

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ

Facultad De Ciencias Aplicadas
EAP de Ingeniería Agroindustrial

OPERACIONES UNITARIAS II



La refrigeración y el ciclo de compresión de vapor

FACILITADOR : Msc. Miguel Angel QUISPE SOLANO

TARMA - PERÚ

CICLO DE REFRIGERACION POR COMPRESION DE VAPOR

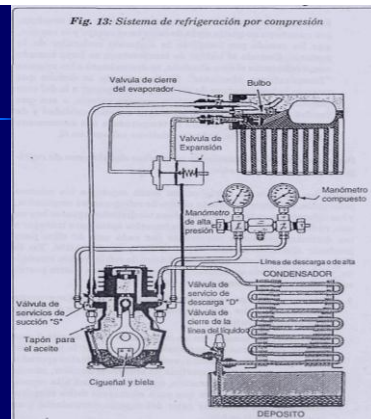
El ciclo de compresión de vapor es el ciclo de refrigeración más importante desde el punto de vista comercial. En tal ciclo, un fluido se evapora y se condensa alternativamente, siendo uno de los procesos que intervienen en el ciclo una compresión de vapor.

- La refrigeración mecánica utiliza propiedades y características de los agentes refrigerantes y mediante el control de estos en el interior del sistema, especialmente diseñados y construidos, es posible enfriar sustancias y espacios determinados a temperaturas próximas a las requeridas.
- Los equipos de refrigeración son similares, cualesquiera sean los agentes refrigerantes utilizados. Las diferencias derivan de las distintas presiones requeridas para lograr, en forma alternativa, la vaporización y la liquefacción o condensación de los distintos refrigerantes.

- Se ha visto que para poder enfriar un cuerpo, es necesario extraer de éste una cantidad suficiente de calor como para lograr que su temperatura descienda a valores muy inferiores a las normales del medio ambiente. Esto puede lograrse por conducción, convección o por medio de una combinación de estas formas de transmisión de calor.

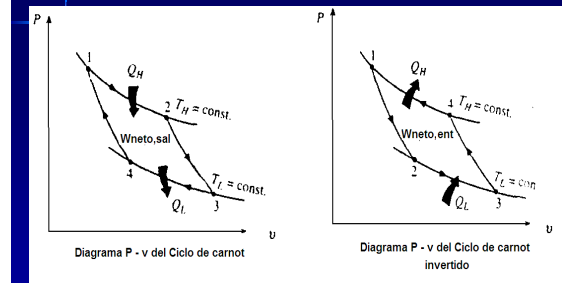
Principios fundamentales que hacen posible la refrigeración

- La extracción del calor y reducción de la temperatura de una sustancia es posible efectuarla, mediante el fenómeno de la evaporación de un líquido.
- El calor se transmite, en todos los casos; desde un cuerpo con mayor energía térmica, o también desde los cuerpos más calientes o de mayor temperatura, hacia lo más frío o de temperatura menor.
- La temperatura de un cuerpo no depende únicamente de la cantidad total de calorías contenidas en éste, sino depende también de la cantidad de calorías contenidas por unidad de peso o volumen de dicho cuerpo y de la naturaleza o sustancia que compone el cuerpo.
- La idea de la refrigeración no debe asociarse a la ausencia del calor; pues para que un cuerpo no posea nada de calor, a lo que es lo mismo, carezca en absoluto de calorías, su temperatura debe ser de -273°C bajo cero.



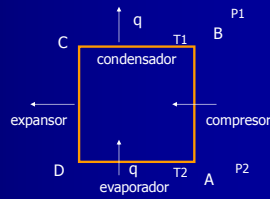
CICLO DE CARNOT

- El rendimiento del ciclo de Carnot es mayor que el de cualquier otro ciclo que trabaje entre las dos mismas temperaturas extremas.
- El ciclo de refrigeración de Carnot consigue el efecto inverso de la máquina térmica, porque transporta energía de un foco frío a un foco caliente.
- Para realizar el ciclo de refrigeración se necesita suministrar un trabajo externo



PROCESOS QUE COMPREDEN DEL CICLO DE CARNOT

- A-B Compresión adiabática
- B-C Cesión de calor isotérmica
- C-D Expansión adiabática
- D-A Adición de calor isoterma



COEFICIENTE DE FUNCIONAMIENTO

- Para poder evaluar el grado de bondad del funcionamiento de un sistema de refrigeración debe definirse un término que exprese su efectividad:
- $COF = \frac{\text{Cantidad de comodidad obtenida}}{\text{cantidad de gasto}}$
- $\text{Coeficiente de funcionamiento} = \frac{\text{Refrigeración útil}}{\text{Trabajo neto}}$

Condiciones para un coeficiente de funcionamiento óptimo

- Es de desear tener el mejor coeficiente de funcionamiento posible, puesto que esto indica que una refrigeración dada necesita el menor trabajo posible. ¿Qué puede hacerse en el ciclo de Carnot por consiguiente, para lograr un buen coeficiente de funcionamiento?

$$COF = \frac{T_2 (S_A - S_B)}{(T_1 - T_2) (S_A - S_B)} = \frac{T_2}{(T_1 - T_2)}$$

Para tener un alto coeficiente de funcionamiento se debe :

Trabajar con un T_2 grande.

Trabajar con un T_1 pequeño.

¿Pero no se tiene un control completo sobre T_1 y T_2 ? un estudio más completo demuestra que ciertos límites de temperatura viene siempre impuestos por el sistema de refrigeración.

Cómo entonces mejorar el coeficiente de funcionamiento si no se tiene control sobre las temperaturas?

- La respuesta es que se tiene que procurar hacer ΔT tan pequeño como sea posible. La reducción de ΔT se consigue aumentando el área de paso del calor A o el coeficiente total de transmisión de calor U en la ecuación:

$$Q = UA\Delta T$$

- Para disminuir ΔT hasta hacerle cero hay que hacer infinito bien a U o a A. Como lograr valores infinitos de U y A requerirían un costo infinito, no se llega nunca a reducir el valor a cero.

MODIFICACIONES EN EL CICLO DE CARNOT

1. COMPRESIÓN SECA EN LUGAR DE COMPRESIÓN HÚMEDA

- El proceso de compresión se llama compresión húmeda porque el proceso completo ocurre en la región de la mezcla en presencia de gotas de líquido.
- Cuando se utiliza el compresor de émbolo hay varias razones en contra del uso de una compresión húmeda:
 - El líquido puede quedar retenido en la culata del cilindro con la posibilidad de averiar las válvulas o la culata.
 - Las gotitas de líquido pueden arrastrar el aceite de lubricación de las paredes del cilindro, acelerándose el desgaste.

MODIFICACIONES EN EL CICLO DE CARNOT

1. PROCESO DE EXPANSIÓN

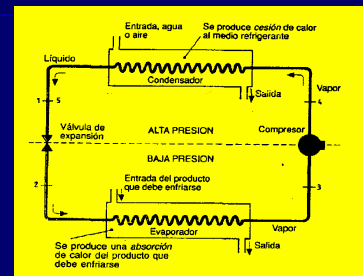
El ciclo de Carnot exige que la expansión se realice isoentrópicamente y el trabajo que se obtiene se utilice para mover el compresor. Sin embargo, consideraciones prácticas se oponen al uso de la máquina de expansión por:

- El posible trabajo suministrado por la máquina es una pequeña fracción del que debe suministrarse al compresor.
- Dificultades prácticas en la lubricación cuando un fluido de dos fases empuja el émbolo.
- La potencia recuperada rara vez justifica el costo de la máquina de expansión.

Sin embargo, sigue siendo necesario reducir la presión del líquido en el proceso de 3-4. Un extrangulamiento tal como una válvula u otro dispositivo similar es el sistema utilizado universalmente para este fin

PRINCIPIOS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR CICLO TEORICO O ESTANDAR

- Comportamiento del refrigerante
- Mediante que elementos se produce la variación de las características físicas para llevar a cabo el proceso.



Circuito elemental de una instalación frigorífica

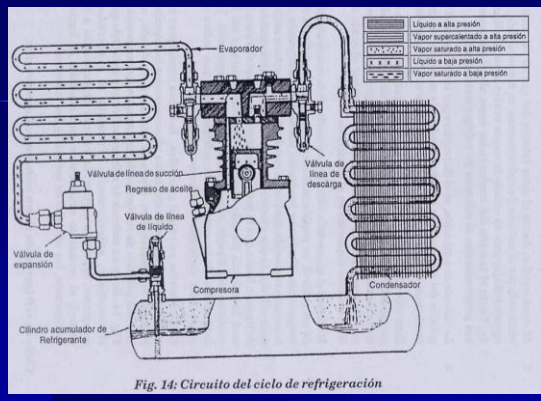
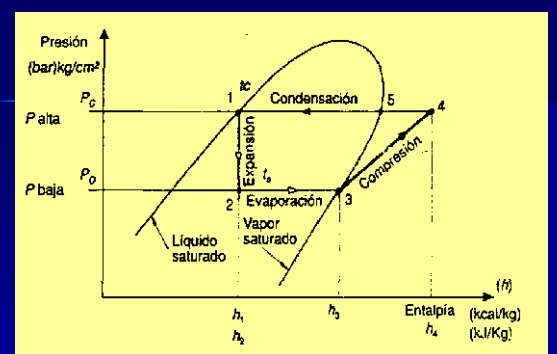


Fig. 14: Circuito del ciclo de refrigeración



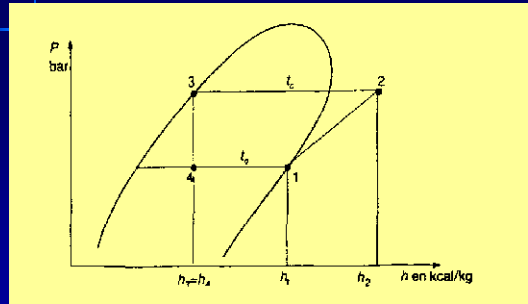
Proceso teórico de un ciclo de refrigeración

Modelo de calculo

- 1-2 Compresión
- 2-3 Condensación
- 3-4 Válvula de expansión
- 4-1 Evaporación

¿Trazar el diagrama p-h?

diagrama p-h

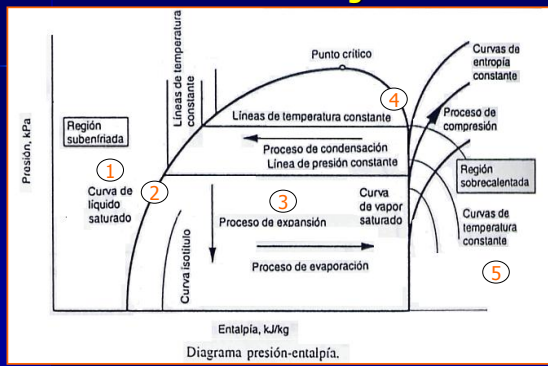


Parámetros a calcular

- Calor absorbido en el evaporador:
 $q_e = h_1 - h_4$
- Caudal masico del fluido frigorífico:
 $m = N_F / q_e$
- Produccion volumetrica:
 $q_v = q_e / v_e$
- Caudal volumetrico:
 $V = N_F / q_v$
- Trabajo especifico de compresion:
 $q_w = h_2 - h_1$

- Potencia del compresor:
 $P_c = m \cdot q_w$
- COP Frigorífico:
 $COP = P_c / q_w$
- Potencia frigorifica especifica:
 $K_f = 860 \cdot COP$
- Potencia indicada:
 $N_i = N_F / K_f$
- Potencia calorifica desprendida en el condensador
 $Q_c = m(h_2 - h_3)$

Datos de los refrigerantes

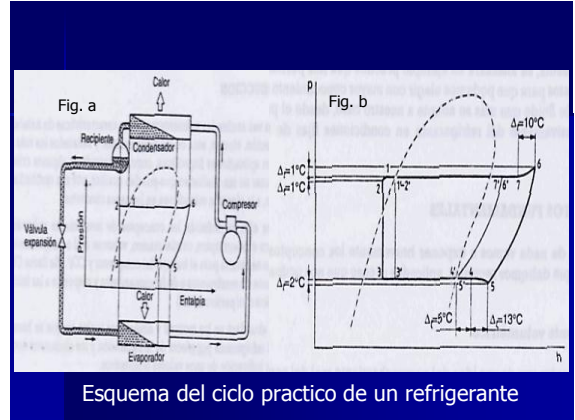


CICLO REAL DE COMPRESIÓN DE VAPOR

- Un ciclo real de refrigeración por compresión de vapor difiere de uno ideal de varias maneras, debido principalmente a las irreversibilidades que suceden en varios componentes. Dos fuentes comunes de irreversibilidades son la fricción del fluido (que provoca caídas de presión) y la transferencia de calor hacia o desde los alrededores.

CICLO REAL VARIACIONES RESPECTO AL CICLO TEÓRICO IDEAL

- Variaciones consistentes en pérdidas de presión en el dimensionado de los conductos de refrigerante
- En los elementos que componen la instalación
- En los intercambios caloríficos que se dan en ciertos lugares entre el fluido y los medios ambientes por los que atraviesa de forma natural o provocada.
- Estas variaciones deben preverse a *priori* para establecer las condiciones lo mas ajustadas posible a las que se someterá en realidad el fluido refrigerante que vaya a utilizarse y **nos servirán para dimensionar los elementos de modo que las cumplan.**



- El ciclo real aparece y es el ciclo 1-2-3-4-5-6-7-1, y en la misma figura aparece el ciclo teórico en números prima: 1'-2'-3'-4'-5'-6'-7'-1'.
- En el ciclo ideal no hay subenfriamiento del líquido ni recalentamiento del vapor, por esto se confunden los puntos 1' - 2' y los puntos 4' - 5'. También son el mismo punto 6' y 7'.

- En el ciclo real, el líquido que sale del condensador se subenfrija hasta 1 y pierde presión por rozamiento al pasar de 1 a 2. En la fig. b, se indica 1°C, esto quiere decir que la pérdida de presión es tal que equivale a un intervalo de temperatura de 1°C (eso es sólo orientativo).
- El vapor que sale del evaporador se recaliente, hasta 4, unos 5°C, y pierde presión por rozamiento de 4 a 5 el equivalente a 2°C, con un nuevo recalentamiento de 13°C. La compresión es de 5 a 6. En 6 se produce un enfriamiento hasta 7 de unos 10°C, perdiendo simultáneamente presión, el equivalente de 1°C.
- Si la compresión no estuviera sujeta a irreversibilidades, sería isoentrópica, es decir, la entropía en 5 sería igual que la entropía en 6. Como realmente no ocurre así, tendremos que: entropía en 6 > entropía en 5

Recalentamiento y subenfriamiento

- En 1er lugar, es fácil intuir que la presión del vapor de aspiración no será constante y exactamente la que corresponde a la temperatura de evaporación, ya que se producirán unas pérdidas debidas a los rozamientos en las tuberías y accesorios necesarios para su canalización.
- Si el vapor pasara directamente a la tubería de aspiración sin ningún recalentamiento podría arrastrar pequeñas partículas de líquido no vaporizado que causarían efectos negativos en la capacidad del compresor, cosa no deseable. Con el recalentamiento se elimina esta posibilidad.
- Esto significa que la temperatura del vapor aumenta y su volumen también, de manera que el volumen específico es mayor que el del vapor saturado, incluso en igualdad de presión.

- Como consecuencia, el caudal volumétrico en m³/h que debe mover el compresor será mayor, aumentando también la potencia necesaria y disminuyendo la eficacia (COP) del ciclo.
- El recalentamiento supone absorción de calor, que puede producirse al final del evaporador o en los tramos de tubería situados dentro o fuera del recinto refrigerado o mediante la utilización de un intercambiador de calor.

- Si no se desea que los tramos exteriores al recinto absorban calor, produciendo escarcha en la superficie de la tubería, deberían aislarse convenientemente, de manera que la temperatura exterior de la tubería sea superior a la temperatura de rocío del ambiente en la que se ubique.
- La solución que se tome deberá, no obstante, estar encaminada a evitar que parte del líquido sea arrastrada por la tubería de aspiración hasta el compresor.
- De lo dicho puede deducirse que un valor adecuado de sobrecalentamiento resulta deseable.

- Fijadas unas temperaturas de condensación y evaporación para el ciclo frigorífico, es fácil comprender que cuanto mayor sea la diferencia de entalpías entre los puntos 4 y 3 de la fig. b, mayor será el efecto frigorífico específico del refrigerante por unidad de masa.
- Para conseguir un incremento entre los puntos 3 y 3' de la figura puede procederse a subenfriar el líquido antes de su entrada en la válvula de expansión del punto 2' al punto 2. Este subenfriamiento puede conseguirse de varias formas y en distintos lugares.

- Frecuentemente suele subenfriarse cuando se encuentra en el recipiente de líquido, o mientras circula por la tubería cediendo parte de su calor al aire que la rodea (Fig. a).
- Puede usarse un subenfriador consistente, si se utiliza un condensador por agua, en hacerla circular por dicho subenfriador.

- También puede usarse un intercambiador de calor, haciendo circular por él el vapor frío del tramo de tubería de aspiración antes de entrar al compresor.
- Pérdidas de presión**
- Las pérdidas de presión son debidas fundamentalmente al rozamiento que sufre el refrigerante durante su circulación por las tuberías, aparatos, recipientes y accesorios (válvulas, codos, etc.).

- A la salida del evaporador, el vapor tendrá una presión y temperatura de evaporación algo menor y un volumen específico algo mayor al que tendría si no existieran dichas pérdidas de presión o de carga.
- Por este motivo el compresor deberá salvar un mayor incremento de presión y utilizará para ello mayor potencia.
- Las tuberías y su geometría normalmente serán diseñadas para que la caída en la aspiración no sobrepase un valor de disminución de 1 o 2 °C en la temperatura de evaporación, en la mayoría de los casos.

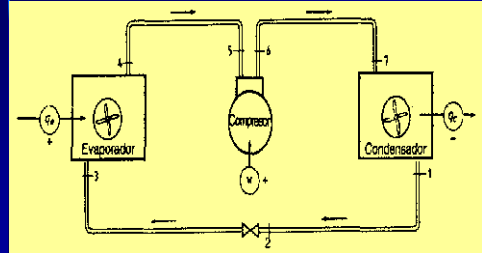
- El compresor, además, deberá comprimir el vapor a un valor superior a la presión que corresponde a la temperatura de condensación, con el fin de que el vapor se vea forzado a salir de las válvulas de descarga y superar dicha presión de condensación.
- También existen pérdidas de presión en la línea de líquido producidas por los tramos de tuberías, filtros, solenoides, etc.

Determinar

- Rendimiento Volumetrico:
 $\eta_v = 1 - e.p_6/p_5$
- Rendimiento isentropico:
 $\eta_i = \eta_v \cdot \eta_m$
- Caudal masico:
 $m = P \text{ frigorifica } / \Delta h \text{ evaporacion}$
- Volumen real:
 $V_r = V_g \cdot 1 / \eta_v$
Pero $V_g = V_g \cdot Ve$

- Potencia absorbida por el compresor

$$P_a = (h_6 - h_5)m$$



- Coeficiente de rendimiento (COP)
COP= Efecto refrigerante/Trabajo de compresión
COP= $h_4 - h_3 / h_6 - h_5$

Uso y aplicaciones de sistemas por compresión

Se da por:

- 1) El desarrollo de métodos de fabricación
- 2) La fabricación de equipos pequeños y eficientes
- 3) Desarrollo de refrigerantes seguros
- 4) Invención de motores eléctricos de potencia fraccionada

Clasificación de las Aplicaciones:

- a) Refrigeración Doméstica
- b) Refrigeración Comercial
En general las unidades comerciales pueden agruparse en tres categorías:
 1. Refrigeradores:
 2. Enfriadores con pasillo interno
 3. Unidades de exhibición

- c) Refrigeración Industrial
- d) De marina y transporte
- e) Acondicionamiento de aire

LÁMINA 5: REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA

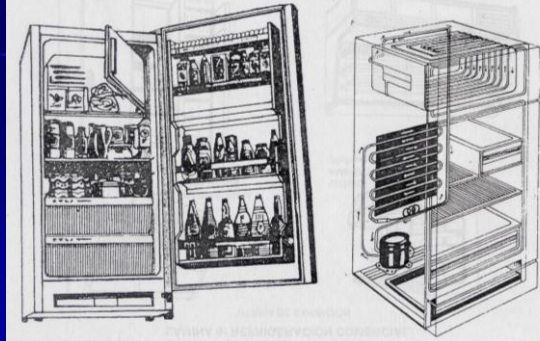
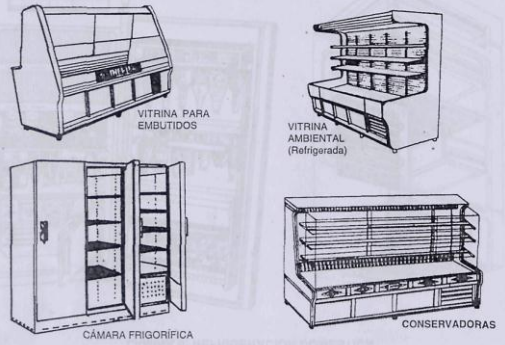


LÁMINA 6: REFRIGERACIÓN COMERCIAL



LAMINA 7: REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

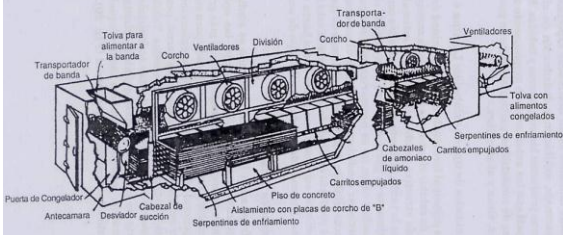


Fig. 20: Planta de Congelamiento de productos