

AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN

- ✚ **Introducción**
- ✚ **Ciclo de refrigeración y unidades**
- ✚ **Refrigerantes**
- ✚ **Ciclo estándar de compresión de vapor**
- ✚ **Sistemas de presiones múltiples. Compresores.**
- ✚ **Evaporadores y condensadores**

Introducción

La historia de la refrigeración puede remontarse a cientos de años cuando el hielo natural proporcionaba el efecto de enfriamiento. La época de la refrigeración a gran escala se desarrolló por primera vez en el siglo XIX, y a mediados de los 1800 la cosecha, almacenamiento y envío de hielo natural se convirtió en una de las industrias más importantes de los estados de Nueva Inglaterra. Hacia finales del siglo XIX, la refrigeración mecánica se había convertido en un hecho práctico y la industria de la refrigeración tal como se conoce ahora ya había surgido. Junto con el uso de la refrigeración industrial para la preservación de alimentos, la producción química, las aplicaciones metalúrgicas, en medicina, entre otras, apareció otra faceta del proceso de refrigeración: el control de la temperatura y la humedad del ambiente, que se denomina comúnmente acondicionamiento de aire.

La función principal de acondicionamiento de aire, es mantener, dentro de un espacio determinado, de confort. O bien las necesarias para la conservación de un producto o para un proceso de fabricación.

El uso de la refrigeración y aire acondicionado, cada día se va incrementando y encuentra más aplicaciones; hace algunos años, el uso principal de la refrigeración era la producción de hielo, ahora la refrigeración es esencial, en la producción y distribución de alimentos, y para el funcionamiento de la industria alimenticia y química.

Con el aire acondicionado se vive más confortable y saludablemente. Y muchos procesos industriales se efectuaran de manera más eficiente.

Actualmente se ha incrementado en México, el uso del aire acondicionado por medio de las unidades paquete, las cuales están específicamente calculadas sobre la carga térmica disponible

Ciclo de refrigeración y unidades

La refrigeración es una de las principales áreas de la termodinámica, es la transferencia de calor de una región de temperatura inferior hacia una temperatura superior. Los dispositivos que producen refrigeración se llama refrigeradores y los ciclos en los que operan se llama ciclos de refrigeración.

Existen varios sistemas de refrigeración que se utilizan en la práctica para llevar a cabo tal función:

- a) Sistemas de refrigeración mecánica.
- b) Sistemas de refrigeración por absorción.
- c) Sistemas de refrigeración por vacío.
- d) Sistemas de refrigeración por gas.

El ciclo de Carnot ha servido para establecer los criterios de operación de los ciclos de potencia: el estudio del ciclo de Carnot invertido proporcionará la mayor parte de las limitaciones termodinámicas y los criterios de operación de los ciclos de refrigeración.

I. CICLO DE CARNOT INVERTIDO

Se recordará que el ciclo de Carnot se compone de cuatro (4) procesos reversibles: dos (2) de ellos isotérmicos y dos (2) isoentrópicos. Para el ciclo invertido, el diagrama de flujo de energía es como el que se muestra en la Figura 1. Nótese que en este caso el trabajo de la máquina sirve para tomar calor del sumidero a T_2 y desecharlo a T_1 . El diagrama T-S para el ciclo invertido se muestra en la Figura 2. Y las áreas se interpretan como varios aspectos de la energía correspondientes a la Figura 1.

Si se está interesado en extraer la mayor cantidad de calor del sumidero, es deseable hacerlo con la menor cantidad posible de suministro de energía al sistema. Este modo de operación es equivalente a la operación con la máxima eficiencia.

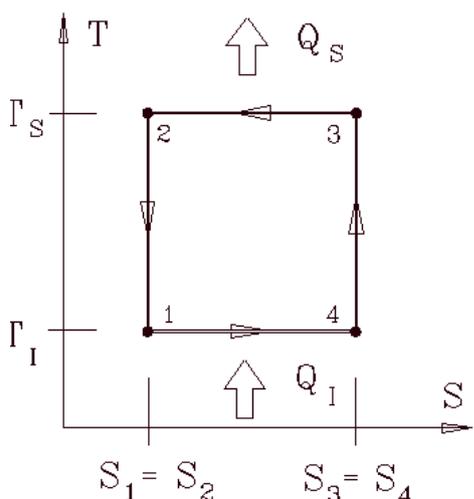


Figura 1: ciclo de carnot invertido.

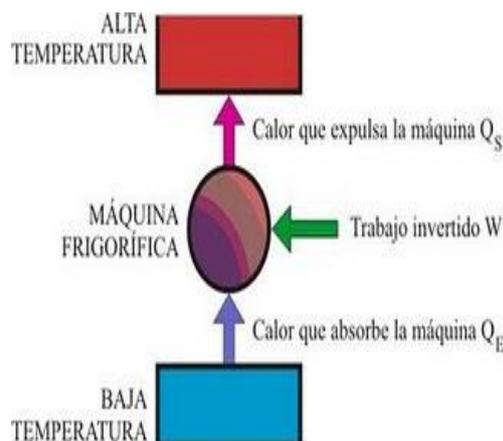


Figura 2: ciclo de carnot invertido.

Se establece a continuación un hecho significativo para el ciclo de refrigeración. Para el ciclo de potencia directo, se estaba interesado en la cantidad de trabajo que se obtenía

de un suministro de calor dado, y esta relación se llamaba la eficiencia del ciclo de potencia. Para el ciclo invertido se tiene interés en la cantidad de trabajo requerido para extraer una cantidad de calor dada de la fuente de baja temperatura.

Esta relación del efecto de refrigeración a la entrada del trabajo se conoce como coeficiente de operación (**COP**). Así;

$$COP = \frac{\text{Efecto de refrigeracion}}{\text{Entrada de trabajo}} \quad (1)$$

Para el ciclo de Carnot invertido mostrado en las Figuras el calor extraído de la fuente a T_2 es $T_2 (S_2 - S_1)$ y el trabajo suministrado es $(T_1 - T_2) (S_2 - S_1)$:

$$COP \text{ refrigeración de Carnot} = \frac{T_2 * (S_2 - S_1)}{(T_1 - T_2) * (S_2 - S_1)} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{Q_A}{Q_A - Q_B} \quad (2)$$

Nótese que el COP para un ciclo de refrigeración ideal es mayor que la unidad. Resumiendo lo anterior,

- ◆ El COP de un ciclo de Carnot es función sólo de las temperaturas superior e inferior del ciclo y aumenta en forma inversamente proporcional a la diferencia entre las temperaturas superior e inferior. Estas conclusiones son independientes del fluido de trabajo del ciclo.
- ◆ La ecuación 2 indica que, para el COP máximo, T_2 debe conservarse de modo que sea mínima. En la mayor parte de los casos el sumidero de calor es la atmósfera a algún cuerpo de los alrededores o el agua.
- ◆ Cualquier desviación del ciclo real de los procesos ideales previstos para el ciclo de Carnot conduce a valores del COP menores que el ideal.

2.- CICLO POR COMPRESIÓN DE VAPOR.

Aún cuando el ciclo de Carnot invertido es un estándar con el cual se puede comparar todos los ciclos reales, no es un dispositivo práctico para propósitos de refrigeración. Sin embargo, sería muy deseable aproximarse a los procesos de adición de calor a temperatura constante y de expulsión de calor a temperatura constante, con objeto de lograr el máximo coeficiente de operación posible. Esto se logra en buena medida con un dispositivo de refrigeración según el Ciclo de Compresión de Vapor.

Del mismo modo como se encontró que era posible invertir el Ciclo de Carnot es posible, teóricamente, invertir el ciclo de Rankine. En la Figura 3 se muestra un ciclo elemental de compresión de vapor, y en la Figura 4 su correspondiente diagrama T-S.

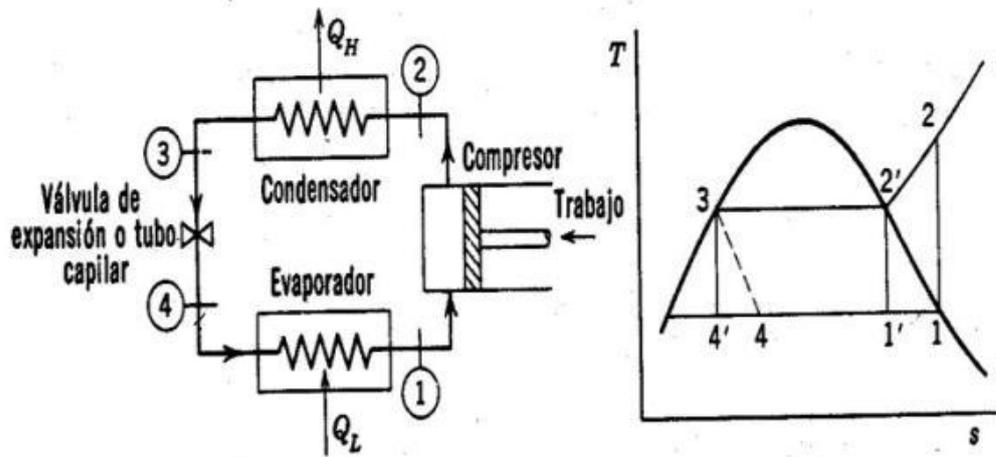


Figura 3. Ciclo simple por compresión de vapor. **Figura 4.** Ciclo simple por compresión de vapor

El ciclo se compone de una expansión del fluido desde el punto de saturación hasta la región húmeda (trayectoria (1) a (2)). Durante este proceso (estrangulamiento), la entalpía permanece en esencia constante. Sin embargo, la presión y la temperatura del fluido de trabajo disminuyen, y el fluido se convierte en una mezcla de líquido y vapor en el estado (2). El fluido de trabajo enfriado (refrigerante) pasa entonces al evaporador y ahí (trayectoria de (2) a (3)) entra el calor de la región o del fluido a enfriar. Esta parte del proceso se lleva a cabo a temperatura y presión constantes (idealmente) dado que el fluido de trabajo está en la región húmeda. La siguiente parte del ciclo (trayectoria de (3) a (4)) es una fase de compresión. Si la compresión continúa desde el punto (3) hasta el punto (4) en la Figura 4 la refrigeración comenzará del punto del vapor saturado y luego continuará hacia la región de vapor sobrecalentado. Esta trayectoria se llama compresión seca. Se muestra una trayectoria alterna (3a) a (4a), en donde el refrigerante está en un inicio “húmedo” y se lleva apenas a las condiciones de saturación mediante el proceso de compresión. Esta trayectoria se ha denominado compresión húmeda por razones obvias. De las consideraciones del ciclo y del diagrama T-S puede demostrarse que es más eficiente operar el ciclo con compresión húmeda. Sin embargo, la mayor parte de los ciclos de compresión de vapor operan con compresión seca, puesto que la pérdida de eficiencia es pequeña, en tanto que los problemas prácticos del diseño del compresor y la operación se simplifican en forma considerable. En la última trayectoria del ciclo (trayectoria de (4) a (1)) se desecha calor esencialmente a presión constante hasta que se alcanza la línea líquido saturado. Una vez más el diagrama T-S muestra un camino alterno () a (2a). En la práctica sería difícil alcanzar justamente el punto (1)

para todas las cargas del sistema, y cabría esperar un poco más de enfriamiento hasta el punto (1a).

Es posible analizar el sistema como sigue:

- * Trayectoria (1) a (2), estrangulamiento:
 - * $h_1 = h_2$
- * Trayectoria (2) a (3), evaporador (efecto enfriador):
 - * $q_{enf.} = h_3 - h_2 = h_3 - h_1$
- * Trayectoria (3) a (4), compresor:
 - * Trabajo (W) = $h_4 - h_3$

(para el ciclo de refrigeración, el trabajo en el ciclo se considera positivo)

- * Trayectoria (4) a (1), condensador (extracción de calor):
 - * $Q_{ext.} = h_4 - h_1$

De las cantidades señaladas, se observará que la energía extraída en el condensador debe ser igual numéricamente a la ganancia de calor en el evaporador más el trabajo del compresor. Sin embargo, la capacidad de refrigeración es sólo el efecto evaporador.

La definición del COP (en términos de este ciclo) es la relación del calor absorbido en el evaporador al trabajo neto que entra al ciclo. En unidades de calor compatibles esto puede escribirse como;

$$COP = \frac{h_3 - h_1}{h_4 - h_3}$$

En una situación real, el ciclo de refrigeración difiere del ciclo ideal en varias formas. La presencia de la fricción da por resultado tantos caídos de presión a lo largo de todo el ciclo como que el compresor sea irreversible. Además, se debe tener en cuenta el hecho de que hay transferencia indeseable de calor. Como no es posible controlar con exactitud el estado del fluido que sale del evaporador que se considera en el ciclo ideal. Las irreversibilidades en el flujo a través del compresor llevan a un aumento en la entropía del fluido durante el proceso y un incremento concomitante de la temperatura final con respecto a la del caso ideal. Si las pérdidas de calor del compresor son suficientemente grandes, la entropía real del fluido a la salida del compresor puede ser menor que la de la entrada. Aun cuando la caída de presión en el condensador sea pequeña, el fluido probablemente saldrá del condensador como un líquido subenfriado y no como el líquido saturado que se supone en el ciclo ideal. Este es un efecto benéfico, ya que la entape baja que resulta del efecto de subenfriamiento permite que el fluido absorba una mayor cantidad de calor durante el proceso de evaporación.

La evaluación de ciertos parámetros de interés en los ciclos de refrigeración se ha basado en las temperaturas de saturación del refrigerante en el evaporador y en el condensador. No obstante, la temperatura que desea mantener en la región fría como la

temperatura del agua o el aire de enfriamiento disponible para emplearse en el condensador. En la Figura 5. Se muestra un diagrama esquemático de un sistema de refrigeración de un refrigerador casero.

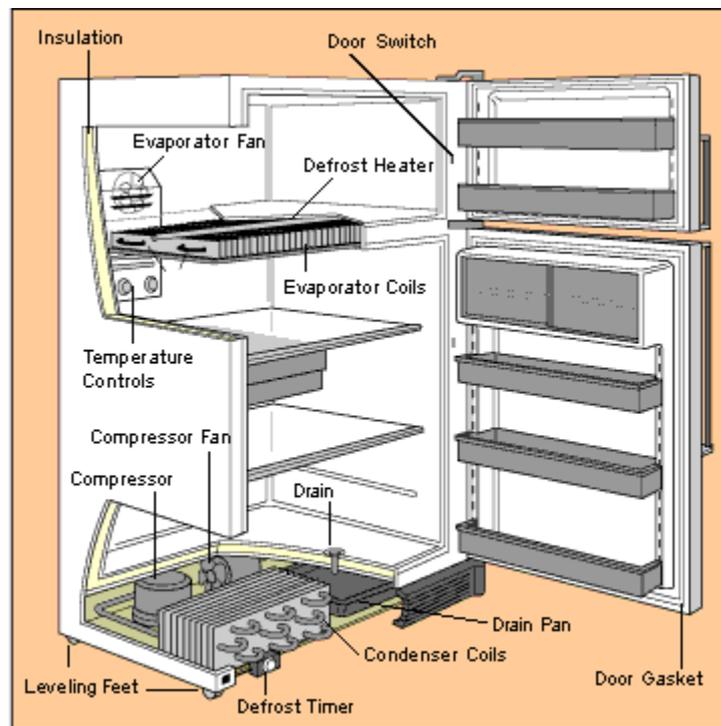


Figura 5.

El condensador se dispone físicamente de modo que el aire del local fluya a través del condensador por convección natural. La válvula de expansión es un tubo capilar grande y el evaporador se muestra alrededor de la parte externa del compartimiento congelador dentro del refrigerador. Las presiones que se muestran en la Figura 5. Son típicas cuando se usa dióxido de azufre como refrigerante. A pesar que el compresor mostrado de manera esquemática es una unidad recíprocante, existen unidades giratorias pequeñas, eficientes y económicas para refrigeradores domésticos.

Partiendo del punto 1 de la Figura 5., el refrigerante en fase vapor entra al compresor a baja presión y temperatura a p_2 y t_2 . La temperatura de saturación correspondiente a p_2 debe ser algún valor por encima de la temperatura atmosférica, o por encima de la temperatura del agua de enfriamiento que puede usarse en el condensador. Saliendo del compresor en la condición 2, el vapor entra al condensador donde se condensa hasta la fase líquida a alguna temperatura t_3 . Después del condensador, el líquido entra a una válvula de expansión, que separa las presiones de alta y baja presión y pasa a través de la válvula en un proceso de estrangulamiento con $h_3 = h_4$. El refrigerante entra entonces al evaporador (o compartimiento congelador) donde hierve debido a que recibe calor del refrigerador y su contenido. El vapor del evaporador entra al compresor y el ciclo vuelve a comenzar.

El núcleo de cualquier sistema de refrigeración es el compresor.

3._ SISTEMAS DE COMPRESIÓN DE VAPOR EN CASCADA Y EN ETAPAS MÚLTIPLES.

Existen variaciones del ciclo básico de refrigeración por compresión de vapor. La primera es el ciclo en cascada, el cual permite el empleo de un ciclo de compresión de vapor cuando la diferencia de temperaturas entre el evaporador y el condensador es muy grande.

La segunda variación incluye el uso de compresión en etapas múltiples con interenfriamiento, lo que reduce el trabajo de compresión.

3. a.) Ciclo en Cascada.

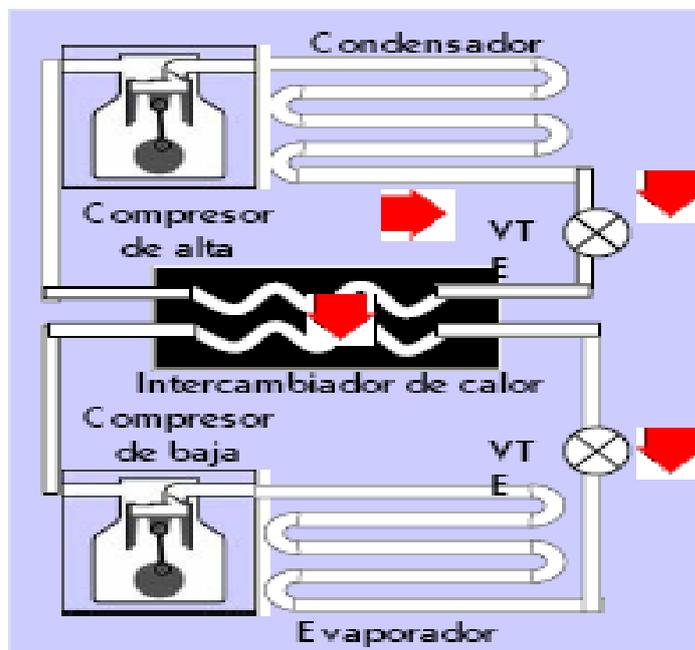
Existen aplicaciones industriales que exigen temperaturas moderadamente bajas. Esto es especialmente cierto cuando se desean temperaturas en el intervalo de -25 a -75 °C (-10 a -100 °F). En general, por desgracia no es posible usar un solo ciclo de compresión de vapor para obtener estas temperaturas moderadamente bajas. La diferencia de temperatura entre el condensador y el evaporador es en este caso muy grande. En consecuencia, la variación de la temperatura de saturación con respecto a la presión de vapor de un solo refrigerante no cumpliría con los valores deseados para el evaporador y el condensador. Para superar esta dificultad sin abandonar la compresión de vapor, se emplea un sistema de cascada. Un ciclo en cascada es simplemente una disposición en serie de ciclos simples de compresión de vapor, de tal manera que el condensador de un ciclo a temperatura baja entregue calor al evaporador de un ciclo a temperatura superior, como se ven en la Figura 6.a. Aún cuando ahí se muestran sólo dos unidades, el empleo de tres o cuatro unidades en serie es práctico, en caso necesario. Normalmente se utiliza un refrigerante distinto en cada uno de los ciclos, con el objeto de satisfacer los requisitos de cada intervalo de temperatura y presión. Al elegir los dos refrigerantes en la Figura 6. por ejemplo, es importante que la temperatura del estado triple del fluido en el ciclo B sea menor que la temperatura crítica del fluido en el ciclo A.

En la Figura 6-b se muestra el diagrama T-S de un sistema ideal en cascada doble que emplea el mismo refrigerante en cada ciclo. (Si se utilizan dos refrigerantes distintos en un sistema en cascada, deben utilizarse también dos diagramas T-S diferentes). A pesar de no ser la práctica común, como se hizo ya la observación, el empleo del mismo refrigerante en cada ciclo permite examinar las virtudes de un sistema en cascada. Las

posiciones de los ciclos A (1-2-3-4) y B(5-6-7-8) se indican con claridad en la figura. En general los gastos másicos de los refrigerantes en los dos ciclos no son los mismos, sean los refrigerantes iguales o distintos. El gasto másico (\dot{m}) está determinado por las toneladas de refrigeración requeridas en el evaporador del ciclo A. Además, la rapidez de transferencia de calor desde el condensador del ciclo A debe ser igual a la rapidez de transferencia de calor del fluido en el evaporador del ciclo B, si el intercambiador de calor de todo el conjunto está bien aislado. Un balance de energía para el intercambiador de calor que liga el condensador con el evaporador revela que;

$$\dot{m}^{\circ}A * (h_2 - h_3) = \dot{m}^{\circ}B * (h_5 - h_8) \quad \text{Sistema de Cascada}$$

Por tanto, el cociente de los gastos másicos en cada ciclo está determinado por los cambios de entalpía de cada fluido a su paso por el intercambiador de calor.



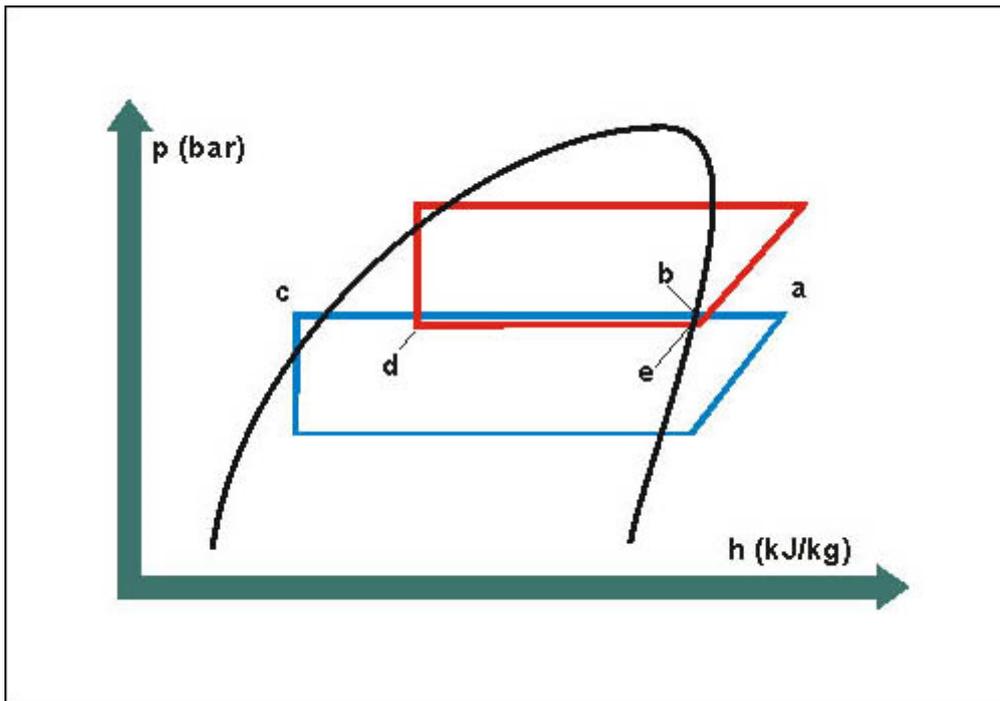


Figura 6.ayb

3. b.) Compresión de Vapor en Etapas Múltiples.

Otra modificación del ciclo de refrigeración por compresión de vapor incluye la compresión en etapas, múltiples con enfriamiento intermedio (interenfriamiento), para disminuir la entrada de trabajo.

En la Figura 7.a. muestra un esquema de la compresión en dos etapas con enfriamiento intermedio regenerativo. El líquido que sale del condensador se hace pasar por un estrangulamiento (proceso 5-6) hacia una cámara separadora mantenida a una presión entre la del evaporador y la del condensador. Todo el vapor separado del líquido en la cámara separadora se transfiere a una cámara de mezclado, donde se mezcla íntimamente con el vapor que sale del compresor a baja presión en el estado 2. La cámara de mezclado actúa como un interenfriador regenerativo en el sentido de que enfría el vapor que sale del compresor de presión baja antes de que la mezcla total entre en la etapa de presión alta del compresor en el estado 3. El líquido saturado de la cámara separadora se estrangula hasta la presión del evaporador en el estado 9.

El proceso de compresión en dos etapas con interenfriamiento regenerativo se muestra en el diagrama T-S de la Figura 7.b. se ha supuesto que la compresión es isentrópica. Aún cuando circula el mismo refrigerante en los dos circuitos del sistema total, los gastos máscicos en esos circuitos no son los mismos. Con el propósito de analizar el sistema, es conveniente suponer que circula una masa unitaria en uno de los circuitos, siendo arbitraria la elección. Supóngase que la masa unitaria pasa a través de los estados 3-4-5-6 circuito de presión mayor. La fracción del vapor formado en la cámara separadora es la calidad X del fluido en el estado 6 de la Figura 7.b., y es ésta la fracción del flujo del condensador que pasa por la cámara de mezclado, proveniente de la cámara separadora. La fracción de líquido formado es (1-X), y es la fracción del flujo total que pasa a través del evaporador. El valor de la entalpía en el estado 3 se puede determinar a partir de un balance de energía para la cámara de mezclado en condiciones adiabáticas.

Despreciando los efectos de la energía cinética se halla que;

$$Xh_7 + (1 - X) \cdot h_2 = 1(h_3)$$

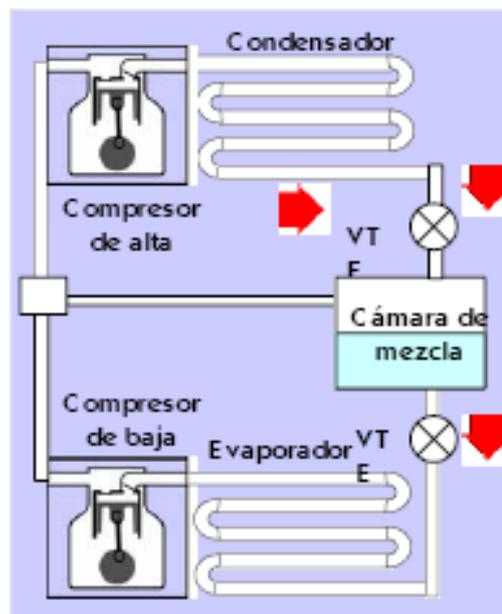
Donde h_3 es la única incógnita. El efecto de refrigeración por unidad de masa a través del condensador es;

$$q_{\text{refrig.}} = (1 - X) \cdot (h_1 - h_9)$$

La entrada total de trabajo en el compresor por unidad de masa a través del condensador es la suma de los dos términos de las dos etapas, es decir;

$$W_{\text{comp.}} = (1 - X) \cdot (h_2 - h_1) + 1 \cdot (h_4 - h_3)$$

El COP del ciclo de compresión de vapor en dos etapas con enfriamiento intermedio regenerativo sigue estando definido como $q_{\text{refrig.}} / Q_{\text{comp.}}$.



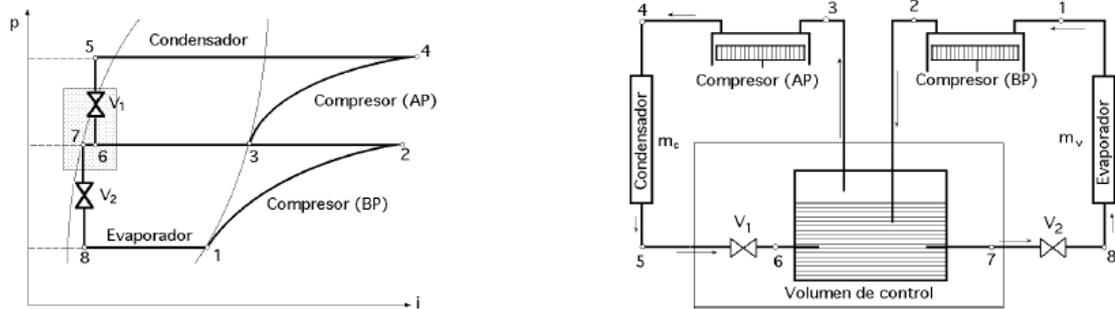


Figura 7.b.

Figura 7. Esquema del equipo y diagrama Ts de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor con dos etapas, con interenfriamiento regenerativo.

REFRIGERANTES

Un refrigerante: es un producto químico líquido o gaseoso, fácilmente licuable, que es utilizado como medio transmisor de calor entre otros dos en una máquina térmica. Los principales usos son los refrigeradores y los acondicionadores de aire.

El principio de funcionamiento de algunos sistemas de refrigeración se basa en un ciclo de refrigeración por compresión, que tiene algunas similitudes con el ciclo de Carnot y utiliza refrigerantes como fluido de trabajo.

CARACTERISTICAS DE LOS REFRIGERANTES

- **Calor latente de evaporación alto:** cuanto mayor sea su valor menor cantidad de refrigerante hay que utilizar en el proceso de refrigeración para obtener una temperatura determinada.
- **Presión de evaporación superior a la atmosférica:** para evitar que entre aire en el circuito de refrigeración, lo que acarrearía el problema de que el agua contenida en el aire se solidificase y obturase algún conducto.
- **Punto de ebullición lo suficientemente bajo** para que sea inferior a la temperatura de trabajo del evaporador.
- **Temperaturas y presión de condensación bajas:** así se evitan trabajar con presiones de condensación altas en el compresor lo que se traduce en un considerable ahorro tanto de energía como en el coste de la instalación.
- **Inercia química:** es decir que no reaccione con los materiales que componen el circuito ni con el aceite del compresor.
- **Ha de ser inmisible o totalmente miscible con el aceite del compresor:** la solubilidad parcial da origen a problemas de depósitos de aceite en el evaporador.
- **Debe de ser químicamente estable:** hasta el grado de no ser inflamable ni explosivo.
- **Ha de ser soluble en agua:** de esta forma se evita que el agua libre pueda formar cristales de hielo. Por este motivo los circuitos de refrigeración van provistos de filtros

deshidratantes.

- Debe ser no tóxico para el hombre.
- Debe tener un impacto ambiental bajo o nulo en el caso de ser liberado por posibles fugas.
- Debe ser fácilmente detectable por el olfato para poder localizar las fugas que se produzcan en el sistema.
- Debe ser barato.

TIPOS DE REFRIGERANTES

CLOROFLUOROCARBONOS

Los refrigerantes CFC consisten de cloro, flúor y carbono. Los refrigerantes más comunes en este grupo son el R11, R12 y R115 (con la mezcla R502). Tal como se mencionó más arriba, estos refrigerantes vienen siendo usados ampliamente desde 1930, en muchas aplicaciones, incluyendo refrigeración doméstica, refrigeración comercial, almacenamiento frío, transporte y aire acondicionado del auto. Debido a que no contienen hidrógeno, los CFC son muy estables químicamente, y tienden a tener buena compatibilidad con la mayoría de los materiales y lubricantes tradicionales como los del tipo mineral. A lo largo de toda la variedad de CFC, tienen una amplia variedad de características de presión - temperatura, y por lo tanto cubren un amplio margen de aplicaciones. Sus propiedades termodinámicas y de transporte son generalmente buenas, y por lo tanto ofrecen un potencial muy bueno de eficiencia. La buena estabilidad también resulta en un bajo nivel de toxicidad y no flamabilidad, obteniendo una clasificación de A1 en seguridad.

Sin embargo, debido a que contiene cloro, los refrigerantes CFC dañan la capa de ozono (ODP), y debido a su larga vida en la atmósfera, aumentan el calentamiento global (GWP). De manera similar, existen gases ambientalmente ecológicos, pero con un alto valor de GWP. Sin embargo, estos no son controlados por el Protocolo de Kioto debido a que son controlados y están siendo eliminados por el Protocolo de Montreal. Tradicionalmente, los refrigerantes CFC fueron muy baratos y ampliamente disponibles, hoy en día son mucho más caros y su disponibilidad disminuye.

HIDROCLOROFLUOROCARBONADOS

Los refrigerantes HCFC consisten de hidrógeno, cloro, flúor y carbón. Los refrigerantes más comunes en este grupo son el R22, R123 y R124 (dentro de varias mezclas). Debido a que contienen hidrógeno, los HCFC son en teoría menos estables químicamente que los CFC, pero sin embargo tienden a tener buena compatibilidad con la mayoría de los materiales y lubricantes tradicionales.

HIDROFLUOROCARBONADOS

Los refrigerantes HFC consisten de hidrógeno, flúor y carbono. Los refrigerantes más comunes son el R134a, R32, R125 y R143a (la mayoría incluidos dentro de mezclas tales como R404A, R407C y R410A). Estos están siendo usados en gran escala desde 1990 en casi todas las aplicaciones correspondientes a los CFC y HCFC, incluyendo refrigeración doméstica, refrigeración comercial, almacenamiento frío y aire acondicionado automotor. Los HFC son generalmente estables químicamente, y tienen tendencia a ser compatibles con la mayoría de los materiales. Sin embargo, no son miscibles con los lubricantes tradicionales, y por lo tanto se emplean otros lubricantes del tipo sintético. A lo largo del rango de refrigerantes HFC, existen distintas versiones a diferentes presiones y temperaturas. Sus propiedades termodinámicas y de transporte son desde casi a muy buenas, y por lo tanto ofrecen una excelente opción. Aunque algunos HFC son clasificados como A1 en términos de seguridad, algunos poseen clasificación A2 (baja toxicidad y baja flamabilidad). A diferencia de los CFC y HCFC, no contienen cloro, y por lo tanto no dañan la capa de ozono. Sin embargo, debido a su largo período de vida, son refrigerantes ecológicamente aceptables pero con un alto valor de GWP. Estos son controlados por el Protocolo de Kyoto. Actualmente, los refrigerantes HFC tienen un precio moderado, contra el precio de las mezclas que están comenzando a aumentar de precio. Aunque numerosos países están desarrollando leyes para controlar el uso y emisión de gases HFC, muchos están disponibles, y lo continuarán siendo por un futuro mayor.

REFRIGERANTES NATURALES

Varios hidrocarburos, el amoníaco y dióxido de carbono pertenecen al grupo denominado refrigerantes naturales. Todos los refrigerantes naturales existen en los ciclos de la naturaleza, inclusive sin intervención del ser humano. Tiene un valor de ODP igual a 0 y no son GWP. Las innovaciones y evolución en la tecnología han contribuido en la consideración de estos refrigerantes naturales. Debido a su mínimo impacto ambiental y por ser más apropiados y acordes desde el punto de vista de la sustentabilidad tecnológica, los sistemas frigoríficos con refrigerantes naturales pueden jugar un rol importante en el futuro de muchas aplicaciones.

Amoníaco (NH₃, R717)

El amoníaco contiene nitrógeno e hidrógeno, y es ampliamente utilizado en muchas industrias. Ha sido empleado como refrigerante desde los años 1800, y hoy en día es comúnmente usado en refrigeración industrial, almacenaje frío, en procesos alimenticios y más recientemente está siendo usado en refrigeración comercial y chillers.

El R717 es químicamente estable, pero reacciona bajo ciertas condiciones, por ejemplo, cuando se pone en contacto con dióxido de carbono o agua o cobre. Por otro lado, es compatible con el acero y con el aceite correctamente seleccionado. Las características de presión y temperatura del R717 son similares al R22. Sin embargo, sus propiedades termodinámicas y de transporte son excelentes, aumentando potencialmente la

eficiencia de los sistemas. Debido a su alto grado de toxicidad y baja inflamabilidad, posee una clasificación igual a B2. A diferencia de los gases fluorados, no tiene impacto en la capa de ozono y tiene un valor igual a cero de calentamiento global (GWP).

HIDROCARBONOS (HC)

Estos refrigerantes contienen carbono e hidrógeno, y son ampliamente usados en dentro de muchas industrias. Los más comúnmente usados para propósitos de la refrigeración son el isobutano (C₄H₁₂, R600a) y propano (C₃H₈, R290), propileno (C₃H₆, R1270) y se usan también en mezclas compuestas en parte por estos fluidos. Dentro de lo que es aplicaciones industriales, se usan una variedad de otros HC. En general, los refrigerantes HC han sido usados como refrigerante desde los años 1800 hasta 1930, y fueron re-aplicados desde la década de los 90. Aparte de su uso en refrigeración industrial, los refrigerantes HC se han usado en refrigeradores domésticos, refrigeración comercial, acondicionadores de aire y chillers. Los refrigerantes HC son químicamente estables, y exhiben una compatibilidad similar a los CFC y HCFC. Los Hc también tienen excelentes propiedades termodinámicas y de transporte. Debido a su alta inflamabilidad, los HC tienen una clasificación de seguridad de A3. Al igual que el R717, los refrigerantes HC no tienen impacto en la capa de ozono y su efecto en el calentamiento global es insignificante. Tanto el R600a y R290 son muy baratos pero su disponibilidad depende del país.

DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂, R744)

Este refrigerante contiene carbono y oxígeno, y es ampliamente empleado en muchas industrias. Ha sido extensivamente usado durante mediados de los años 1800, pero se discontinuó su uso con la aparición de los CFC y HCFC. A finales de los años 1990, emergió nuevamente como refrigerante y su uso se ha venido incrementando en las industrias de la refrigeración, almacenaje frío, refrigeración comercial, y bombas de calor, entre otros. El R744 es químicamente estable y no reacciona en la mayoría de las condiciones, y es compatible con muchos materiales. Las características de presión y temperatura del R744 son diferentes a de la mayoría de los refrigerantes convencionales, y es por eso, por ejemplo, que opera a presiones siete veces mayores que el R22, con lo cual el sistema debe ser diseñado con consideraciones especiales para soportar altas presiones. Además, tiene una baja temperatura crítica, de manera que cuando la temperatura ambiente supera los 25° C, se necesita el diseño de un sistema especial. Por otro lado, sus propiedades termodinámicas y de transporte son excelentes, haciendo que los sistemas sean potencialmente eficientes en climas fríos. Debido a su baja toxicidad y no inflamable, tiene una clasificación de seguridad de A1. A diferencia de los refrigerantes fluorados, no tiene impacto en la capa de ozono. Sin embargo posee un valor igual a 1 de potencial de calentamiento global (GWP). El R744 es muy barato y ampliamente disponible en el mercado.

■ COMPRESOR

Un compresor es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como lo son los gases y los vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir.

En las instalaciones frigoríficas encontraremos normalmente tres tipos de compresores.

HERMETICOS. Todo el conjunto motor-compresor está internamente en una carcasa soldada sin accesibilidad, normalmente están instalados en equipos de pequeñas potencias, siendo de menor coste y ocupan menor espacio.

SEMIHERMETICOS. El eje del motor es prolongación del cigüeñal del compresor y están en una misma carcasa accesible desde el exterior. Se utilizan en potencias medias y eliminan los problemas de alineamiento entre el motor y el compresor.

ABIERTOS. El cigüeñal es activado por un motor exterior al compresor. Se utilizan para medias y grandes potencias y son los más versátiles y accesibles.

FUNCIÓN DEL COMPRESOR

Los compresores administran la distribución del refrigerante, absorbiendo energía de las áreas frías y transfiriéndola a áreas más calientes dentro de la unidad. Los compresores alternan el refrigerante de vapor de baja presión a alta presión, alternando el enfriamiento usando un sistema de dos etapas para mantener los artículos fríos a una temperatura mientras se mantienen los artículos congelados en el área de alta presión. Los compresores se clasifican como abiertos o sellados. Los compresores abiertos se usan para aplicaciones grandes como los que se usan en instalaciones de producción y tienen un motor eléctrico externo.

COMPRESORES CENTRÍFUGOS

Los compresores centrífugos entran dentro de la categoría dinámica o compresores de refrigerador. Cuando operan a plena capacidad, estos compresores son muy eficientes, presionando el vapor refrigerante de uno o varios impulsores. Los compresores centrífugos alternativamente pueden controlarse pasando gas caliente de un puerto a otro, aunque este proceso se considera la manera ineficiente de operar una unidad de este tamaño. Una unidad grande de este tipo puede controlarse a través de control de velocidad, de paso variable y amortiguadores de succión. Este compresor no es un sistema común, pero tiene el propósito de administrar un aparato grande en un entorno industrial.

COMPRESORES DE TORNILLO

Los compresores de tornillo entran en la categoría de desplazamiento de unidades de compresión, pasando el refrigerante a través de husillos mientras comprimen la entrada

de gas. Usadas comúnmente en entornos de producción de alimentos, los compresores de tornillo suelen tener uno o dos husos y se distinguen como tipos de compresores de uno o dos tornillos. Los compresores de dos tornillos tienen dos rotores estriados que succionan y comprimen el refrigerante a lo largo del sistema. La ventaja de los compresores de tornillo es que pueden manejar grandes cantidades de refrigerante en comparación con otros compresores en la categoría de desplazamiento positivo. Pueden competir con compresores centrífugos de baja capacidad y están disponibles para varias aplicaciones. Otra ventaja de los compresores de tornillo es su estabilidad, pues evitan algunos de los problemas de vibración de otros sistemas.

COMPRESORES SCROLL

Los compresores scroll también entran en la categoría de desplazamiento positivo y se consideran un tipo de compresor generalmente eficiente y el compresor más común en el mercado de la refrigeración. En una unidad de compresor scroll, un rollo movido por un motor eléctrico engrana con un rollo estacionario formando bolsillos que atrapan, transportan y comprimen refrigerante de baja presión desde el exterior de los rolos hasta el pasaje de descarga. El compresor scroll es notable por su desempeño de compresión fluido y continuo, que reduce la tasa de fugas y aumenta la eficiencia.

COMPRESORES DE PISTÓN

El último tipo de unidad en la categoría de desplazamiento positivo es el compresor de pistón. Usado comúnmente con propósitos comerciales en entornos de producción, el compresor de pistón es similar a un motor de automóvil en su composición. Usando un motor para succionar y luego comprimir el refrigerante en un cilindro, la unidad usa el pistón para iniciar el proceso, permitiendo que una válvula de entrada se abra y cierre cuando se haya alcanzado el nivel apropiado de presión para enfriar la unidad de refrigeración. Las válvulas de entrada y escape están diseñadas para que el flujo del refrigerante viaje en una dirección a lo largo del sistema.

■ EVAPORADORES Y CONDENSADORES

Se conoce por **evaporador** al intercambiador donde se produce la transferencia de energía térmica desde un medio a ser enfriado hacia el fluido refrigerante que circula en el interior del dispositivo. Su nombre proviene del cambio sufrido por el refrigerante al recibir esta energía, luego de una brusca expansión que reduce su temperatura. Durante el proceso de evaporación, el fluido pasa del estado líquido al gaseoso.

Los evaporadores se encuentran en todos los sistemas de refrigeración como neveras, equipos de aire acondicionado y cámaras. Su diseño, tamaño y capacidad depende de la aplicación y carga térmica de cada uso.

TIPOS DE EVAPORADORES

Para determinar las condiciones óptimas de diseño, se deben tener en cuenta una gran cantidad de factores para obtener de esta manera, un equipo que tenga una relación

óptima entre rendimiento de evaporación, economía y calidad del producto. Estos factores se pueden resumir de la siguiente forma:

Evaporador de película descendiente
Estos tipos de evaporadores son los más difundidos en la industria alimenticia, por las ventajas operacionales y económicas que los mismos poseen.

Evaporador de película ascendiente
En estos tipos de evaporadores la alimentación se produce por la parte inferior del equipo y la misma asciende por los tubos.

Evaporador de circulación forzada
Los evaporadores de circulación forzada pueden no ser tan económicos, pero son necesarios cuando los productos involucrados en la evaporación tienen propiedades incrustantes, altas viscosidades, precipitaciones, cristalizaciones o ciertas características térmicas que imposibilitan una circulación natural.

CONDENSADOR

El condensador es un sistema de lentes situadas bajo la platina su función es la de concentrar la luz generada por la fuente de iluminación hacia la preparación. En el interior del condensador existe un diafragma-iris cuya función es limitar el haz de rayos que atraviesa el sistema de lentes eliminando los rayos demasiado desviados

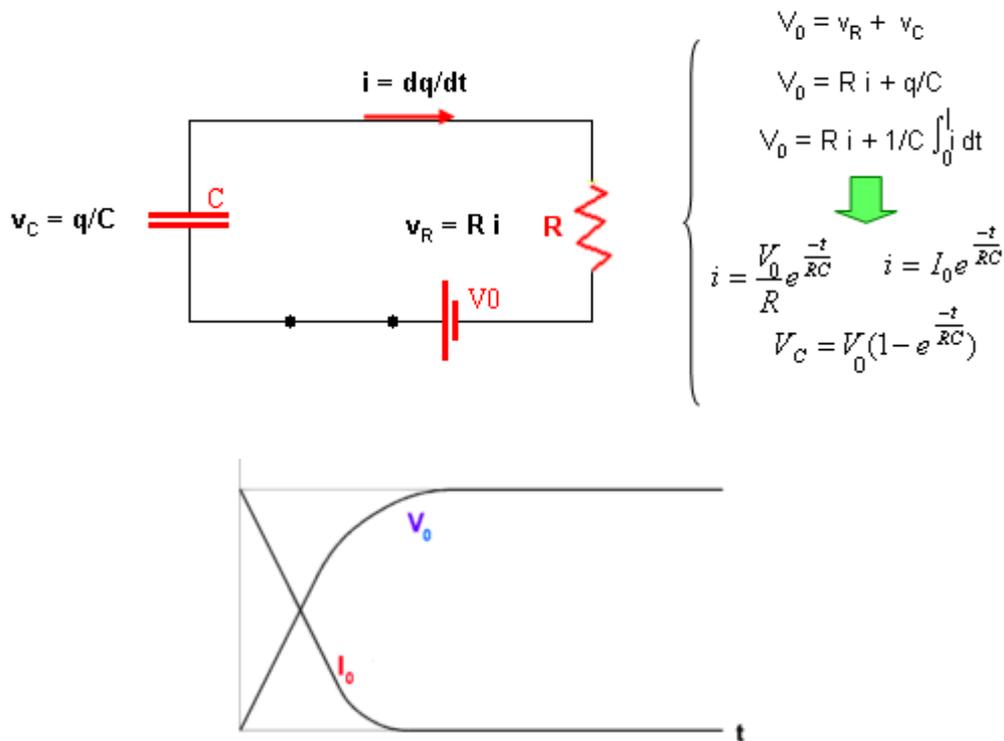
Un condensador es un dispositivo eléctrico que permite acumular cargas eléctricas.

Se denomina Capacidad C a la relación entre la carga Q almacenada por el condensador y la tensión U a la que está conectado

CAPACIDAD DE UN CONDENSADOR	
	$C = \frac{Q}{U}$ <p>C en Faradios Q en Culombios U en voltios</p>
CAPACIDAD DE UN CONDENSADOR PLANO	
<ul style="list-style-type: none"> - S superficie de las armaduras - d distancia entre armaduras - εr permisividad relativa (cte. dieléctrica) 1 para el vacío y aprox. para el aire: 1 para el vacío y aprox. para el aire - ε0 permisividad absoluta $1/36 \pi 10^9$ 	$C = \frac{\epsilon_r \times \epsilon_0 \times S}{d}$

CARGA DE UN CONDENSADOR

Cuando se conecta un condensador C a una fuente V_0 se produce un régimen transitorio dado por las ecuaciones siguientes:



La cantidad RC se denomina **constante de tiempo** del circuito, y su magnitud es importante para el tiempo de carga del condensador.

BIBLIOGRAFIA

1. Buergess H. Jennins and Samuel R. Lewis. "Aire Acondicionado y Refrigeración". C.E.C.S.A. Décima Octava reimpresión 1998.
2. Roy Dossat. "Principios de Refrigeración". C.E.C.S.A. Décima Octava reimpresión 1998.
3. Edward G. Pita. "Acondicionamiento de Aire". C.E.C.S.A. Sexta reimpresión 2002.
4. Paul F. Goliber. "Servicio de Refrigeración". DIANA. Segunda impresión 1995
5. P. J. Rapin. "Instalaciones Frigoríficas". MARCOMBO. Impresión 1993.