,9	406,7	414,5
-20	0,7194	348,7	353,1	355,4	358,8	362,2	365,7	369,2	376,3	383,6	391,1	398,6	406,4	414,2	422,2
-15	0,8957	351,8	355,1	358,5	362,0	365,5	369,0	372,5	379,7	387,1	394,6	402,3	410,1	418,0	426,1
-14	0,9448	352,4	355,8	359,2	362,6	366,1	369,6	373,2	380,4	387,8	395,4	408,0	410,8	418,8	426,9
-13	0,9751	353,0	356,4	359,8	363,2	366,7	370,3	373,9	381,1	388,5	305,1	403,8	411,6	419,6	427,6
-12	1,0168	353,6	357,0	361,4	363,9	367,4	370,9	374,5	381,8	369,2	396,8	401,5	412,3	420,3	428,4
-10	1,1044	354,8	358,2	361,7	365,2	368,7	372,2	375,8	388,2	390,6	308,2	406,0	413,8	421,8	430,0
-5	1,3494	357,8	361,3	364,8	368,3	371,9	375,5	379,2	386,6	394,1	401,8	419,6	417,6	425,7	433,9
0	1,6346	360,9	364,4	367,9	371,5	375,1	378,8	362,5	300,0	397,6	495,4	413,3	421,3	429,5	437,8
5	1,9045	363,9	367,4	371,0	374,7	378,4	382,1	385,8	398,4	401,1	409,0	417,0	425,1	433,3	441,0
10	2,3436	356,9	370,5	374,2	377,8	381,6	385,3	389,1	396,8	404,6	412,6	420,6	428,8	437,1	445,6
15	2,7764	369,9	373,5	377,3	381,0	364,8	388,6	392,4	400,2	408,1	416,1	424,3	432,6	441,0	449,5
20	3,2678	372,8	376,6	380,3	384,1	387,9	391,8	395,7	403,6	411,6	419,7	427,9	436,3	444,8	453,4
25	3,8229	375,8	379,5	383,4	387,2	391,1	395,0	399,0	406,9	415,0	423,2	431,6	410,0	448,6	457,3
30	4,4468	378,6	382,5	318,6	390,3	394,2	398,2	402,2	410,3	418,5	426,8	435,2	443,7	452,4	461,1
35	5,1449	381,5	385,4	389,3	393,3	397,3	401,3	406,4	413,6	421,9	430,3	438,8	447,4	456,2	465,1
40	5,9228	364,3	388,3	392,3	396,3	400,4	414,5	408,6	416,9	425,3	433,8	442,4	451,1	459,9	468,8
45	6,7863	387,0	391,1	395,2	399,3	403,4	407,5	411,7	420,1	428,6	437,2	446,0	454,8	463,7	472,7
50	7,7413	389,7	393,8	308,0	402,1	406,3	410,6	414,8	423,3	432,0	440,7	449,5	458,4	467,4	476,5
55	8,7941	392,2	396,5	400,7	405,0	409,2	413,5	417,8	426,5	435,2	444,1	453,0	462,0	471,1	480,3
60	9,9510	394,7	399,0	403,4	407,7	412,1	416,4	420,8	429,6	438,5	447,4	456,5	465,6	474,7	484,0
65	11,2187	397,1	401,5	406,0	410,4	414,8	419,3	423,7	432,7	441,7	453,8	459,9	409,1	478,4	487,8
70	12,6041	399,3	403,9	40,5	413,0	417,5	422,1	426,6	435,7	444,8	454,0	463,3	472,6	482,0	491,5
75	14,1146	401,4	406,1	410,8	415,5	420,1	424,8	429,4	438,6	447,9	457,3	465,6	476,1	485,6	495,1
80	15,7575	403,3	408,2	413,1	417,9	422,6	427,4	432,1	441,5	451,0	460,4	470,1	479,5	489,1	498,8
85	17,5409	405,0	410,1	415,2	420,1	425,0	429,9	434,7	444,3	453,9	463,6	473,2	482,9	492,6	502,4
90	19,4729	406,5	411,9	417,1	422,2	427,3	432,2	437,2	447,1	456,9	466,6	476,4	486,2	496,1	506,0
95	21,5621	417,6	413,3	418,8	424,1	429,4	434,5	439,6	449,7	459,7	469,7	479,6	489,5	499,5	509,5
100	23,8176	408,3	414,5	423,3	425,9	431,4	436,7	441,9	452,3	462,5	472,6	482,7	492,8	502,5	513,0
105	26,2489	408,5	415,3	421,6	427,5	433,2	438,7	444,1	454,7	465,2	475,5	485,8	496,0	566,2	516,5
110	28,8661	407,8	415,8	422,6	428,9	434,8	440,6	446,2	457,1	467,8	478,3	488,8	499,2	509,6	519,9

Temper. saturac. °C	Presión saturac. bar	R-124.- SOBRECALENTAMIENTO (°C), VOLUMEN ESPECIFICO (dm^3/kg)													
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
-90	0,0068	16414	16863	17312	17760	18209	18658	19106	20904	20901	21798	22895	23592	24489	25386
-10	0,0171	6881	7053	7242	7420	7599	7778	7957	8314	8671	9029	9386	9743	10100	10457
-70	0,0385	3210	3290	3369	3449	3528	3608	3687	3846	4005	4164	4323	4481	4640	4799
-60	0,0790	1626	1675	1714	1752	1791	1831	1869	1946	2024	2101	2179	2256	2333	2411
-50	0,1502	898,1	918,6	939,1	959,6	980,1	1001	1021	1062	1103	1144	1185	1226	1266	1307
-40	0,2672	524,9	536,6	548,2	559,8	571,4	583,0	594,6	617,7	640,9	663,9	687,0	710,1	733,1	756,1
-30	0,4493	323,5	336,5	337,5	344,5	351,5	358,4	365,4	379,3	393,1	407,0	420,8	434,6	448,4	462,1
-20	0,7194	206,6	213,0	217,6	221,9	225,3	230,7	235,1	243,9	252,6	261,3	270,1	278,7	287,4	296,1
-15	0,8957	169,1	173,6	177,2	180,7	184,3	187,9	191,4	198,5	205,6	212,7	219,7	226,7	233,7	240,7
-14	0,9480	163,3	166,8	170,2	173,7	177,1	180,5	183,9	190,7	197,5	204,3	211,0	217,8	224,5	232,0
-13	0,9751	156,1	160,3	163,5	166,9	170,2	173,5	176,8	183,3	189,8	196,3	202,8	209,3	215,7	222,1
-12	1,0168	151,0	154,1	157,3	160,5	163,7	166,8	170,0	176,3	182,5	188,8	195,0	201,2	207,4	213,5
-10	1,1914	139,7	142,7	145,6	154,4	151,5	154,4	157,3	163,1	168,9	174,6	180,4	186,1	191,8	197,5
-5	1,3494	115,8	118,2	120,7	123,1	125,5	127,9	130,3	135,1	139,9	144,6	149,4	154,1	158,9	163,5
0	1,8516	96,66	98,70	100,7	106,8	104,8	106,8	108,8	112,8	116,8	120,8	124,7	128,7	132,5	136,4
5	1,9615	81,25	82,98	84,70	86,41	88,11	89,18	91,51	94,87	98,22	101,5	104,9	108,2	111,4	114,7
10	2,3436	68,73	70,20	71,67	73,13	74,58	76,02	77,46	80,32	83,16	85,97	88,78	91,57	94,35	97,11
15	2,7764	58,47	59,74	61,00	62,25	63,50	64,74	65,97	68,42	70,85	73,57	75,65	78,03	80,40	82,75
20	3,2678	50,01	51,11	52,20	53,29	54,37	55,44	56,50	58,62	60,71	62,75	66,89	68,93	68,94	70,95
25	3,8229	42,98	43,94	44,90	45,84	46,79	47,72	48,65	50,49	52,31	54,11	55,89	57,66	59,42	61,17
30	4,4468	37,10	37,95	38,79	39,63	40,45	41,27	42,99	43,70	45,29	46,86	48,42	49,97	51,50	53,01
35	5,1419	32,15	32,91	33,66	34,40	35,13	35,85	36,57	37,90	39,36	41,78	42,15	43,50	44,85	46,18
40	5,9228	27,96	28,64	29,37	29,97	30,26	31,27	31,91	33,18	34,42	35,64	36,95	38,05	39,24	40,41
45	6,7863	24,39	25,02	25,01	26,21	26,79	27,38	27,95	29,08	30,19	31,28	32,36	33,42	34,47	35,51
50	7,7413	21,34	21,90	22,45	22,99	23,52	24,05	24,57	25,58	26,58	27,56	28,52	29,47	30,41	31,33
55	8,7941	18,72	19,23	19,73	20,23	20,71	21,19	21,66	22,58	23,48	24,16	25,23	26,08	26,92	27,75

60	9,9510	16,45	16,92	17,39	17,84	18,29	18,72	19,15	19,99	20,81	21,61	22,39	23,16	23,92	24,67
65	11,2187	14,47	14,92	15,35	15,77	16,18	16,59	16,08	17,75	18,50	19,23	19,94	20,64	21,32	22,00
70	12,6041	12,75	13,17	13,58	13,97	14,35	14,73	15,09	15,80	16,49	17,16	17,81	18,44	19,07	19,68
75	14,1146	11,24	11,64	12,03	12,40	12,76	13,10	13,44	14,10	14,74	15,35	15,95	16,53	17,10	17,66
80	15,7575	9,909	10,30	10,66	11,02	11,35	11,68	12,00	12,61	13,20	13,77	14,32	14,86	15,38	15,89
85	17,5409	8,730	9,107	9,462	9,799	10,12	10,43	10,73	11,31	11,86	12,38	12,69	13,39	13,87	14,34
90	19,4729	7,679	8,053	8,400	8,725	9,034	9,329	9,614	10,16	10,67	11,16	11,63	12,09	12,54	12,97
95	21,5621	6,737	7,115	7,457	7,774	8,072	8,355	8,526	9,138	9,621	10,08	10,52	10,95	11,36	11,76
100	23,8176	5,885	6,275	6,618	6,930	7,220	7,493	7,752	8,239	8,694	9,125	9,537	9,934	10,32	10,69
106	26,2489	5,106	5,521	5,870	6,180	6,464	6,728	6,977	7,442	7,872	8,278	8,664	9,035	9,393	9,741
110	28,8651	4,382	4,842	5,203	5,514	5,793	6,050	6,290	6,734	7,143	7,526	7,889	8,236	8,571	8,894

Temper. saturac. °C	Presión saturac. bar	R-124.- SOBRECALENTAMIENTO (°C), ENTROPIA (kJ/kg°K)													
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
-90	0,0068	1,689	1,703	1,717	1,731	1,745	1,758	1,772	1,799	1,826	1,852	1,878	1,903	1,929	1,954
-80	0,0171	1,661	1,675	1,688	1,702	1,716	1,729	1,743	1,770	1,796	1,822	1,847	1,873	1,897	1,922
-70	0,0385	1,639	1,853	1,666	1,680	1,693	1,707	1,720	1,746	1,772	1,796	1,823	1,848	1,872	1,897
-60	0,0790	1,622	1,636	1,649	1,663	1,676	1,689	1,702	1,728	1,754	1,779	1,804	1,828	1,853	1,877
-50	0,1502	1,610	1,623	1,636	1,650	1,663	1,676	1,689	1,714	1,740	1,765	1,789	1,813	1,837	1,861
-40	0,2672	1,601	1,614	1,627	1,640	1,653	1,666	1,679	1,704	1,729	1,754	1,778	1,802	1,826	1,849
-30	0,4198	1,595	1,608	1,621	1,634	1,646	1,659	1,672	1,697	1,722	1,746	1,770	1,794	1,817	1,840
-20	0,7194	1,591	1,604	1,617	1,630	1,642	1,655	1,667	1,692	1,717	1,741	1,764	1,788	1,811	1,834
-15	0,8957	1,590	1,603	1,616	1,628	1,611	1,653	1,666	1,690	1,715	1,739	1,763	1,786	1,809	1,832
-14	0,9448	1,590	1,603	1,615	1,628	1,640	1,653	1,666	1,690	1,715	1,739	1,762	1,786	1,809	1,831
-13	0,9751	1,590	1,602	1,615	1,628	1,640	1,653	1,665	1,690	1,714	1,738	1,762	1,785	1,808	1,831
-12	1,0168	1,589	1,602	1,615	1,628	1,640	1,653	1,665	1,690	1,714	1,738	1,762	1,785	1,808	1,831
-10	1,1044	1,589	1,602	1,615	1,627	1,640	1,652	1,665	1,689	1,714	1,737	1,761	1,784	1,807	1,830
-5	1,3494	1,589	1,602	1,614	1,627	1,639	1,652	1,664	1,689	1,713	1,737	1,760	1,783	1,806	1,829
0	1,6346	1,589	1,602	1,614	1,627	1,639	1,652	1,664	1,688	1,712	1,736	1,759	1,782	1,805	1,828
5	1,9045	1,589	1,602	1,615	1,627	1,640	1,652	1,664	1,688	1,712	1,736	1,759	1,782	1,805	1,827
10	2,3436	1,590	1,603	1,615	1,628	1,640	1,652	1,664	1,689	1,712	1,736	1,759	1,782	1,805	1,827
15	2,7764	1,591	1,603	1,616	1,628	1,641	1,653	1,655	1,689	1,713	1,736	1,759	1,782	1,805	1,827
20	3,2678	1,592	1,604	1,617	1,629	1,642	1,654	1,666	1,690	1,714	1,737	1,760	1,783	1,805	1,827
25	3,8229	1,593	1,605	1,618	1,631	1,643	1,655	1,667	1,691	1,715	1,738	1,761	1,784	1,806	1,828
30	4,4468	1,594	1,607	1,619	1,632	1,644	1,656	1,668	1,692	1,716	1,739	1,762	1,784	1,807	1,829
35	5,1449	1,596	1,608	1,621	1,633	1,646	1,658	1,670	1,694	1,717	1,740	1,763	1,786	1,808	1,830
40	5,9228	1,597	1,610	1,622	1,635	1,647	1,559	1,671	1,695	1,719	1,742	1,764	1,787	1,809	1,831
45	6,7863	1,599	1,611	1,624	1,636	1,649	1,661	1,673	1,697	1,720	1,743	1,766	1,788	1,810	1,832
50	7,7413	1,600	1,613	1,626	1,638	1,650	1,663	1,675	1,698	1,722	1,745	1,768	1,790	1,812	1,834
55	8,7941	1,602	1,614	1,627	1,640	1,652	1,664	1,676	1,700	1,724	1,747	1,769	1,792	1,814	1,835
60	9,9510	1,603	1,616	1,629	1,641	1,654	1,666	1,678	1,702	1,725	1,748	1,771	1,793	1,815	1,837
65	11,2187	1,604	1,617	1,630	1,643	1,655	1,668	1,680	1,704	1,727	1,750	1,773	1,795	1,817	1,839
70	12,6041	1,605	1,619	1,632	1,644	1,657	1,669	1,682	1,706	1,729	1,752	1,775	1,797	1,819	1,841
75	14,1146	1,606	1,620	1,633	1,646	1,658	1,671	1,683	1,707	1,731	1,754	1,777	1,799	1,821	1,843
80	15,7575	1,607	1,620	1,634	1,647	1,660	1,672	1,685	1,709	1,733	1,756	1,779	1,801	1,823	1,845
85	17,5409	1,607	1,621	1,635	1,648	1,661	1,674	1,686	1,711	1,735	1,758	1,781	1,803	1,825	1,847
90	19,4729	1,606	1,621	1,635	1,649	1,662	1,675	1,688	1,713	1,737	1,760	1,783	1,805	1,827	1,849
95	21,5621	1,605	1,621	1,635	1,649	1,663	1,676	1,689	1,714	1,738	1,762	1,785	1,807	1,829	1,851
100	23,8176	1,603	1,620	1,635	1,650	1,664	1,677	1,690	1,716	1,740	1,764	1,787	1,809	1,831	1,853
105	26,2489	1,500	1,618	1,635	1,650	1,664	1,678	1,691	1,717	1,742	1,765	1,789	1,811	1,833	1,855
110	28,8661	1,595	1,616	1,633	1,549	1,664	1,678	1,692	1,718	1,743	1,767	1,790	1,813	1,835	1,857

Freón FX 10 (R-408 A) Mezcla azeótropa (47% Forane 22; 46% Forane 143a; 7% Forane 125)	
Masa molar	87 (gr/mol)
Temperatura de fusión	-44,4 ºC
Temperatura de ebullición a 1 atm	-43,7 ºC
Temperatura crítica	83,5 ºC
Presión crítica	43,4 (bar abs)
Calor específico líquido a 30ºC	1,59 (kJ/kg)
Calor específico vapor a 30ºC y 1 atm	0,806 (kJ/kg)
Coeficiente adiabático a 30ºC y 1 atm	1,144
Viscosidad del líquido a 30ºC	

CARACTERISTICAS TERMODINAMICAS DEL FREON FX 10 (R-408 A)

VAPOR HUMEDO

Presión absol. bars	Presión relativa bars	Temper. saturac. ºC	LIQUIDO					VAPOR				
			Volumen específico m^3/kg	Peso específ. kg/dm^3	Entalp. kJ/kg	Entropía kJ/kgºK	Temper. rocío ºC	Volumen específico m^3/kg	Peso específ. kg/dm^3	Entalp. kJ/kg	Entropía kJ/kgºK	Calor latente kJ/kg
0,313	-0,7	-66,8	0,736974	1,3569	121,8	0,675	-66,0	0,624610	1,601	359,9	1,827	238,2
0,413	-0,6	-62,0	0,744325	1,3435	126,9	0,700	-61,2	0,482859	2,071	362,8	1,815	235,9
0,513	-0,5	-58,0	0,750254	1,3224	131,2	0,720	-57,3	0,394789	2,533	365,2	1,805	234,0
0,613	-0,4	-54,6	0,755972	1,3228	134,9	0,737	-53,9	0,334560	2,989	367,2	1,798	232,3
0,713	-0,3	-51,7	0,760834	1,3144	138,1	0,752	-51,0	0,290782	3,439	369,0	1,792	230,9
0,813	-0,2	-49,0	0,765169	1,3059	141,0	0,765	-48,3	0,257334	3,886	370,6	1,787	229,5
0,913	-0,1	-46,6	0,769231	1,3000	143,7	0,776	-45,9	0,231000	4,329	372,0	1,783	228,3
1,013	0	-44,4	0,773036	1,2930	146,2	0,787	-43,7	0,209732	4,768	373,3	1,779	227,1
1,113	0,1	-42,4	0,776578	1,2877	148,5	0,797	-41,7	0,192965	5,206	374,5	1,775	226,0
1,213	0,2	-40,5	0,779910	1,2822	150,6	0,805	-39,8	0,177274	5,641	375,6	1,772	225,0
1,313	0,3	-38,7	0,783085	1,2770	152,6	0,815	-38,1	0,164636	6,074	376,7	1,769	224,0
1,413	0,4	-37,0	0,786164	1,2720	154,6	0,823	-36,4	0,153728	6,506	377,6	1,767	223,1
1,513	0,5	-35,4	0,789079	1,2673	156,4	0,831	-34,8	0,144196	6,935	378,6	1,764	222,2
1,613	0,6	-33,9	0,791828	1,2629	158,1	0,838	-33,3	0,135814	7,363	379,4	1,762	221,3
1,713	0,7	-32,5	0,794534	1,2566	160,8	0,845	-31,9	0,128353	7,791	380,3	1,750	220,5
1,813	0,8	-31,1	0,797190	1,2545	161,4	0,852	-30,5	0,121699	8,217	381,1	1,758	219,7
1,913	0,9	-29,8	0,799680	1,2505	162,9	0,858	-29,2	0,115714	8,642	381,8	1,756	218,9
2,013	1	-28,6	0,802118	1,2467	164,4	0,864	-28,0	0,110302	9,066	382,5	1,755	218,1
2,513	1,5	-22,9	0,813339	1,2295	171,1	0,891	-22,4	0,089477	11,176	385,7	1,748	214,6
3,013	2	-18,1	0,823452	1,2144	177,0	0,914	-17,6	0,075330	13,275	388,4	1,742	211,5
3,513	2,5	-13,9	0,832709	1,2009	182,2	0,934	-13,3	0,065070	15,368	390,8	1,737	208,6
4,013	3	-10,1	0,841326	1,1886	187,0	0,952	-9,6	0,057278	17,459	392,8	1,734	205,8
4,513	3,5	-6,6	0,849473	1,1772	191,4	0,963	-6,1	0,051146	19,552	394,6	1,730	203,2
5,013	4	-3,4	0,857192	1,1666	195,5	0,984	-3,0	0,046189	21,650	396,3	1,727	200,8
5,513	4,5	-0,5	0,864603	1,1566	199,3	0,998	0,0	0,042100	23,753	397,7	1,725	198,4
6,013	5	2,2	0,871764	1,1471	203,0	1,011	2,7	0,038664	25,864	399,1	1,722	196,1
6,513	5,5	4,8	0,878657	1,1381	206,4	1,023	5,3	0,035734	27,981	400,3	1,718	193,9
7,013	6	7,2	0,885348	1,1295	209,7	1,035	7,7	0,033206	30,115	401,5	1,720	191,9
7,513	6,5	9,5	0,891902	1,1212	212,9	1,046	10,0	0,031008	32,258	402,5	1,716	189,7
8,013	7	11,7	0,898311	1,1132	215,9	1,056	12,2	0,029059	34,413	403,5	1,714	187,6
8,513	7,5	13,8	0,904650	1,1054	218,9	1,066	14,3	0,027336	36,582	404,4	1,712	185,6
9,013	8	15,8	0,910830	1,0979	221,7	1,076	16,2	0,025796	38,766	405,3	1,711	183,6
9,513	8,5	17,7	0,917011	1,0905	224,5	1,085	18,2	0,024411	40,965	405,1	1,709	181,6
10,013	9	19,6	0,923020	1,0834	227,1	1,094	20,0	0,023159	43,180	406,8	1,708	179,7
10,513	9,5	21,3	0,929023	1,0764	229,7	1,193	21,8	0,022120	45,413	407,5	1,705	177,8
11,013	10	23,1	0,934929	1,0696	232,3	1,111	23,5	0,020980	47,664	408,1	1,705	175,9
16,013	15	37,6	0,992246	1,0058	255,0	1,184	37,9	0,014019	71,334	412,6	1,691	157,6
21,013	20	49,0	1,053519	0,9492	274,9	1,245	49,4	0,010231	97,740	414,4	1,678	139,6
16,013	25	58,6	1,121202	0,8919	293,4	1,300	58,9	0,007807	128,083	414,1	1,664	120,7
31,013	30	66,9	1,203659	0,8308	311,7	1,352	67,1	0,006080	164,472	411,7	1,646	100,0

Freón FX 56 (R 409 A) *Mezcla azeotrópica* (60% Freón 22; 25% Freón 124; 15% Freón 142 b)	
Masa molar	97,4 (gr/mol)
Temperatura de fusión	-34,3 ºC
Temperatura de ebullición a 1 atm	-25,9 ºC
Temperatura crítica	107 ºC
Presión crítica	46 (bar abs)
Calor específico líquido a 30ºC	1,281 (kJ/kg)
Calor específico vapor a 30ºC y 1 atm	0,709 (kJ/kg)
Coeficiente adiabático a 30ºC y 1 atm	1,147

PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL FREON FX 56 (R-409 A)

VAPOR HUMEDO												
			LIQUIDO					VAPOR				
Presión absol. bars	Presión relativa bars	Temper. saturac. ºC	Volumen específico m^3/kg	Peso específ. kg/dm^3	Entalp. kJ/kg	Entropía kJ/kgºK	Temper. rocío ºC	Volumen específico m^3/kg	Peso específ. kg/dm^3	Entalp. kJ/kg	Entropía kJ/kgºK	Calor latente kJ/kg
0,313	-0,7	-57,8	0,680589	1,4691	139,6	0,753	-49,3	0,603509	1,657	372,7	1,817	233,1
0,413	-0,6	-52,7	0,686860	1,4559	144,5	0,776	-44,2	0,466366	2,143	375,5	1,897	231,0
0,513	-0,5	-48,6	0,692086	1,4449	148,6	0,794	-40,1	0,381383	2,622	3,8	1,796	229,3
0,613	-0,4	-45,0	0,696661	1,4354	152,2	0,810	-36,5	0,323206	3,094	3,8	1,792	227,7
0,713	-0,3	-41,9	0,700708	1,4270	155,3	0,824	-33,4	0,280820	3,561	3,8	1,787	226,4
0,813	-0,2	-39,1	0,704523	1,4194	158,1	0,835	-30,7	0,248609	4,024	383,2	1,782	225,1
0,913	-0,1	-36,6	0,707925	1,4125	160,7	0,847	-28,2	0,223117	4,482	384,6	1,778	223,9
1,013	0	-34,3	0,711136	1,4062	163,0	0,856	-25,9	0,202511	4,938	385,9	1,775	222,8
1,113	0,1	-32,2	0,714184	1,4002	165,2	0,866	-23,7	0,185494	5,391	387,1	1,772	221,8
1,213	0,2	-30,2	0,717000	1,3947	167,3	0,874	-21,8	0,171173	5,842	388,2	1,769	220,9
1,313	0,3	-28,3	0,719735	1,3894	169,3	0,882	-19,9	0,158957	6,294	386,2	1,767	219,0
1,413	0,4	-26,6	0,722282	1,3845	171,1	0,889	-18,2	0,148434	6,737	390,2	1,765	219,1
1,511	0,5	-24,9	0,724743	1,3798	172,8	0,896	-16,5	0,139238	7,182	391,1	1,762	218,2
1,613	0,6	-23,3	0,727114	1,3753	174,5	0,903	-14,9	0,131130	7,626	391,9	1,761	217,4
1,713	0,7	-21,8	0,729395	1,3710	1,8	0,909	-13,4	0,123946	8,058	392,8	1,759	216,7
1,813	0,8	-20,4	0,731636	1,3668	177,6	0,916	-12,0	0,117523	8,569	393,6	1,757	215,9
1,913	0,9	-19,0	0,733833	1,3628	179,1	0,921	-10,7	0,111744	8,949	394,3	1,756	215,2
2,013	1	-17,7	0,735832	1,3690	180,5	0,927	-9,3	0,106530	9,387	395,0	1,754	214,5
2,513	1,5	-11,7	0,745434	1,3415	186,9	0,952	-3,5	0,086438	11,559	398,2	1,748	211,2
3,013	2	-6,6	0,754034	1,3262	192,5	0,973	1,6	0,072729	13,738	400,9	1,743	208,3
3,513	2,5	-2,2	0,761905	1,3125	197,6	0,991	6,0	0,062901	15,898	403,2	1,740	206,6
4,013	3	1,9	0,769231	1,3000	202,1	1,008	9,9	0,055386	18,055	405,2	1,736	203,1
4,513	3,5	5,5	0,776156	1,2864	206,3	1,023	13,5	0,049478	20,211	407,0	1,734	200,7
5,013	4	8,9	0,782718	1,2776	210,2	1,036	16,8	0,044703	22,370	406,7	1,731	198,5
5,513	4,5	12,0	0,789017	1,2574	213,9	1,049	19,9	0,040763	24,540	410,1	1,729	196,3
6,013	5	14,9	0,795039	1,2578	217,3	1,061	22,7	0,037452	25,701	411,5	1,727	194,2
6,513	5,5	17,6	0,800897	1,2484	220,6	1,072	25,4	0,034631	28,876	412,7	1,725	192,1
7,013	6	20,2	0,806582	1,2398	223,7	1,083	27,9	0,032196	31,060	413,9	1,723	190,2
7,513	6,5	22,7	0,812150	1,2313	226,7	1,093	30,3	0,030072	33,254	415,0	1,722	188,2
8,013	7	25,0	0,817595	1,2231	229,5	1,102	32,6	0,028202	35,458	416,0	1,720	186,3
8,513	7,5	27,2	0,822910	1,2152	232,4	1,112	34,7	0,026544	37,674	416,9	1,719	184,5
9,013	8	29,1	0,828089	1,2075	235,1	1,120	36,8	0,025061	39,902	417,8	1,717	182,7
9,513	8,5	31,4	0,833264	1,2001	237,7	1,129	38,8	0,023729	42,143	418,6	1,716	180,9
10,013	9	33,4	0,838364	1,1928	240,2	1,137	40,7	0,022524	41,398	419,3	1,715	179,1
10,513	9,5	35,3	0,843382	1,1857	242,7	1,145	42,5	0,021428	46,668	420,1	1,714	177,4
11,013	10	37,1	0,848320	1,1788	245,1	1,152	44,3	0,020427	48,954	420,7	1,712	175,6
16,013	15	52,7	0,896539	1,1154	266,5	1,218	59,3	0,013735	72,807	425,6	1,702	159,1
21,013	20	65,1	0,945180	1,0580	285,0	1,272	71,0	0,010104	98,970	428,0	1,691	143,0
26,013	25	75,6	0,998004	1,0020	302,0	1,320	80,8	0,007793	128,313	428,6	1,680	126,6
31,013	30	84,7	1,059322	0,9440	318,3	1,364	89,2	0,006167	162,149	427,5	1,668	109,2

Temper. saturac. ºC	Presión saturac. bar	FREÓN FX 56.- SOBRECALENTAMIENTO (ºC), VOL. ESPECIFICO dm^3/kg													
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
-100	0,066	22398	23046	23693	24341	24988	25636	26283	27578	28872	30167	31462	32756	34051	35345
-90	0,017	9052	9300	9548	9796	10043	10291	10539	11034	11529	12024	12520	13025	13510	14005
-80	0,040	4095	4201	4308	4414	4521	4627	4734	4947	5160	5373	5585	5798	6011	6224
-70	0,085	2034	2085	2135	2186	2236	2287	2337	2438	2639	2640	2741	2842	2942	3043
-60	0,165	1093	1119	1145	1171	1197	1223	1249	1301	1353	1405	1457	1509	1560	1612
-50	0,301	626,7	641,2	655,6	670,0	684,5	698,9	713,3	742,0	770,8	799,5	828,2	856,8	885,5	914,1
-45	0,396	484,9	495,9	506,9	517,9	528,9	539,9	550,9	572,7	594,6	616,5	638,3	660,1	681,9	703,7
-40	0,515	380,0	388,5	397,0	405,5	414,0	422,5	431,0	447,9	464,8	411,6	498,5	515,3	532,1	548,9
-35	0,661	301,3	308,0	314,6	321,3	327,9	334,6	341,2	354,5	387,7	320,9	394,1	407,2	420,3	433,4
-30	0,839	241,4	246,7	252,0	257,3	262,6	267,9	273,1	283,6	294,1	304,5	315,0	325,4	335,8	346,2
-25	1,053	195,4	199,7	203,0	208,2	212,4	216,6	220,9	229,3	237,7	246,7	254,4	262,7	271,1	279,4
-20	1,307	159,6	163,1	166,5	170,0	173,1	176,8	180,2	187,1	193,9	200,7	207,5	214,2	220,9	227,7
-15	1,609	131,5	134,3	137,1	140,0	142,8	145,6	148,4	154,0	159,6	165,2	170,7	176,2	181,7	187,2
-10	1,962	109,1	111,5	113,8	116,2	118,5	120,9	123,2	127,8	132,4	137,0	141,6	146,1	150,7	155,2
-5	2,374	91,20	93,19	95,16	97,13	97,13	101,0	103,0	106,7	110,7	114,5	118,3	122,2	125,9	129,7
0	2,850	76,73	78,41	80,08	81,75	83,40	85,05	86,69	89,96	93,20	96,43	99,64	102,8	106,0	109,2
5	3,397	64,94	66,38	67,01	69,23	70,64	72,04	73,44	76,22	78,97	81,71	84,43	87,13	89,33	92,51
10	4,022	55,27	56,51	57,73	58,95	60,17	61,37	62,57	64,96	63,38	69,66	71,98	74,29	76,59	78,88
15	4,732	47,27	48,34	49,11	50,47	51,52	52,57	53,60	55,67	57,70	59,12	61,72	63,71	66,68	67,65
29	5,535	40,61	41,15	42,49	43,41	44,31	45,24	46,15	47,94	49,71	51,46	53,20	54,92	56,63	58,33
25	6,438	35,03	35,86	36,69	37,50	38,31	39,11	39,01	41,48	43,03	44,57	46,08	47,59	49,08	50,55
30	7,450	30,33	31,07	31,80	32,53	33,25	33,96	34,66	36,05	37,42	38,77	40,10	41,42	42,73	44,02
35	8,578	26,34	27,01	27,67	28,32	28,96	29,59	30,22	31,45	32,67	33,86	35,04	36,21	37,36	38,50
40	9,833	22,94	23,55	24,14	24,73	25,31	25,88	26,44	27,55	28,63	29,70	30,75	31,78	32,80	33,82
45	11,223	20,03	20,59	21,13	21,60	22,18	22,67	23,21	24,20	25,18	26,14	27,07	28,00	28,91	29,82
50	12,757	17,53	18,04	18,54	19,02	19,50	19,97	21,34	22,22	23,08	23,08	25,93	24,76	25,58	26,38
55	14,446	15,36	15,83	16,29	16,74	17,18	17,61	18,04	18,88	19,66	20,45	21,21	21,96	22,70	23,43
60	16,300	13,47	13,92	14,35	14,77	15,17	15,57	15,96	16,72	17,45	18,17	18,12	19,54	20,21	20,87
65	18,330	11,82	12,24	12,65	13,04	13,42	13,80	41,16	14,86	15,53	16,16	16,82	17,44	18,05	18,65
70	20,547	10,37	10,78	11,17	11,54	11,90	12,24	12,58	13,23	13,85	14,46	15,04	15,61	16,17	16,71
75	22,963	9,09	9,49	9,86	10,21	10,56	10,88	11,20	11,81	12,39	12,94	13,48	14,01	14,52	15,02
80	25,589	7,96	8,35	8,71	9,06	9,38	9,69	10,56	11,10	11,62	11,62	12,12	12,60	13,07	13,53
85	28,440	6,94	7,34	7,70	8,03	8,34	8,64	8,92	9,46	9,97	10,45	10,91	11,36	11,80	12,22
90	31,529	6,03	6,44	6,80	7,12	7,43	7,71	7,98	8,49	8,97	9,42	9,85	9,85	10,67	11,07
95	34,868	5,19	5,63	5,99	6,31	6,62	6,89	7,15	7,64	8,09	8,51	8,92	9,31	9,68	10,04
100	38,476	4,41	4,90	5,28	5,61	5,90	6,17	6,42	6,88	7,31	7,71	8,09	8,45	8,80	9,14

Temper. saturac. ºC	Presión saturac. bar	FREON FX 56.- SOBRECALENTAMIENTO (ºC), ENTROPIA (kJ/kgºC)													
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
-100	0,007	2,008	2,022	2,037	2,051	2,065	2,079	2,093	2,120	2,147	2,173	2,198	2,224	2,248	2,273
-90	0,017	1,954	1,989	1,983	1,997	2,011	2,024	2,038	2,064	2,091	2,116	2,141	2,166	2,191	2,215
-80	0,040	1,910	1,924	1,988	1,952	1,965	1,979	1,992	2,018	2,044	2,069	2,094	2,118	2,143	2,166
-70	0,085	1,874	1,888	1,901	1,915	1,928	1,911	1,954	1,980	2,005	2,030	2,054	2,079	2,102	2,126
-60	0,165	1,844	1,857	1,871	1,884	1,897	1,910	1,923	1,948	1,973	1,997	2,921	2,045	2,068	2,092
-50	0,301	1,819	1,832	1,845	1,858	1,871	1,000	1,896	1,921	1,946	1,970	1,994	2,017	2,040	2,063
-45	0,396	1,808	1,821	1,834	1,847	1,860	1,872	1,885	1,910	1,984	1,958	1,982	2,005	2,028	2,061
-40	0,515	1,798	1,813	1,824	1,837	1,850	1,862	1,875	1,899	1,923	1,947	1,971	1,994	2,017	2,039
-35	0,661	1,789	1,802	1,815	1,828	1,840	1,853	1,865	1,890	1,914	1,937	1,961	1,984	2,006	2,029
-30	0,839	1,781	1,794	1,807	1,819	1,832	1,844	1,856	1,881	1,905	1,928	1,951	1,974	1,997	2,019
-25	1,053	1,774	1,786	1,799	1,812	1,824	1,835	1,849	1,873	1,896	1,920	1,943	1,966	1,988	2,010
-20	1,307	1,767	1,780	1,792	1,805	1,817	1,829	1,841	1,865	1,889	1,912	1,985	1,958	1,980	2,002
-15	1,609	1,761	1,773	1,786	1,798	1,811	1,823	1,835	1,859	1,882	1,905	1,928	1,951	1,973	1,995
-10	1,962	1,755	1,768	1,780	1,792	1,805	1,817	1,829	1,853	1,876	1,899	1,922	1,944	1,966	1,988
-5	2,374	1,750	1,762	1,775	1,787	1,799	1,811	1,823	1,847	1,870	1,893	1,916	1,938	1,960	1,982
0	2,850	1,745	1,757	1,770	1,782	1,794	1,806	1,818	1,842	1,865	1,888	1,911	1,933	1,955	1,977
5	3,397	1,740	1,753	1,766	1,778	1,790	1,802	1,814	1,837	1,860	1,883	1,906	1,928	1,950	1,971
10	4,022	1,735	1,749	1,761	1,773	1,785	1,798	1,809	1,833	1,856	1,879	1,901	1,923	1,915	1,967
15	4,732	1,732	1,745	1,757	1,769	1,782	1,794	1,805	1,829	1,852	1,875	1,897	1,919	1,941	1,962

20	5,535	1,729	1,741	1,754	1,766	1,778	1,790	1,802	1,825	1,848	1,871	1,893	1,915	1,937	1,959
25	6,438	1,725	1,738	1,750	1,762	1,775	1,787	1,798	1,822	1,845	1,868	1,890	1,912	1,934	1,955
30	7,450	1,722	1,734	1,747	1,759	1,771	1,783	1,795	1,819	1,842	1,864	1,887	1,909	1,930	1,952
35	8,578	1,719	1,731	1,744	1,756	1,768	1,780	1,792	1,816	1,839	1,861	1,884	1,906	1,927	1,918
40	9,833	1,715	1,728	1,741	1,753	1,765	1,777	1,789	1,813	1,836	1,859	1,881	1,903	1,924	1,946
45	11,223	1,712	1,725	1,737	1,750	1,762	1,774	1,786	1,810	1,833	1,856	1,878	1,900	1,922	1,943
50	12,757	1,708	1,721	1,734	1,747	1,759	1,772	1,784	1,807	1,831	1,853	1,876	1,898	1,919	1,940
55	14,446	1,705	1,718	1,731	1,744	1,756	1,769	1,781	1,805	1,828	1,851	1,873	1,895	1,917	1,938
60	16,300	1,701	1,715	1,728	1,741	1,753	1,766	1,778	1,802	1,826	1,802	1,871	1,893	1,915	1,936
65	18,330	1,697	1,711	1,724	1,737	1,750	1,763	1,775	1,800	1,823	1,846	1,869	1,891	1,913	1,934
70	20,549	1,692	1,707	1,720	1,734	1,747	1,760	1,772	1,797	1,821	1,844	1,867	1,889	1,911	1,982
75	22,963	1,687	1,702	1,716	1,730	1,744	1,757	1,769	1,794	1,818	1,842	1,865	1,887	1,909	1,930
80	25,589	1,681	1,697	1,712	1,726	1,740	1,753	1,766	1,792	1,816	1,839	1,862	1,885	1,907	1,928
85	28,440	1,675	1,691	1,707	1,722	1,736	1,750	1,763	1,789	1,813	1,837	1,860	1,883	1,905	1,928
90	31,529	1,656	1,685	1,701	1,717	1,732	1,745	1,760	1,786	1,811	1,835	1,658	1,881	1,903	1,925
95	34,867	1,656	1,677	1,696	1,712	1,727	1,742	1,756	1,783	1,808	1,833	1,856	1,879	1,901	1,923
100	38,476	1,643	1,668	1,688	1,706	1,722	1,737	1,752	1,779	1,805	1,830	1,854	1,877	1,899	1,921

Temper. saturac. ºC	Presión saturac. bar	FREON FX 56.- SOBRECALENTAMIENTO (ºC), ENTALPIA (kJ/kg)													
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
-100	0,007	345,4	347,9	350,5	353,2	355,9	358,6	361,4	367,0	372,8	378,8	384,9	391,2	397,6	404,1
-90	0,017	350,5	353,2	355,8	358,6	361,3	354,2	367,0	372,8	378,8	384,9	391,2	397,6	404,1	410,8
-80	0,040	355,8	358,5	361,3	364,2	367,0	369,9	372,8	378,7	384,9	391,1	397,5	404,1	410,8	417,5
-70	0,085	361,2	364,0	366,9	369,8	372,7	375,7	378,7	384,8	391,1	397,5	404,0	410,7	417,6	424,5
-60	0,165	366,7	369,6	372,6	375,5	378,5	381,6	384,7	393,9	397,4	403,9	410,6	417,5	424,4	431,5
-50	0,301	372,3	375,3	378,3	381,4	384,4	387,6	390,7	397,2	403,7	410,4	417,3	424,3	431,4	438,6
-45	0,396	375,1	378,1	381,2	384,3	387,4	390,6	393,8	409,3	406,9	413,7	420,6	427,7	434,9	442,2
-40	0,515	377,9	381,0	384,1	387,2	390,4	393,6	396,8	403,4	410,2	417,0	424,0	431,2	438,4	445,8
-35	0,661	380,7	383,9	387,0	390,2	393,4	396,6	399,9	405,6	413,4	420,3	427,4	434,6	441,9	449,4
-30	0,839	383,5	386,7	380,9	393,1	396,4	399,7	403,0	409,7	416,6	423,6	430,8	438,1	445,5	453,0
-25	1,053	386,4	389,6	392,8	396,1	399,4	403,7	405,0	412,9	419,8	426,9	434,2	441,5	449,0	456,6
-20	1,307	389,1	392,4	395,7	399,0	402,3	405,7	409,1	416,0	423,1	430,3	437,6	445,0	452,6	460,2
-15	1,609	391,9	395,2	398,5	401,9	405,3	408,7	412,2	419,2	426,3	433,6	440,9	448,5	456,1	463,2
-10	1,962	394,7	398,0	401,4	404,8	408,2	411,7	415,2	422,3	429,5	436,8	444,3	451,9	459,6	467,4
-5	2,374	397,4	400,8	404,2	407,6	411,1	414,6	418,2	425,4	432,7	440,1	447,7	455,3	463,1	471,0
0	2,850	400,0	403,5	407,0	410,5	414,0	417,6	421,2	428,4	435,8	443,4	451,0	458,8	466,6	474,5
5	3,397	402,7	406,2	409,7	413,3	416,9	420,5	424,1	431,5	439,0	446,6	454,3	452,2	470,1	478,2
10	4,022	405,2	408,8	412,4	416,0	419,7	423,3	427,0	434,5	442,1	449,8	457,6	465,5	473,5	481,7
15	4,732	407,8	411,4	415,0	418,7	422,4	426,1	429,9	437,5	445,2	453,0	460,9	468,9	477,0	485,2
29	5,535	410,2	413,9	417,6	421,3	425,1	428,9	432,7	440,4	448,2	456,1	464,1	472,2	480,4	488,7
25	6,438	412,6	416,3	420,1	423,9	427,7	431,6	435,5	443,3	451,2	459,2	467,3	475,5	483,8	492,2
30	7,450	414,8	418,7	422,5	426,4	430,3	434,2	438,2	446,1	454,1	462,2	470,4	478,7	487,1	495,5
35	8,578	417,0	420,9	424,9	428,8	432,8	436,8	440,8	448,9	457,0	465,2	473,5	481,9	490,4	499,0
40	9,833	419,1	423,1	427,1	431,2	435,2	439,3	443,3	451,5	459,8	468,2	476,5	485,1	493,7	502,4
45	11,223	421,0	425,1	429,2	433,4	437,5	441,7	445,8	454,2	462,6	471,0	479,6	488,2	496,9	505,7
50	12,757	422,8	427,0	431,2	435,5	439,7	443,9	448,2	456,7	465,2	473,8	482,5	491,2	500,0	508,9
55	14,446	424,4	428,7	433,1	437,4	441,8	446,1	450,4	459,1	467,8	476,6	485,4	494,2	503,1	512,1
60	16,300	425,8	430,3	434,8	439,3	443,7	448,2	452,6	461,4	470,3	479,2	488,2	497,1	506,2	515,3
65	18,330	426,9	431,7	436,3	440,9	445,5	450,1	454,6	463,7	472,7	481,8	490,9	500,0	509,1	518,4
70	20,549	427,8	432,8	437,6	442,4	447,1	451,8	456,5	486,8	475,0	454,3	493,5	502,8	512,1	521,4
75	22,963	428,4	433,6	438,7	443,7	448,5	453,5	458,3	467,8	477,2	486,6	406,1	505,5	514,9	524,4
80	25,589	428,6	434,2	439,5	444,7	449,9	454,9	459,8	469,6	479,3	488,9	498,5	508,1	517,7	527,3
85	28,440	428,3	434,3	440,1	445,6	450,9	456,1	461,3	471,4	481,3	491,1	500,9	510,6	520,4	530,1
90	31,529	427,3	434,0	440,2	446,1	451,7	457,2	462,5	472,9	483,2	498,2	503,2	513,1	523,0	532,9
95	34,867	425,5	433,2	440,0	446,3	452,3	458,0	463,6	474,4	484,9	496,2	505,4	515,5	525,6	535,6
100	38,476	422,5	431,8	439,4	446,2	452,6	458,6	464,5	475,7	486,5	497,1	507,5	517,8	528,1	538,3

CARACTERISTICAS TERMODINAMICAS DEL FREON FX 57

VAPOR HÚMEDO

Presión absol. bars	Presión relativa bars	Temper. saturac. ºC	LIQUIDO					VAPOR				
			Volumen específico m^3/kg	Peso específ. kg/dm^3	Entalp. kJ/kg	Entropía kJ/kg^oK	Temper. rocío ºC	Volumen específico m^3/kg	Peso específ. kg/dm^3	Entalp. kJ/kg	Entropía kJ/kg^oK	Calor latente kJ/kg
0,313	-0,7	-58,9	0,67495	1,4816	138,5	0,748	-51,0	0,60351	1,667	371,4	1,819	232,8
0,413	-0,6	-53,8	0,68105	1,4683	143,4	0,771	-46,0	0,46642	2,144	374,1	1,808	230,7
0,513	-0,5	-49,7	0,68620	1,4573	147,5	0,789	-41,9	0,38124	2,623	376,4	1,799	228,9
0,613	-0,4	-46,2	0,69070	1,4478	151,0	0,805	-38,4	0,32300	3,096	378,3	1,792	227,3
0,713	-0,3	-43,1	0,69478	1,4393	154,1	0,818	-35,3	0,28066	3,563	380,0	1,787	225,9
0,813	-0,2	-40,3	0,69842	1,4318	156,9	0,830	-32,6	0,24839	4,026	381,5	1,782	224,7
0,913	-0,1	-37,8	0,70185	1,4248	159,4	0,841	-30,1	0,22297	4,485	382,9	1,778	223,5
1,013	0	-35,6	0,70502	1,4184	161,7	0,851	-27,8	0,20239	4,941	384,1	1,774	222,4
1,113	0,1	-33,4	0,70796	1,4125	163,9	0,860	-25,7	0,18536	5,395	385,3	1,771	221,4
1,213	0,2	-31,5	0,71078	1,4069	166,0	0,869	-23,8	0,17106	5,846	386,4	1,768	220,4
1,313	0,3	-29,6	0,71342	1,4017	167,9	0,876	-21,9	0,15886	6,295	387,4	1,766	219,5
1,413	0,4	-27,9	0,71597	1,3967	169,7	0,884	-20,2	0,14832	6,742	388,3	1,763	218,6
1,513	0,5	-26,2	0,71844	1,3919	171,4	0,891	-18,6	0,13914	7,187	389,2	1,761	217,8
1,613	0,6	-24,7	0,72077	1,3874	173,1	0,897	-17,0	0,13104	7,631	390,0	1,759	217,0
1,713	0,7	-23,2	0,72301	1,3831	174,6	0,904	-15,5	0,12386	8,073	390,8	1,757	216,2
1,813	0,8	-21,7	0,73522	1,3780	176,1	0,910	14,1	0,11745	8,514	391,6	1,756	215,4
1,913	0,9	-20,4	0,72733	1,3749	177,6	0,915	-12,8	0,11167	8,955	392,3	1,754	214,7
2,013	1	-19,1	0,72934	1,3711	179,0	0,921	-11,5	0,10645	9,394	393,0	1,753	214,0
2,513	1,5	-13,2	0,73883	1,3535	185,4	0,946	-5,6	0,08638	11,577	396,1	1,746	210,7
3,013	2	-8,1	0,74727	1,3382	190,9	0,966	-4,7	0,07274	13,747	398,7	1,741	207,8
3,513	2,5	-3,7	0,75500	1,3245	195,8	0,985	3,7	0,06286	15,909	400,9	1,737	205,1
4,013	3	0,3	0,76225	1,3119	200,3	1,001	7,6	0,05535	18,067	402,9	1,733	202,5
4,513	3,5	3,9	0,76905	1,3003	204,5	1,016	11,2	0,04945	20,224	404,6	1,730	200,2
5,013	4	7,2	0,77549	1,2895	208,3	1,030	14,5	0,04468	22,383	406,2	1,728	197,9
5,513	4,5	10,3	0,78168	1,2793	211,9	1,042	17,5	0,04074	24,547	407,6	1,725	195,7
6,013	5	13,2	0,78765	1,2696	215,3	1,054	20,3	0,03743	26,716	408,9	1,723	193,6
6,513	5,5	15,9	0,79340	1,2604	218,6	1,065	23,0	0,03461	28,802	410,1	1,721	191,6
7,013	6	18,5	0,79898	1,2516	221,7	1,076	25,5	0,08218	31,076	411,3	1,719	189,6
7,513	6,5	20,9	0,80444	1,2431	224,6	1,086	27,8	0,03006	33,270	412,3	1,717	187,7
8,013	7	23,2	0,80978	1,2349	227,5	1,095	30,1	0,02818	35,474	413,2	1,716	185,8
8,513	7,5	25,4	0,81500	1,2270	230,2	1,104	32,2	0,02653	37,600	414,1	1,714	183,9
9,013	8	27,5	0,82014	1,2193	232,9	1,113	34,3	0,02505	39,918	415,0	1,713	182,1
9,513	8,5	29,5	0,82522	1,2118	235,4	1,121	36,2	0,02372	42,159	415,7	1,711	180,3
10,013	9	31,5	0,83022	1,2045	237,9	1,129	38,1	0,02252	44,414	416,5	1,710	178,5
10,513	9,5	33,4	0,83514	1,1974	240,4	1,137	39,9	0,02142	46,683	417,2	1,709	176,8
11,013	10	35,2	0,83998	1,1905	242,7	1,145	41,7	0,03942	48,067	417,8	1,707	175,1
16,013	15	50,7	0,88731	1,1270	263,8	1,210	56,6	0,01374	72,802	422,4	1,696	158,6
21,013	20	62,9	0,93493	1,0696	282,0	1,264	68,2	0,01011	98,924	424,7	1,685	142,6
26,013	25	73,3	0,98639	1,0138	298,8	1,311	78,0	0,00780	128,192	425,1	1,673	126,3
31,013	30	82,3	1,04592	0,9561	314,9	1,355	86,3	0,00618	161,005	424,0	1,660	109,1

Temper. saturac. ºC	Presión saturac. bars	FREON FX 57.- SOBRECALENTAMIENTO (ºC), VOLUMEN ESPECIFICO dm^3/kg													
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
-100	0,007	20035	20615	21194	21774	22353	22932	23511	24670	25827	26986	28144	29302	30460	31618
-90	0,019	8135	8358	8681	8803	9026	9249	9471	9917	10361	10887	11252	11697	12142	12586
-80	0,045	3695	3793	3889	3985	4081	4177	4274	4466	4658	4850	5043	5235	5427	5619
-70	0,094	1844	1890	1936	1982	2027	2073	2119	2211	2002	2304	2485	2577	2668	2759
-60	0,183	994,5	1018	1042	1066	1089	1113	1136	1184	1232	1279	1326	1374	1421	1468
-50	0,331	572,6	585,8	599,1	612,3	625,5	638,6	651,8	678,2	704,5	730,7	757,0	783,2	809,4	835,6
-45	0,436	443,8	453,9	484,0	474,1	484,2	494,3	504,3	524,4	544,5	564,5	564,5	604,5	624,5	644,5
-40	0,565	348,4	356,2	364,0	371,9	379,7	387,5	395,2	410,8	426,3	441,8	457,3	472,8	488,2	503,6
-35	0,724	276,7	282,8	289,0	295,1	301,2	307,3	313,5	325,7	337,8	350,0	362,1	374,2	386,3	398,4

-30	0,917	222,1	227,0	231,8	236,7	241,7	246,5	251,3	261,0	270,7	280,3	281,0	299,6	309,2	318,7
-25	1,144	180,0	183,9	187,9	191,8	195,7	199,6	203,6	211,3	219,1	226,9	234,6	242,3	250,0	257,6
-20	1,425	147,2	150,4	153,6	156,8	160,0	163,2	166,4	172,7	179,0	185,3	191,6	197,8	204,1	210,3
-15	1,750	121,4	124,1	126,7	129,3	132,0	134,6	137,2	142,4	147,6	152,7	157,9	163,0	168,1	173,2
-10	2,131	100,9	103,1	105,3	107,5	109,7	111,9	114,0	118,3	122,6	126,9	131,2	135,4	139,6	143,8
-5	2,574	81,44	88,29	88,14	89,98	91,81	93,64	95,45	98,09	102,1	106,2	109,8	113,3	116,9	120,3
0	3,685	71,12	72,70	74,26	75,82	77,37	78,92	80,45	83,60	86,54	89,55	92,55	95,53	98,50	101,4
5	3,672	60,26	61,61	62,95	64,28	65,61	66,92	68,23	70,84	73,42	75,98	78,53	81,06	83,58	85,00
10	4,341	51,33	52,49	53,65	54,80	55,94	57,08	58,20	60,44	62,67	64,85	67,03	69,20	71,35	73,50
15	5,100	43,94	44,95	45,96	46,96	47,95	48,90	49,91	51,85	53,77	55,66	57,55	59,41	61,27	63,10
20	5,957	37,77	38,67	39,55	40,43	41,30	42,16	43,01	44,70	46,37	48,02	49,66	51,28	52,89	54,48
25	6,920	33,40	34,18	34,96	35,72	36,43	37,23	38,72	40,19	41,63	43,06	44,48	45,80	45,90	47,27
30	7,997	28,25	23,95	29,65	30,34	31,02	31,70	32,30	33,68	34,98	36,25	37,51	38,76	39,99	41,20
35	9,107	24,54	25,18	25,81	26,43	27,04	27,64	28,24	29,41	30,57	31,70	32,82	33,92	35,01	36,10
40	10,521	21,39	21,97	22,54	23,10	23,65	24,11	24,73	25,78	26,81	27,83	28,82	29,80	30,77	31,70
45	12,003	18,68	19,21	19,73	20,24	20,74	21,23	21,72	22,67	23,60	24,51	25,40	26,28	27,15	28,00
50	13,630	16,34	16,83	17,31	17,78	18,24	18,69	19,13	20,00	20,84	21,67	22,47	23,26	24,04	24,80
55	15,417	14,32	14,78	15,22	15,66	16,08	16,50	16,90	17,69	18,46	19,21	19,94	20,65	21,76	22,10
60	17,377	12,55	12,99	13,41	13,81	14,21	14,59	14,96	15,69	16,40	17,08	17,74	18,39	19,03	19,60
65	19,521	11,01	11,42	11,82	12,20	12,57	12,93	13,28	13,95	14,60	15,23	15,84	16,43	17,01	17,60
70	21,860	9,65	10,05	10,43	10,79	11,14	11,48	11,81	12,43	13,93	13,61	14,17	14,72	15,25	15,70
75	24,406	8,45	8,84	9,21	9,56	9,89	10,21	10,52	11,10	11,66	12,20	12,72	13,22	13,71	14,20
80	27,173	7,38	7,77	8,13	8,41	8,79	9,09	9,38	9,93	10,46	10,96	11,44	11,90	12,35	12,80
95	36,931	4,74	5,21	5,58	5,90	6,20	6,47	6,73	7,20	7,84	8,05	8,44	8,81	9,17	9,50

Freón R-22	
Monoclorodifluorometano	$CHClF_2$
Masa molar	*86,48 (gr/mol)*
Temperatura de fusión	*-160 ºC*
Temperatura de ebullición a 1 atm	*-40,1 ºC*
Temperatura crítica	*96 ºC*
Presión crítica	*49,77 (bar abs)*
Calor específico líquido a 30ºC	*1,3 (kJ/kg)*
Calor específico vapor a 30ºC y 1 atm	*0,636 (kJ/kg)*
Coeficiente adiabático a 30ºC y 1 atm	*1,177*
Viscosidad del líquido a 30ºC	*0,194 (10^3 pa/s)*
Tensión superficial a 30ºC	*7 ,4.10^3 N/m*
Rigidez dieléctrica a 23ºC y 1 atm	*1,3*
Indice de Kauri-Butanol	*25*

PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL FREON R-22

VAPOR HUMEDO											
Temper. saturac. ºC	*Presión absoluta bar*	*Presión relativa bar*	*Volumen específico*		*Peso específico*		*Entalpía*		*Calor latente kJ/Kg*	*Entropía*	
			Líquido dm^3/kg	*Vapor m^3/kg*	*Líquido kg/dm^3*	*Vapor kg/m^3*	*Líquido kJ/kg*	*Vapor kJ/kg*		*Líquido kJ/kgºK*	*Vapor kJ/kgºK*
-100	0,02	-0,993	0,636	8,008	1,570	0,124	95,870	359,35	263,48	0,5310	2,0526
-90	0,048	-0,965	0,647	3,581	1,545	0,279	105,32	364,23	268,91	0,5840	1,9976
-80	0,104	-0,909	0,658	1,763	1,519	0,567	114,90	369,15	254,25	0,6349	1,9512
-70	0,205	-0,808	0,669	0,9409	1,493	1,062	124,66	374,08	249,42	0,6841	1,9118
-65	0,279	-0,734	0,675	0,7055	1,479	1,417	129,62	376,54	246,92	0,7082	1,8944
-60	0,374	-0,639	0,682	0,5372	1,466	1,861	134,63	378,98	244,35	0,7320	1,8783
-55	0,494	-0,519	0,688	0,4148	1,452	2,410	139,71	381,41	241,70	0,7555	1,8634
-50	0,643	-0,370	0,695	0,3246	1,438	3,080	144,85	383,81	238,96	0,7788	1,8496
-45	0,827	-0,186	0,702	0,2670	1,424	3,891	150,05	386,18	236,13	0,8018	1,8367
-41	1,002	-0,011	0,707	0,2149	1,412	4,653	154,27	388,05	233,78	0,8200	1,8270
-40	1,049	0,036	0,709	0,2057	1,409	4,861	155,32	388,52	233,20	0,8245	1,8247
-35	1,317	0,304	0,716	0,1664	1,395	6,009	160,66	390,82	230,16	0,8471	1,8135
-30	1,636	0,622	0,724	0,1358	1,380	7,363	166,07	393,07	227,00	0,8695	1,8030
-25	2,01	0,997	0,732	0,1119	1,365	8,936	171,55	395,27	223,72	0,8917	1,7932
-20	2,448	1,435	0,740	0,09284	1,349	10,771	177,10	397,42	220,32	0,9137	1,7840
-15	2,957	1,944	0,749	0,07763	1,334	12,881	182,71	399,51	216,80	0,9355	1,7753
-10	3,543	2,53	0,758	0,06534	1,317	15,304	188,40	401,53	213,13	0,9572	1,7670
-5	4,213	3,20	0,768	0,05534	1,301	18,070	194,16	403,48	209,32	0,9787	1,7592
0	4,976	3,96	0,778	0,04714	1,284	21,213	200,00	405,36	205,36	1,0000	1,7518
5	5,838	4,83	0,788	0,04036	1,267	24,777	205,91	407,15	201,24	1,0212	1,7447
10	6,807	5,79	0,800	0,03471	1,250	28,810	211,90	408,86	196,96	1,0423	1,7378
15	7,891	6,88	0,811	0,02999	1,231	33,344	217,98	410,47	192,49	1,0632	1,7312
20	9,099	8,09	0,824	0,02600	1,213	38,461	224,14	411,97	187,83	1,0841	1,7248
25	10,44	9,43	0,837	0,02262	1,193	44,208	230,40	413,36	182,96	1,1049	1,7185
30	11,92	10,90	0,851	0,01974	1,173	50,658	236,75	414,62	177,87	1,1256	1,7123
35	13,55	12,53	0,867	0,01727	1,153	57,903	243,22	415,73	172,51	1,1463	1,7061
40	15,34	14,32	0,883	0,01514	1,131	66,050	249,81	416,69	166,88	1,1670	1,6999
45	17,29	16,27	0,902	0,01328	1,108	75,301	256,54	417,45	160,91	1,1878	1,6935
50	19,42	18,40	0,921	0,01167	1,084	85,689	263,43	418,01	154,58	1,2087	1,6870
55	21,74	20,72	0,944	0,01025	1,059	97,550	270,51	418,31	147,80	1,2297	1,6801
60	24,27	23,25	0,968	0,009001	1,032	111,10	277,81	418,30	140,49	1,2511	1,6728
65	27,00	25,98	0,997	0,007887	1,003	126,79	285,38	417,93	132,55	1,2728	1,6648
70	29,96	28,94	1,030	0,006889	0,970	145,16	293,30	417,07	123,77	1,2952	1,6559
75	33,16	32,14	1,069	0,005983	0,936	167,14	301,65	415,59	113,94	1,3185	1,6466
80	36,62	35,60	1,118	0,005149	0,894	194,21	310,74	413,22	102,48	1,3432	1,6334
85	40,37	39,35	1,183	0,004358	0,845	229,46	320,85	409,45	88,60	1,3704	1,6178
90	44,43	43,41	1,282	0,003564	0,780	280,58	332,99	403,03	70,04	1,4027	1,5956
95	48,83	47,81	1,521	0,002651	0,657	392,00	352,17	387,12	34,95	1,4535	1,5484
96	43,77	48,75	1,906	0,001906	0,524	524,66	368,38	368,38	0,00	1,4970	1,4970

Temper. saturac. ºC	Presión saturac. bar	R-22.- SOBRECALENTAMIENTO (ºC), VOLUMEN ESPECIFICO dm^3/kg													
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
-100	0,02	8015	8248	8481	8714	8945	9179	9411	9876	10340	10810	11270	11730	12203	12660
-90	0,05	3583	3582	3781	3880	3979	4078	4177	4374	4571	4769	4966	5163	5360	5556
-80	0,10	1764	1811	1858	1904	1951	1997	2044	2137	2229	2322	2415	2507	2600	2692
-70	0,21	941,5	985,5	989,6	1014	1037	1081	1085	1133	1180	1228	1275	1323	1370	1417
-65	0,28	705,8	723,6	741,4	759,1	776,7	794,4	812	847,1	882,1	917	951,9	986,7	1021	1056
-60	0,37	537,4	550,8	564,1	577,4	550,3	603,9	617,1	643,5	669,7	695,9	722,0	748	774,0	800
-55	0,49	415,0	425,2	435,4	445,5	455,7	465,8	475,9	496,0	515,9	535,9	555,7	575,5	595,3	615
-50	0,64	324,7	332,6	340,5	348,4	356,3	364,1	371,9	387,4	402,9	418,3	433,6	448,9	464,1	479,4
-45	0,83	257,1	263,4	269,6	275,8	282,0	288,1	294,2	306,4	318,5	330,6	342,5	354,5	366,5	378,4
-41	1,00	215,0	220,2	225,4	230,6	235,7	240,9	246,0	258,1	256,1	276,2	285,1	295	305,9	315,8
-40	1,05	205,8	210,8	215,8	220,7	225,7	230,6	235,4	245,1	254,7	264,3	273,2	283,3	292,7	302,2
-35	1,32	185,5	170,5	174,5	178,5	182,5	186,4	190,4	198,2	205,9	213,6	221,2	228,8	236,4	243,9
-30	1,63	135,9	39,2	142,5	145,8	149,0	152,2	155,4	151,8	168,1	174,3	180,5	186,7	192,8	198,5
-25	2,01	111,9	114,6	117,4	120,1	122,7	125,4	128,0	133,3	138,4	143,5	148,7	153,7	158,7	163,7
-20	2,45	92,37	95,17	97,45	99,71	101,9	104,2	106,4	110,7	115,0	119,3	123,5	127,7	131,8	136,0
-15	2,95	77,64	79,50	81,52	83,43	85,31	87,18	89,03	92,68	95,29	99,85	103,4	106,9	110,3	113,8
-10	3,54	65,35	67,02	88,67	70,29	71,90	73,48	75,05	78,15	81,20	84,22	87,19	90,14	93,07	95,97
-5	4,21	55,35	56,79	58,21	59,60	60,58	62,34	63,69	65,34	68,95	71,91	74,05	76,56	79,04	81,50
0	4,97	47,14	48,40	49,63	50,84	52,04	53,21	54,38	55,56	58,91	61,11	63,29	65,43	67,56	69,67
5	5,84	40,38	41,46	42,54	43,60	44,65	45,67	46,59	48,67	50,62	52,53	54,41	56,27	58,10	59,51
10	6,81	34,72	35,59	36,65	37,58	38,50	35,40	40,29	42,04	43,74	45,40	47,04	48,65	50,24	51,82
15	7,89	29,99	30,87	31,71	32,54	33,35	34,18	34,94	36,49	37,98	39,44	40,87	42,29	43,88	45,05
20	9,10	26,01	26,79	27,56	28,30	29,03	29,74	30,44	31,80	33,13	34,42	35,69	36,93	38,16	39,36
25	10,44	22,63	23,34	24,03	24,71	25,35	25,99	26,62	27,84	29,03	30,18	31,30	32,40	33,49	34,55
30	11,92	19,74	20,40	21,03	21,54	22,24	22,91	23,37	24,47	25,53	26,56	27,56	28,55	29,51	30,46
35	13,55	17,27	7,88	18,45	19,02	19,56	20,08	20,59	21,58	22,54	23,47	24,37	25,25	26,11	26,96
40	15,33	15,14	15,70	16,24	16,75	17,25	17,73	18,20	19,10	19,97	20,81	21,62	22,40	23,19	23,95
45	17,29	13,29	13,82	14,32	14,90	15,25	15,70	16,13	15,95	17,74	18,51	19,25	19,96	20,67	21,35
50	19,42	11,57	12,17	12,65	13,08	13,52	13,94	14,33	15,10	15,81	16,51	17,18	17,84	18,47	19,10
55	21,74	10,25	10,74	11,19	11,61	12,01	12,40	12,77	13,47	14,13	14,77	15,39	15,98	16,57	17,13
60	24,26	9,002	1,471	9,902	10,30	11,39	11,04	11,39	12,05	12,66	13,25	13,82	14,36	14,89	15,41
65	27,00	7,888	8,351	8,759	9,155	9,516	9,857	10,18	10,80	11,37	11,91	12,43	12,94	13,43	13,9
70	29,55	6,850	7,355	7,785	8,138	8,483	8,808	9,116	9,692	10,23	10,73	11,21	11,68	12,13	12,57
75	33,16	5,984	5,461	6,870	7,234	7,568	7,878	8,171	8,715	9,218	9,691	10,13	10,57	10,98	11,39
80	36,62	5,151	5,658	6,070	6,429	6,752	7,051	7,330	7,846	8,319	8,762	9,172	9,576	9,963	10,34

Temper. saturac. ºC	Presión saturac. bar	FREON R-22.- SOBRECALENTAMIENTO (ºC), ENTROPIA (kJ/kgºK)													
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
-100	0,02	2,503	2,067	2,081	2,095	2,108	2,121	2,135	2,161	2,186	2,211	2,235	2,259	2,282	2,305
-90	0,05	1,998	2,011	2,025	2,038	2,052	2,065	2,078	2,103	2,128	2,152	2,176	2,199	2,222	2,245
-80	0,10	1,951	1,965	1,978	1,991	2,004	2,017	2,030	2,084	2,079	2,103	2,126	2,149	2,171	2,194
-70	0,21	1,912	1,925	1,938	1,951	1,964	1,976	1,989	2,013	2,037	2,061	2,084	2,106	2,128	2,150
-65	0,28	1,895	1,908	1,921	1,933	1,946	1,958	1,971	1,995	2,019	2,042	2,065	2,087	2,109	2,131
-60	0,37	1,978	1,891	1,904	1,917	1,930	1,942	1,954	1,978	2,002	2,025	2,048	2,070	2,092	2,113
-55	0,49	1,863	1,876	1,889	1,902	1,914	1,927	1,939	1,963	1,986	2,009	2,032	2,054	2,076	2,097
-50	0,64	1,850	1,863	1,875	1,888	1,900	1,912	1,925	1,948	1,972	1,994	2,017	2,039	2,061	2,082
-45	0,83	1,937	1,850	1,862	1,875	1,887	1,899	1,911	1,935	1,958	1,981	2,003	2,025	2,047	2,068
-41	1,00	1,827	1,840	1,853	1,865	1,877	1,889	1,901	1,925	1,948	1,971	1,993	2,015	2,036	2,058
-40	1,05	1,925	1,838	1,850	1,863	1,875	1,887	1,899	1,923	1,946	1,968	1,991	2,012	2,034	2,055
-35	1,32	1,814	1,826	1,839	1,851	1,864	1,876	1,888	1,911	1,934	1,957	1,979	2,001	2,022	2,043
-30	1,53	1,803	1,816	1,828	1,841	1,853	1,865	1,877	1,901	1,924	1,946	1,968	1,990	2,011	2,032
-25	2,01	1,793	1,806	1,819	1,831	1,843	1,855	1,867	1,891	1,914	1,936	1,958	1,980	2,001	2,022
-20	2,45	1,784	1,797	1,809	1,822	1,834	1,846	1,858	1,882	1,904	1,927	1,949	1,970	1,991	2,012
-15	2,98	1,775	1,788	1,801	1,813	1,826	1,838	1,850	1,873	1,896	1,918	1,940	1,962	1,983	2,003
-10	3,54	1,767	1,780	1,793	1,805	1,818	1,830	1,842	1,865	1,888	1,910	1,932	1,954	1,975	1,995
-5	4,21	1,759	1,772	1,785	1,798	1,810	1,822	1,834	1,858	1,880	1,903	1,925	1,948	1,967	1,988

0	4,97	1,752	1,765	1,778	1,790	1,803	1,815	1,827	1,851	1,873	1,996	1,918	1,939	1,960	1,981
5	5,84	1,745	1,758	1,771	1,784	1,796	1,808	1,820	1,844	1,867	1,889	1,911	1,933	1,953	0,974
10	6,81	1,738	1,751	1,764	1,777	1,790	1,802	1,814	1,838	1,861	1,883	1,905	1,926	1,947	1,968
15	7,89	1,731	1,745	1,758	1,771	1,784	1,796	1,808	1,832	1,855	1,878	1,899	1,921	1,942	1,962
20	9,10	1,725	1,739	1,752	1,765	1,778	1,790	1,803	1,827	1,890	1,872	1,894	1,916	1,936	1,957
25	10,44	1,719	1,733	1,746	1,759	1,772	1,785	1,797	1,821	1,845	1,867	1,889	1,911	1,932	1,952
30	11,92	1,712	1,727	1,740	1,754	1,767	1,780	1,792	1,816	1,840	1,862	1,885	1,905	1,927	1,947
35	13,55	1,706	1,721	1,735	1,749	1,762	1,775	1,787	1,812	1,835	1,858	1,880	1,902	1,923	1,943
40	15,33	1,700	1,709	1,729	1,743	1,757	1,770	1,783	1,807	1,831	1,854	1,876	1,897	1,919	1,939
45	17,29	1,694	1,303	1,724	1,738	1,752	1,765	1,778	1,803	1,827	1,850	1,872	1,894	1,915	1,935
50	19,42	1,687	1,697	1,718	1,733	1,747	1,760	1,773	1,799	1,823	1,846	1,868	1,890	1,911	1,932
55	21,74	1,680	1,727	1,713	1,727	1,742	1,756	1,769	1,794	1,819	1,842	1,865	1,886	1,908	1,928
60	24,26	1,673	1,690	1,707	1,722	1,737	1,751	1,764	1,790	1,815	1,838	1,861	1,883	1,904	1,925
65	27,00	1,665	1,683	1,701	1,717	1,732	1,746	1,760	1,786	1,811	1,835	1,858	1,880	1,901	1,922
70	29,96	1,656	1,668	1,694	1,711	1,726	1,741	1,755	1,782	1,807	1,831	1,854	1,876	1,898	1,919
75	33,16	1,646	1,676	1,687	1,705	1,721	1,736	1,751	1,778	1,804	1,828	1,851	1,873	1,895	1,916
80	36,62	1,634	1,659	1,680	1,698	1,715	1,731	1,746	1,774	1,800	1,824	1,848	1,870	1,892	1,913

Temper. saturac. °C	Presión saturac. bar	FREON R-22.- SOBRECALENTAMIENTO (°C), ENTALPIA (kJ / kg)													
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
-100	0,02	359,3	361,8	364,4	366,9	369,5	372,1	374,8	380,2	385,7	391,3	397,1	403,0	409,0	415,1
-90	0,05	364,2	366,8	369,4	372,0	374,7	377,3	380,1	385,6	391,3	397,0	402,9	409,0	415,1	421,4
-80	0,10	369,1	371,8	374,5	377,2	379,9	382,6	385,4	391,1	396,9	402,8	408,8	415,0	421,3	427,7
-70	0,21	374,1	376,8	379,8	379,6	382,3	388,0	390,8	396,9	402,6	408,5	414,8	421,1	427,5	434,0
-65	0,28	376,5	379,3	382,1	384,9	387,8	390,6	393,5	399,7	405,4	411,5	417,8	424,2	430,6	437,2
-60	0,37	379,0	381,8	384,6	387,5	390,4	393,3	396,2	402,2	408,3	414,5	420,8	427,2	433,8	440,4
-55	0,49	381,4	384,3	387,1	390,1	393,0	396,0	398,9	405,0	411,2	417,4	423,8	430,3	436,9	443,7
-50	0,64	383,8	385,7	389,5	392,6	395,6	398,6	401,6	407,8	414,0	420,4	426,8	433,4	440,1	446,9
-45	0,83	386,2	389,1	392,1	395,1	398,2	401,2	404,3	410,5	416,9	423,3	429,8	443,2	450,1	450,1
-41	1,00	388,1	391,1	394,1	397,1	400,2	403,3	406,4	412,7	419,1	425,6	432,2	436,9	445,8	452,7
-40	1,05	388,5	391,5	394,6	397,6	400,7	403,8	406,9	413,7	419,7	426,2	432,8	439,6	446,4	453,3
-35	1,32	390,8	393,9	397,0	400,1	403,2	406,4	409,5	416,0	422,5	429,1	435,8	442,6	449,5	456,5
-30	1,63	393,1	396,2	399,4	402,5	405,7	408,9	412,2	418,7	425,3	432,0	438,8	445,7	452,7	459,8
-25	2,01	395,3	398,5	401,7	404,9	408,2	411,5	414,7	421,4	428,1	434,9	441,8	448,7	455,8	463,0
-20	2,45	397,4	400,7	404,0	407,3	410,6	413,9	417,3	424,0	430,8	437,7	444,7	451,8	458,9	466,2
-15	2,96	399,5	402,9	406,2	409,6	413,0	416,4	419,8	426,6	433,6	440,6	447,6	454,8	462,0	469,4
-10	3,54	401,5	406,2	408,4	411,9	415,3	418,8	422,2	429,2	436,3	443,4	450,5	457,8	465,1	472,5
-5	4,21	403,5	407,0	410,5	414,1	417,5	421,1	424,7	431,6	438,9	446,1	453,4	460,8	468,2	475,7
0	4,97	405,4	409,0	412,6	416,2	419,8	423,4	427,0	434,3	441,5	448,9	456,2	463,7	471,2	478,9
5	5,84	407,1	410,5	414,6	418,3	422,0	425,6	429,3	436,7	444,1	451,6	459,1	446,7	474,2	481,9
10	6,81	408,9	412,7	416,5	420,3	424,1	427,8	431,6	439,1	446,7	454,2	461,8	469,5	477,2	485,0
15	7,89	410,5	414,4	418,3	422,2	425,1	429,9	433,8	441,5	449,2	456,8	454,6	472,3	480,2	488,0
20	9,10	412,0	416,0	420,1	424,1	428,0	432,0	435,9	443,8	451,6	459,4	467,3	475,2	483,1	491,0
25	10,44	413,4	417,6	421,7	425,8	429,9	434,0	438,0	446,0	454,0	462,0	469,9	477,9	486,0	494,0
30	11,92	414,6	419,0	423,3	427,5	431,7	435,9	440,0	448,2	456,3	464,4	472,5	480,7	488,8	497,0
35	13,55	415,7	420,3	424,7	429,1	433,4	437,7	441,9	450,3	458,6	466,9	475,1	483,3	491,6	499,9
40	15,33	416,7	421,4	426,0	430,6	435,0	439,4	443,8	452,3	460,8	469,2	477,0	486,0	494,4	502,8
45	17,29	417,5	422,4	427,2	431,9	436,5	441,0	445,5	454,3	462,9	471,5	480,1	488,6	497,1	505,6
50	19,42	418,0	423,2	428,2	433,1	437,9	442,5	447,1	456,2	465,0	473,8	482,5	491,1	499,7	508,4
55	21,74	418,3	423,8	429,1	434,2	439,1	443,9	448,7	458,0	467,0	475,9	484,8	493,6	502,4	511,1
60	24,26	418,3	424,2	429,7	435,1	440,2	445,2	450,1	459,6	468,9	478,0	487,1	496,0	504,9	513,8
65	27,00	417,9	424,3	430,2	435,8	441,1	446,3	451,4	461,2	470,8	480,0	489,3	498,4	507,4	516,4
70	29,96	417,1	424,0	430,3	436,3	441,9	447,3	452,5	462,7	472,5	482,0	491,4	500,7	509,9	519,0
75	33,16	415,6	423,3	430,2	436,5	442,4	448,1	453,6	464,0	474,1	483,9	493,4	502,9	512,2	521,5
80	36,62	413,2	422,2	429,7	436,5	442,8	448,7	454,4	465,3	475,6	485,6	495,4	505,0	514,5	524,0

Freón R-123	
Diclorotrifluoretano	$CHCl_2CF_3$
Masa molar	152,92 (gr/mol)
Temperatura de fusión	-107,15 ºC
Temperatura de ebullición a 1 atm	+27,84 ºC
Temperatura crítica	183,71 ºC
Presión crítica	36,74 (bar abs)
Calor específico líquido a 30ºC	0,696 (kJ/kg)
Calor específico vapor a 30ºC y 1 atm	0,684 (kJ/kg)
Coeficiente adiabático a 30ºC y 1 atm	1,099
Viscosidad del líquido a 30ºC	0,45 (10^3 pa/s)

PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL FREON R-123

VAPOR HUMEDO											
Temper. saturac. ºC	Presión absoluta bar	Presión efectiva bar	Volumen másico		Densidad		Entalpía		Calor vaporiz kJ/kg	Entropía	
			líquido dm^3/kg	vapor m^3/kg	líquido kg/dm^3	vapor kg/m^3	líquido kJ/kg	vapor kJ/kg		líquido kJ/kgºK	vapor kJ/kgºK
-80	0,0001	-1,012	0,588	94,2993	1,7018	0,011	109,5	335,9	226,4	0,504	1,776
-70	0,0002	-1,010	0,595	35,0039	1,6806	0,029	123,2	341,1	217,9	0,673	1,746
-60	0,0078	-1,005	0,603	14,7705	1,6591	0,058	135,9	346,6	210,7	0,734	1,722
-50	0,0175	-0,996	0,611	6,9223	1,6374	0,144	147,8	352,1	204,4	0,786	1,704
-40	0,0357	-0,977	0,619	3,5379	1,6153	0,283	159,0	357,9	198,9	0,838	1,690
-30	0,0677	-0,945	0,528	1,9435	1,5929	0,515	169,7	363,7	194,0	0,883	1,680
-20	0,1206	-0,892	0,637	1,1343	1,5702	0,882	180,0	369,7	189,6	0,924	1,673
-10	0,2033	-0,810	0,646	0,6958	1,5471	1,435	190,1	375,7	185,6	0,963	1,668
0	0,3274	-0,686	0,656	0,4471	1,5235	2,237	200,0	381,8	181,8	1,000	1,666
5	0,4091	-0,604	0,662	0,3633	1,5115	2,752	204,9	384,9	180,0	1,018	1,665
10	0,5065	-0,507	0,667	0,2978	1,4995	3,358	209,9	388,0	178,1	1,035	1,665
15	0,6216	-0,391	0,672	0,2461	1,4872	4,064	214,8	391,1	176,3	1,053	1,665
20	0,7566	-0,256	0,678	0,2048	1,4749	4,882	219,8	394,2	174,5	1,070	1,665
25	0,9138	-0,099	0,684	0,1717	1,4624	5,824	224,7	397,2	172,5	1,087	1,665
27	0,9635	-0,030	0,685	0,1603	1,4573	6,238	226,7	398,6	171,8	1,093	1,666
28	1,0199	0,0069	0,687	0,1549	1,4548	6,454	227,7	399,2	171,4	1,097	1,666
30	1,0959	0,0829	0,690	0,1449	1,4497	6,903	229,8	400,4	170,7	1,103	1,666
40	1,5446	0,5316	0,702	0,1050	1,4239	9,528	239,9	406,6	166,7	1,136	1,668
50	2,1246	1,1118	0,716	0,0777	1,3972	12,877	250,3	412,8	162,5	1,168	1,671
60	2,8601	1,8471	0,730	0,0585	1,3697	17,089	260,9	418,9	158,1	1,201	1,675
70	3,7754	2,7624	0,746	0,0448	1,3412	22,322	271,7	424,9	153,3	1,232	1,679
80	4,8967	3,8837	0,762	0,0348	1,3116	28,762	282,7	430,8	148,1	1,264	1,683
90	6,2512	5,2382	0,781	0,0272	1,2805	36,631	294,0	436,6	142,6	1,295	1,688
100	7,8674	6,8544	0,801	0,0216	1,2477	46,207	305,6	442,2	136,6	1,325	1,692
110	9,7750	8,7620	0,824	0,0173	1,2129	57,843	317,3	477,5	130,2	1,357	1,696
120	12,0063	10,993	0,851	0,0139	1,1755	72,012	329,2	452,5	123,2	1,387	1,700
130	14,5055	13,589	0,881	0,0112	1,1347	89,378	341,4	457,1	115,6	1,417	1,704
140	17,5867	16,573	0,918	0,0090	1,0894	110,937	353,9	461,1	107,2	1,447	1,706
150	21,0205	20,008	0,964	0,0072	1,0376	138,301	366,9	464,4	97,5	1,477	1,708
160	24,9565	23,944	1,025	0,0057	0,9755	174,424	380,7	466,5	85,8	1,509	1,707
170	29,4621	28,449	1,118	0,0044	0,8942	225,956	396,0	466,6	70,5	1,542	1,702

Temper. saturac. ºC	Presión saturac. bar	FREON R-123.- SOBRECALENTAMIENTO (ºC), ENTROPIA (kJ/kgºK)													
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
-80	0,0011	1,776	1,789	1,802	1,815	1,828	1,841	1,854	1,879	1,904	1,928	1,952	1,976	1,999	2,022
-70	0,0032	1,746	1,759	1,772	1,785	1,797	1,810	1,823	1,847	1,872	1,896	1,919	1,943	1,965	1,988
-60	0,0078	1,722	1,735	1,748	1,761	1,773	1,786	1,798	1,822	1,846	1,870	1,893	1,916	1,938	1,960
-50	0,0175	1,704	1,717	1,729	1,742	1,754	1,766	1,779	1,803	1,826	1,849	1,872	1,895	1,917	1,939
-40	0,0357	1,693	1,703	1,715	1,728	1,740	1,752	1,764	1,787	1,810	1,833	1,856	1,878	1,900	1,921
-30	0,0677	1,685	1,693	1,705	1,717	1,729	1,741	1,752	1,776	1,798	1,821	1,843	1,865	1,886	1,908

-20	0,1205	1,673	1,685	1,697	1,709	1,721	1,733	1,744	1,767	1,789	1,812	1,833	1,855	1,876	1,897
-10	0,2033	1,668	1,680	1,692	1,704	1,715	1,727	1,738	1,761	1,783	1,805	1,826	1,847	1,868	1,889
0	0,3274	1,666	1,677	1,689	1,700	1,712	1,723	1,734	1,757	1,778	1,800	1,821	1,842	1,863	1,883
5	0,4091	1,665	1,677	1,688	1,699	1,711	1,722	1,733	1,755	1,777	1,798	1,819	1,840	1,861	1,881
10	0,5065	1,665	1,676	1,688	1,599	1,710	1,721	1,732	1,754	1,776	1,797	1,818	1,839	1,859	1,879
15	0,6216	1,665	1,675	1,687	1,699	1,710	1,721	1,732	1,754	1,775	1,796	1,817	1,838	1,858	1,878
20	0,7566	1,665	1,676	1,687	1,699	1,710	1,721	1,732	1,753	1,775	1,796	1,816	1,837	1,857	1,877
25	0,9138	1,665	1,677	1,688	1,699	1,710	1,721	1,732	1,753	1,775	1,795	1,816	1,836	1,856	1,876
27	0,9835	1,666	1,677	1,688	1,699	1,710	1,721	1,732	1,753	1,775	1,795	1,816	1,836	1,856	1,876
28	1,0199	1,666	1,677	1,688	1,699	1,710	1,721	1,732	1,754	1,775	1,795	1,816	1,836	1,856	1,876
30	1,0959	1,666	1,677	1,689	1,700	1,711	1,721	1,732	1,754	1,775	1,795	1,816	1,836	1,856	1,876
40	1,5446	1,668	1,680	1,691	1,702	1,712	1,723	1,734	1,755	1,776	1,796	1,817	1,837	1,856	1,876
50	2,1248	1,671	1,682	1,693	1,704	1,715	1,726	1,736	1,757	1,778	1,798	1,818	1,838	1,858	1,877
60	2,8601	1,679	1,686	1,697	1,708	1,718	1,729	1,739	1,750	1,781	1,801	1,821	1,840	1,860	1,879
70	3,7754	1,683	1,690	1,701	1,711	1,722	1,732	1,743	1,763	1,784	1,804	1,824	1,843	1,862	1,881
80	4,8967	1,588	1,694	1,705	1,715	1,726	1,736	1,747	1,767	1,788	1,807	1,827	1,846	1,865	1,884
90	6,2512	1,688	1,699	1,709	1,720	1,730	1,741	1,751	1,772	1,792	1,811	1,831	1,850	1,869	1,888
100	7,8674	1,692	1,703	1,714	1,724	1,735	1,745	1,756	1,776	1,796	1,816	1,835	1,854	1,873	1,892
110	9,7750	1,695	1,707	1,718	1,729	1,739	1,750	1,760	1,781	1,801	1,820	1,840	1,859	1,877	1,896
120	12,0063	1,700	1,712	1,722	1,733	1,744	1,754	1,765	1,785	1,805	1,825	1,844	1,853	1,882	1,900
130	14,5965	1,704	1,715	1,726	1,737	1,748	1,759	1,769	1,790	1,810	1,829	1,849	1,868	1,886	1,905
140	17,5857	1,706	1,718	1,730	1,741	1,752	1,763	1,773	1,794	1,814	1,834	1,853	1,872	1,891	1,909
150	21,0205	1,708	1,720	1,732	1,744	1,755	1,765	1,777	1,798	1,818	1,838	1,858	1,877	1,895	1,914
160	24,9565	1,707	1,721	1,733	1,746	1,758	1,759	1,780	1,802	1,822	1,842	1,862	1,881	1,900	1,918

Temper. saturac. °C	Presión saturac. bar	FREON R-123.- SOBRECALENTAMIENTO (°C), ENTALPIA (kJ/kg)													
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
-80	0,0011	335,9	338,5	341,2	343,8	346,6	349,4	352,2	357,9	363,8	369,9	376,1	382,4	388,9	395,4
-70	0,0032	341,1	343,8	346,6	349,3	352,2	355,0	357,9	363,8	369,9	376,1	382,4	388,9	395,4	402,1
-60	0,0078	346,6	349,3	352,2	355,0	357,9	360,9	363,8	369,9	376,1	382,4	388,8	395,4	402,1	408,9
-50	0,0175	352,1	355,0	357,9	360,8	363,8	366,8	369,9	376,1	382,4	388,8	395,4	402,1	408,9	415,8
-40	0,0357	357,9	360,8	363,8	366,8	369,8	372,9	376,0	382,3	388,8	395,4	402,1	408,9	415,8	422,9
-30	0,0677	353,7	356,7	359,8	372,8	376,0	379,1	382,3	388,7	395,3	402,0	408,8	415,8	422,8	430,0
-20	0,1205	369,7	372,7	375,9	379,0	382,2	385,4	388,7	395,2	401,9	408,8	415,7	422,8	429,9	437,2
-10	0,2033	375,7	378,9	382,1	385,3	388,5	391,8	395,1	401,8	408,6	415,6	422,7	429,8	437,1	444,5
0	0,3274	381,8	385,1	388,3	391,6	394,9	398,3	401,6	408,5	415,4	422,5	429,7	437,0	444,4	451,9
5	0,4091	384,9	388,2	391,5	394,8	398,1	401,5	404,9	411,8	418,8	426,0	433,2	440,6	448,0	455,6
10	0,5065	391,3	391,5	394,6	398,0	401,4	404,8	408,2	415,2	422,3	429,4	436,7	444,2	451,7	459,3
15	0,6216	391,1	394,4	397,8	401,2	404,6	408,0	411,5	418,5	425,7	432,9	440,3	447,8	455,3	463,0
20	0,7566	394,2	397,6	401,0	404,4	407,8	411,3	414,8	421,9	429,1	436,4	443,9	451,4	459,0	466,7
25	0,9138	397,3	400,7	404,1	407,6	411,1	414,6	418,1	425,3	432,6	439,9	447,4	455,0	462,7	470,5
27	0,9835	398,6	402,0	405,4	408,9	412,4	415,9	419,5	426,7	433,9	441,4	448,9	456,5	464,2	472,0
28	1,0199	399,2	402,6	406,1	409,5	413,0	416,6	420,1	427,3	434,6	442,1	449,6	457,2	464,9	472,7
30	1,0959	400,4	403,9	407,3	410,8	414,3	417,9	421,5	428,7	436,0	443,5	451,0	458,6	466,4	474,2
40	1,5446	406,6	410,1	413,7	417,2	420,8	424,4	428,1	435,5	442,9	450,5	458,2	465,9	473,8	481,7
50	2,1248	412,8	416,4	420,0	423,6	427,3	431,0	434,7	442,2	449,8	457,5	465,3	473,2	481,2	489,2
60	2,8601	418,9	422,6	426,3	430,0	433,7	437,5	441,3	448,9	456,7	464,5	472,4	480,4	488,5	496,7
70	3,7754	424,9	428,7	432,5	436,3	440,1	443,9	447,8	455,6	463,5	471,5	479,5	487,7	495,9	504,2
80	4,8967	430,8	434,7	438,6	442,5	446,4	450,3	454,2	462,2	470,2	478,4	486,6	494,8	503,2	511,6
90	6,2512	436,6	440,6	444,5	448,5	452,5	456,5	460,6	468,7	476,9	485,2	493,5	501,9	510,4	519,0
100	7,8674	442,2	446,2	450,3	454,4	458,5	462,7	466,8	475,1	483,5	491,9	500,4	509,0	517,6	526,3
110	9,7750	447,5	451,7	455,9	460,1	464,4	468,6	472,8	481,3	489,9	498,5	507,2	515,9	524,7	533,5
120	12,0063	452,5	456,9	461,2	465,6	470,0	474,3	478,7	487,4	496,2	505,0	513,8	522,7	531,6	540,6
130	14,5965	457,1	461,7	466,2	470,8	475,3	479,8	484,3	493,3	502,3	511,3	520,3	529,4	538,5	547,6
140	17,5857	461,1	466,0	470,8	475,6	480,3	485,0	489,7	499,0	508,2	517,5	526,7	536,0	545,2	554,6
150	21,0205	464,4	469,7	474,9	479,9	484,9	489,8	494,7	504,4	513,9	523,4	532,9	542,4	551,9	561,3
160	24,9565	466,5	472,5	478,2	483,7	489,0	494,2	499,4	509,4	519,3	529,2	538,9	548,6	558,3	568,0
170	29,4621	466,6	474,1	480,7	486,8	492,6	498,2	503,6	514,2	524,5	534,7	544,7	544,7	564,6	574,5

Temper. saturac. °C	Presión saturac. bar	FREON R-123.- SOBRECALENTAMIENTO (°C), VOLUMEN ESPECIFICO (dm^3/kg)													
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100

-80	*0,0011*	*94299*	*96741*	*99183*	*101624*	*104055*	*106508*	*108949*	*113833*	*118717*	*123600*	*128483*	*133366*	*138249*	*143132*
-70	*0,0032*	*35004*	*35865*	*35728*	*37590*	*38452*	*39314*	*40177*	*41901*	*43625*	*45349*	*47073*	*48797*	*50021*	*52245*
-60	*0,0078*	*14771*	*15117*	*15465*	*15812*	*16159*	*15506*	*16853*	*17546*	*18240*	*18934*	*19628*	*20322*	*21016*	*21709*
-50	*0,0175*	*6922*	*7078*	*7234*	*7389*	*7545*	*7700*	*7856*	*8167*	*8478*	*8789*	*9100*	*9411*	*9722*	*10032*
-40	*0,0357*	*3538*	*3614*	*3691*	*3757*	*3843*	*3919*	*3995*	*4148*	*4301*	*4453*	*4506*	*4758*	*4910*	*5063*
-30	*0,0677*	*1944*	*1984*	*2024*	*2055*	*2105*	*2145*	*2186*	*2266*	*2347*	*2428*	*2508*	*2589*	*2669*	*2750*
-20	*0,1205*	*1134*	*1157*	*1180*	*1203*	*1225*	*1248*	*1271*	*1316*	*1362*	*1407*	*1453*	*1498*	*1543*	*1589*
-10	*0,2033*	*696,8*	*710,4*	*724,0*	*737,6*	*751,1*	*764,7*	*778,2*	*805,3*	*832,4*	*859,4*	*886,4*	*913,4*	*940,4*	*967,3*
0	*0,3274*	*447,1*	*455,6*	*464,1*	*472,6*	*481,1*	*489,6*	*498,0*	*515,0*	*531,9*	*548,7*	*565,6*	*582,5*	*599,3*	*616,1*
5	*0,4091*	*363,3*	*370,2*	*377,0*	*383,8*	*390,7*	*397,5*	*404,3*	*417,9*	*431,4*	*445,0*	*458,5*	*472,0*	*485,6*	*499,0*
10	*0,5065*	*297,8*	*303,4*	*308,9*	*314,5*	*320,0*	*325,5*	*331,1*	*342,1*	*353,1*	*354,1*	*375,1*	*386,0*	*397,0*	*407,9*
15	*0,6216*	*246,1*	*250,6*	*256,2*	*259,7*	*264,3*	*268,8*	*273,3*	*282,4*	*291,4*	*300,4*	*309,3*	*318,3*	*327,3*	*336,2*
20	*0,7566*	*204,8*	*208,6*	*212,4*	*216,1*	*219,9*	*223,6*	*227,4*	*234,8*	*242,3*	*249,7*	*257,1*	*264,5*	*271,9*	*279,3*
25	*0,9138*	*171,7*	*174,9*	*178,0*	*181,1*	*184,3*	*187,4*	*190,5*	*196,7*	*202,9*	*209,1*	*215,3*	*221,4*	*227,6*	*233,7*
27	*0,9835*	*160,3*	*163,2*	*156,2*	*169,1*	*172,0*	*174,9*	*177,8*	*183,6*	*189,4*	*195,2*	*200,9*	*206,6*	*212,4*	*218,1*
28	*1,0199*	*154,9*	*157,8*	*160,6*	*163,4*	*166,3*	*169,1*	*171,9*	*177,5*	*183,0*	*188,6*	*194,2*	*199,6*	*205,2*	*210,7*
30	*1,0959*	*144,9*	*147,5*	*150,2*	*152,8*	*155,4*	*158,1*	*160,7*	*165,9*	*171,1*	*176,3*	*181,5*	*186,6*	*191,8*	*196,9*
40	*1,5446*	*105,0*	*106,9*	*108,8*	*110,7*	*112,6*	*114,5*	*116,4*	*120,2*	*123,9*	*127,7*	*131,4*	*135,1*	*138,8*	*142,5*
50	*2,1248*	*77,66*	*79,09*	*80,52*	*81,95*	*83,36*	*84,77*	*86,18*	*88,98*	*91,76*	*94,53*	*97,28*	*100,02*	*102,75*	*105,47*
60	*2,8601*	*58,52*	*59,62*	*60,71*	*61,80*	*62,89*	*63,97*	*65,04*	*67,17*	*69,29*	*71,39*	*73,48*	*75,55*	*77,62*	*79,67*
70	*3,7754*	*44,80*	*45,67*	*46,53*	*47,38*	*48,23*	*49,08*	*49,92*	*51,58*	*53,23*	*54,86*	*56,48*	*58,09*	*59,69*	*61,28*
80	*4,8967*	*34,77*	*35,47*	*36,16*	*36,85*	*37,53*	*38,21*	*38,88*	*40,21*	*41,52*	*42,82*	*44,10*	*45,38*	*46,64*	*47,89*
90	*6,2512*	*27,30*	*27,88*	*28,45*	*29,02*	*29,58*	*30,13*	*30,68*	*31,76*	*32,83*	*33,88*	*34,92*	*35,95*	*36,97*	*37,97*
100	*7,8674*	*21,64*	*22,13*	*22,62*	*23,09*	*23,56*	*24,03*	*24,49*	*25,39*	*26,27*	*27,14*	*27,98*	*28,84*	*29,68*	*30,50*
110	*9,7750*	*17,29*	*17,72*	*18,13*	*18,54*	*18,95*	*19,34*	*19,73*	*20,50*	*21,25*	*21,98*	*22,69*	*23,40*	*24,10*	*24,78*
120	*12,0063*	*13,89*	*14,27*	*14,64*	*15,00*	*15,35*	*15,70*	*16,04*	*16,70*	*17,34*	*17,97*	*18,58*	*19,18*	*19,76*	*20,34*
130	*14,5965*	*11,19*	*11,54*	*11,87*	*12,20*	*12,52*	*12,82*	*13,12*	*13,71*	*14,27*	*14,81*	*15,34*	*15,85*	*16,36*	*16,85*
140	*17,5857*	*9,01*	*9,35*	*9,66*	*9,96*	*10,25*	*10,53*	*10,80*	*11,32*	*11,82*	*12,30*	*12,76*	*13,21*	*13,65*	*14,08*
150	*21,0205*	*7,23*	*7,56*	*7,85*	*8,15*	*8,42*	*8,68*	*8,93*	*9,40*	*9,85*	*10,27*	*10,68*	*11,08*	*11,46*	*11,84*
160	*24,9565*	*5,73*	*6,08*	*6,39*	*6,57*	*6,93*	*7,17*	*7,40*	*7,84*	*8,24*	*8,63*	*9,00*	*9,35*	*9,69*	*10,02*
170	*29,4621*	*4,43*	*4,84*	*5,16*	*5,44*	*5,70*	*5,93*	*6,15*	*6,56*	*6,93*	*7,28*	*7,61*	*7,93*	*8,23*	*8,26*

PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL VAPOR DE AMONIACO

Temp. °C	*Presión atm.abs.*	*v' dm³/kg*	*v" m³/kg*	*γ' kg/m³*	*γ" kg/m³*	*i' Kcal/kg*	*i" Kcal/kg*	*r Kcal/kg*	*s' Kcal/kg °C*	*s" Kcal/kg °C*
-76	0,0706	0,001366	13,818	732,1	0,0724	19,9	373,0	353,1	0,6583	2,4498
-74	0,0824	0,001370	11,953	729,8	0,0837	21,9	373,9	352,0	0,6683	2,4363
-72	0,096	0,001375	10,357	727,5	0,0966	23,9	374,8	350,9	0,6781	2,423
-70	0,1114	0,001379	9,009	725,3	0,1110	25,9	375,7	349,8	0,6878	2,4101
-68	0,1257	0,001353	7,870	723,0	0,1272	27,9	376,6	348,7	0,6975	2,3976
-66	0,1455	0,001388	6,882	720,7	0,1453	29,9	377,4	347,5	0,7074	2,3853
-64	0,1706	0,001352	6,049	718,4	0,1655	32,0	378,3	346,3	0,7173	2,3734
-62	0,1954	0,001397	5,324	716,1	0,1878	34,0	379,1	345,1	0,7271	2,3618
-60	0,2233	0,001401	4,699	713,8	0,2128	30,1	380,0	343,9	0,7366	2,3504
-58	0,2543	0,001406	4,161	711,4	0,2403	38,1	380,8	342,7	0,7461	2,3393
-56	0,2889	0,001410	3,693	709,1	0,2708	40,2	381,7	341,5	0,7555	2,3285
-54	0,3272	0,001415	3,288	706,7	0,3041	42,2	382,5	340,3	0,7648	2,3180
-52	0,3697	0,001420	2,933	704,4	0,3409	44,2	383,3	339,1	0,7741	2,3078
-50	0,4168	0,001425	2,623	702,0	0,3812	46,2	384,1	337,9	0,7832	2,2978
-48	0,4686	0,001429	2,351	699,6	0,425	48,4	384,9	336,5	0,7931	2,2880
-46	0,5256	0,001434	2,112	697,2	0,473	50,4	385,7	335,3	0,8021	2,2692
-44	0,5552	0,001439	1,901	694,8	0,526	52,5	386,5	334,0	0,8112	2,2692
-42	0,6568	0,001444	1,715	692,4	0,583	54,6	387,3	332,7	0,8203	2,2600
-40	0,7318	0,001449	1,550	690,0	0,045	56,8	388,1	331,3	0,8295	2,2510
-38	0,5137	0,001455	1,404	687,5	0,712	58,9	388,9	330,0	0,8385	2,2421
-36	0,9028	0,001460	1,274	685,1	0,765	61,0	389,6	328,6	0,8475	2,2336
-34	0,9999	0,001465	1,159	682,6	0,663	63,1	390,4	327,3	0,8565	2,2252
-32	1,1052	0,001470	1,055	680,1	0,948	65,3	391,2	325,9	0,8654	2,2170
-30	1,219	0,001476	0,963	671,7	1,038	67,4	391,9	324,5	0,8742	2,2090
-28	1,342	0,001481	0,8799	675,2	1,136	69,6	392,7	323,1	0,8830	2,2011
-26	1,475	0,001487	0,5056	672,6	1,242	71,7	393,4	321,7	0,8917	2,1934
-24	1,619	0,001492	0,7386	670,1	1,354	73,9	394,1	320,2	0,9003	2,1858
-22	1,774	0,001498	0,6782	667,6	1,474	76,0	394,8	318,8	0,9089	2,1784
-20	1,940	0,001504	0,6235	665,0	1,604	78,2	395,5	317,3	0,5174	2,1710
-18	2,117	0,001510	0,5742	662,4	1,742	80,3	396,1	315,8	0,9259	2,1638
-16	2,309	0,001516	0,5295	659,8	1,889	82,5	396,8	314,3	0,9343	2,1567
-14	2,514	0,001522	0,4889	657,2	2,046	84,7	397,4	312,7	0,9427	2,1498
-12	2,732	0,001528	0,4520	654,6	2,213	86,9	398,1	311,2	0,9511	2,1430
-10	2,966	0,001534	0,4185	652,0	2,390	89,0	398,7	309,7	0,9553	2,1362
-8	3,216	0,001540	0,3873	649,3	2,579	91,2	399,3	308,1	0,9675	2,1296
-6	3,481	0,001546	0,3599	646,7	2,779	93,4	399,9	306,5	0,9757	2,1231
-4	3,761	0,001553	0,3344	644,0	2,991	95,6	400,4	304,8	0,9839	2,1167
-2	4,060	0,001555	0,3110	641,3	3,216	97,8	401,0	303,2	0,9920	2,1103
0	4,379	0,001566	0,2897	638,6	3,452	100,0	401,5	301,5	1,0000	2,1041
2	4,716	0,001573	0,2700	635,8	3,703	102,2	402,0	299,8	1,0080	2,0979
4	5,073	0,001580	0,2553	633,1	3,969	104,4	402,5	298,1	1,0160	2,0919
6	5,450	0,001587	0,2353	630,3	4,250	106,6	403,0	296,4	1,0240	2,0859
8	5,849	0,001594	0,2200	677,5	4,546	108,9	403,5	294,6	1,0319	2,0799
10	6,271	0,001601	0,2058	624,7	4,859	111,1	403,9	292,8	1,0397	2,0741
12	6,715	0,001608	0,1927	621,8	5,189	113,4	404,4	291,0	1,0475	2,0683
14	7,183	0,001616	0,1806	619,0	5,537	115,6	404,8	289,2	1,0553	2,0626
16	7,677	0,001623	0,1694	616,1	5,904	117,9	405,2	287,3	1,0631	2,0570
18	8,196	0,001631	0,1591	613,2	6,289	120,1	405,6	285,5	1,0709	2,0514
20	8,741	0,001639	0,1494	610,3	6,694	122,4	405,9	283,5	1,0785	2,0459
22	9,314	0,001647	0,1405	607,3	7,119	124,7	406,3	281,6	1,0862	2,0405
24	9,915	0,001655	0,1322	604,3	7,564	126,9	406,6	279,7	1,0938	2,0351
26	10,544	0,001663	0,1245	601,3	8,031	129,2	406,9	277,7	1,1014	2,0297
28	11,204	0,001671	0,1174	598,3	8,521	131,5	407,2	275,7	1,1050	2,0243
30	11,895	0,001680	0,1107	595,2	9,034	133,8	407,4	273,6	1,1165	2,0191
32	12,617	0,001689	0,1045	592,1	9,573	136,2	407,7	271,5	1,1241	2,0139
34	13,374	0,001698	0,0986	589,0	10,138	138,5	407,9	269,4	1,1315	2,0087
36	14,165	0,001707	0,0932	585,9	10,731	140,8	408,0	267,2	1,1390	2,0035
38	14,990	0,001716	0,0881	582,7	11,353	143,1	408,2	265,1	1,1464	1,9981
40	15,850	0,001726	0,0833	579,5	12,005	145,5	408,4	262,9	1,1538	1,9933
44	17,682	0,001745	0,0746	572,9	13,404	150,3	408,6	258,3	1,1686	1,9832
50	20,727	0,001777	0,0635	552,9	15,756	157,4	408,7	251,3	1,1904	1,9681

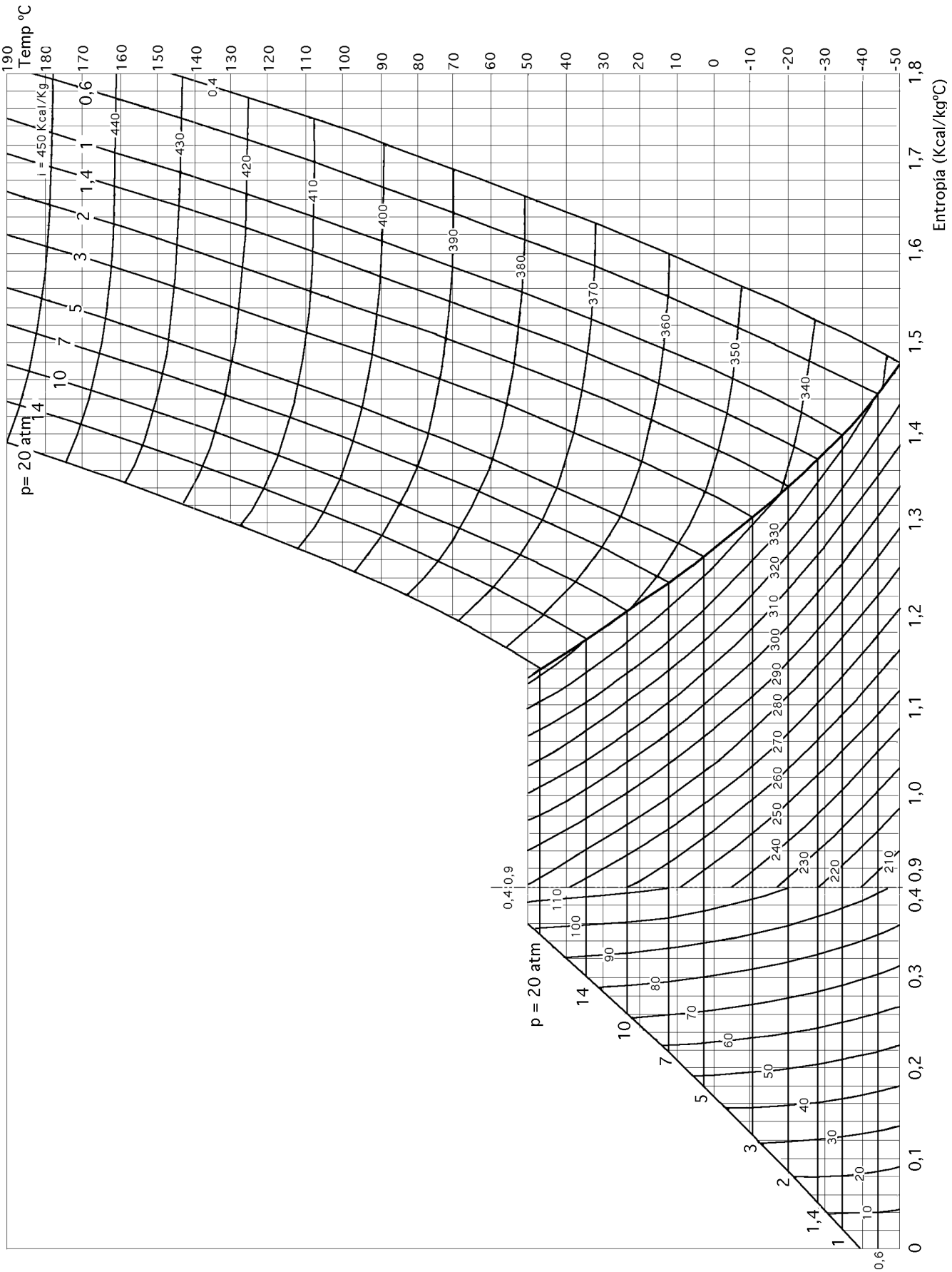


DIAGRAMA {T-s} DEL AMONÍACO (NH_3)

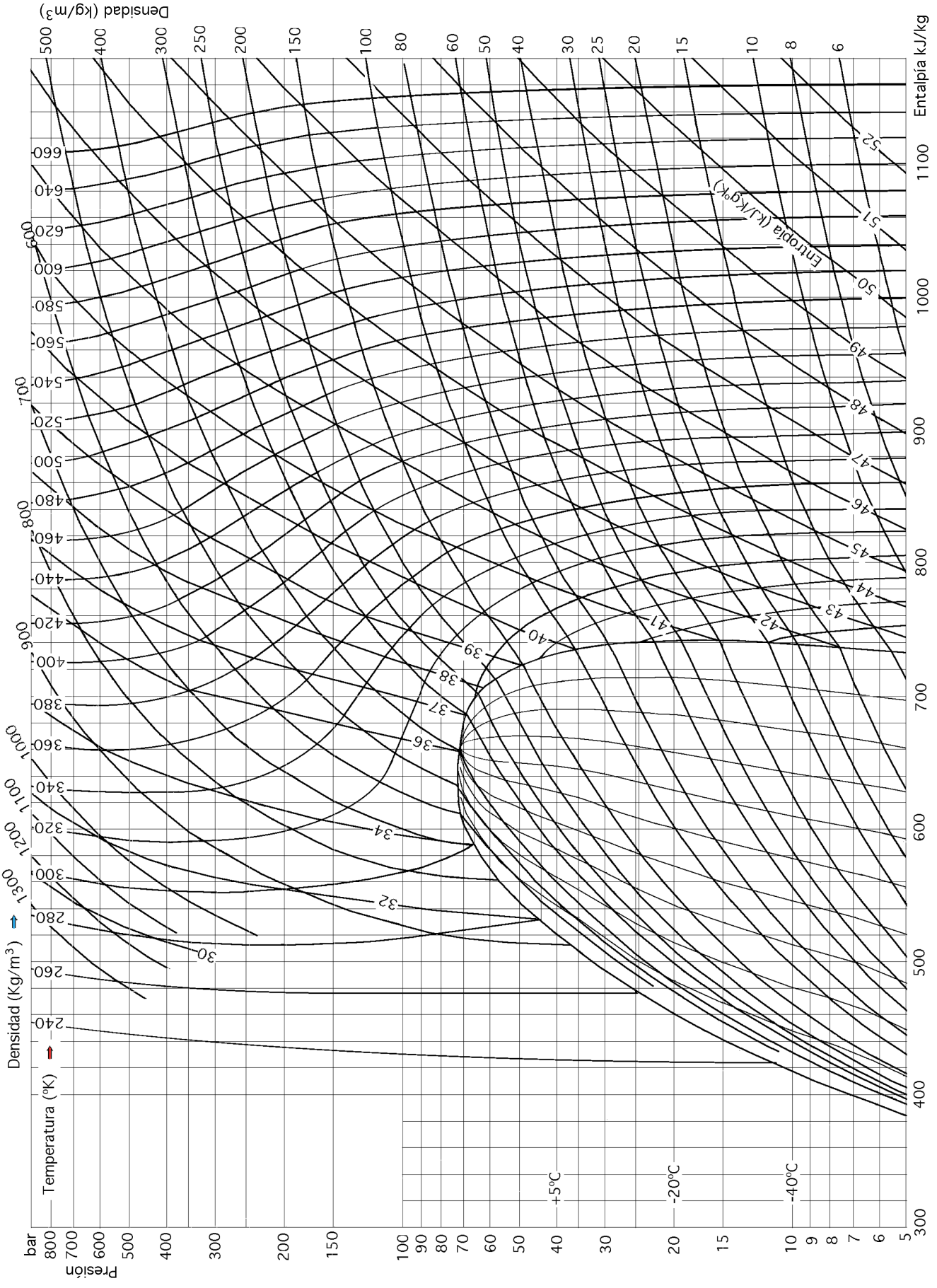


DIAGRAMA (ln p, i) DEL CO_2