

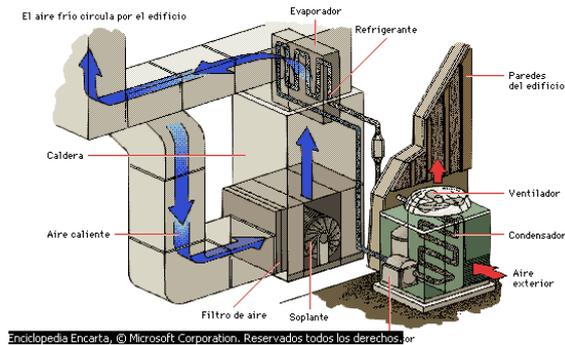
CICLO DE REFRIGERACION POR COMPRESION DE VAPOR

Objetivos:

- ✦ Localizar Los puntos de entrada y salida de los diferentes dispositivos usados en el ciclo.
- ✦ Graficar en un diagrama P-h las transformaciones que sufre el refrigerante.
- ✦ Analizar y comparar los resultados obtenidos en las diferentes pruebas.
- ✦ Encontrar la potencia del compresor, el calor añadido del evaporador y el coeficiente de funcionamiento para el refrigerador COP_R.

Teoría:

Los sistemas de compresión emplean cuatro elementos en el ciclo de refrigeración: compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador. En el evaporador, el refrigerante se evapora y absorbe calor del espacio que está enfriando y de su contenido. A continuación, el vapor pasa a un compresor movido por un motor que incrementa su presión, lo que aumenta su temperatura. El gas sobrecalentado a alta presión se transforma posteriormente en líquido en un condensador refrigerado por aire o agua. Después del condensador, el líquido pasa por una válvula de expansión, donde su presión y temperatura se reducen hasta alcanzar las condiciones que existen en



el evaporador.

Ciclo de refrigeración

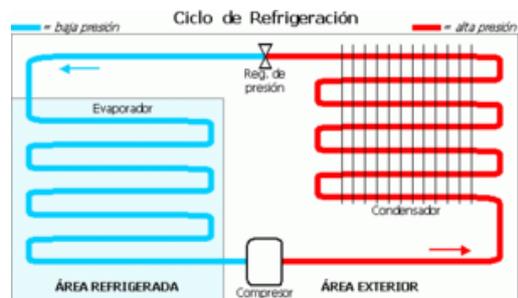
Este ciclo obedece a la ley de los gases perfectos y la relación [presión-temperatura](#):

$$P \cdot V = R \cdot m \cdot T$$

donde P es la presión, V es volumen, m es masa en kilos, R es la constante universal de los gases y T la temperatura.

A fin de circular el fluido refrigerante y optimizar su absorción de calor se utiliza un compresor:

1. El compresor absorbe el refrigerante como un gas a baja presión y baja temperatura y lo mueve comprimiéndolo hacia el área de alta presión, donde el refrigerante es un gas a alta presión y alta temperatura.
2. Al pasar por el condensador el calor del refrigerante se disipa al ambiente. El refrigerante se licua y sigue a alta presión).
3. De ahí, pasa a través del dispositivo regulador de presión que separa las áreas de alta presión y baja presión mediante una reducción de la sección de paso. Al bajar la presión, la temperatura de saturación del refrigerante baja, permitiendo que absorba calor.
4. Ya en el lado de baja presión, el refrigerante llega al evaporador donde absorbe el calor del ambiente y se evapora. De ahí pasa otra vez al compresor cerrando el ciclo.



Los elementos mínimos son:

- **Refrigerante:** en un fluido con propiedades especiales de evaporación y licuado. Su función consiste en, mediante los cambios de presión inducidos, absorber calor en un lugar y disiparlo en otro.
- **Compresor:** es un dispositivo mecánico que bombea el fluido refrigerante, creando una zona de alta presión y provocando el movimiento del refrigerante en el sistema.
- **Condensador:** generalmente es un serpentín de cobre con laminillas de aluminio a modo de disipadores de calor. Es un intercambiador y su función consiste en liberar el calor del refrigerante al ambiente.
- **Evaporador:** también es un serpentín, pero su presentación varía. En los equipos de acondicionamiento de aire es muy similar al condensador, pero en los refrigeradores domésticos suele ir oculto en las paredes del congelador. Es otro intercambiador y su función es que el refrigerante absorba calor del área refrigerada.
- Dispositivo regulador de presión: según el caso puede ser una **válvula de expansión** o un **tubo capilar**. Su función consiste en controlar el paso del refrigerante desde al área de alta presión a la de baja presión.

Elementos usualmente anexos:

- **Termostato:** su función es apagar o encender automáticamente el compresor a fin de mantener el área refrigerada dentro de un campo de temperaturas.
- **Ventilador:** su función es aumentar el flujo de aire para mejorar el intercambio de calor. Generalmente está en el área del condensador. Según el tipo de dispositivo que sea, puede haber o no en el área del evaporador.

Otros elementos no siempre presentes son:

- Filtro de humedad
- Depósito de refrigerante líquido

Hay que distinguir, en la potencia, dos magnitudes: potencia absorbida (en energía mecánica, sea con motor eléctrico, con motor de explosión o con turbina) y potencia de enfriamiento o de refrigeración

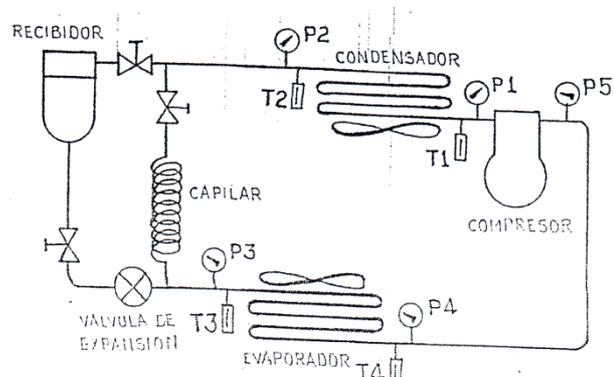
- En el **Sistema Internacional de Unidades (SI)**, la potencia de los equipos frigoríficos se mide en **watios (W)** o en múltiplos de sus unidades.
- En el **Sistema técnico de unidades** se utiliza para la **potencia** de enfriamiento la **caloría/hora**, aceptada en un anexo del SI, aunque a menudo se llama **frigoría/hora** que tiene la misma definición que la **caloría/hora** y la única diferencia es que se emplea para medir el calor extraído, no el aportado.
- En la práctica comercial americana, la potencia de refrigeración se mide en "**toneladas de refrigeración**", o en **BTUs**.

Equipo utilizado:

- ♦ Equipo de refrigeración Carrier: Modelo CT1 – 104 Refrigeraron cycle trainer.
- ♦ Refrigerante: Freon 134a.

Procedimiento experimental:

Operación con la Válvula de Expansión termostática



1. Coloque el interruptor de voltaje a la posición LINE.
2. Coloque el interruptor del amperímetro a la escala mayor.
3. Coloque el interruptor del vatímetro a la posición OUT.
4. Cierre las válvulas 2 y 3 y abra la válvula 1.
5. Cierre la válvula 5 y abra las válvulas 4 y 6.
6. Cierre las válvulas 7, 9 y 10.
7. Abra la válvula 8.
8. Coloque los interruptores de los ventiladores tanto del condensador como del evaporador a la velocidad mayor.
9. Encienda la unidad colocando el interruptor del compresor a la posición ON.
10. Permita la operación de la unidad por 10 minutos.
11. Tome la lectura de los datos indicados en la tabla.
12. Coloque el interruptor del ventilador a la velocidad media y repita los pasos 10 y 11.
13. Coloque el interruptor del ventilador a la velocidad menor y repita los pasos 10 y 11.
14. Grafique el diagrama P-h (R-134a) para cada proceso.

Operación con el tubo capilar

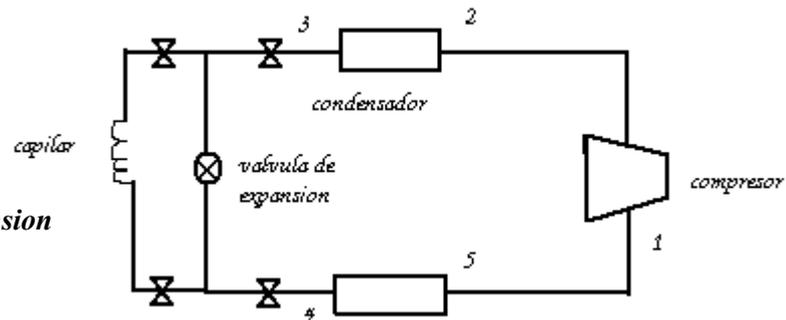
1. Coloque el interruptor de voltaje a la posición LINE.
2. Coloque el interruptor del amperímetro a la escala mayor.
3. Coloque el interruptor del vatímetro a la posición OUT.
4. Cierre las válvulas 1 y 3 y abra la válvula 2.
5. Cierre las válvulas 4 y 6 abra la válvula 5.
6. Cierre la válvula 8 y abra la válvula 7.
7. Cierre las válvulas 9 y 10.
8. Coloque los interruptores de los ventiladores tanto del condensador como del evaporador a la velocidad mayor.
9. Encienda la unidad colocando el interruptor del compresor a la posición ON.
10. Permita la operación de la unidad por 10 minutos.
11. Tome la lectura de los datos indicados en la tabla.
12. Coloque el interruptor del ventilador a la velocidad media y repita los pasos 10 y 11.
13. Coloque el interruptor del ventilador a la velocidad menor y repita los pasos 10 y 11.
14. Grafique el diagrama P-h (R-134a) para cada proceso.

Tabla de datos:

TABLA DE DATOS						
	Válvula de expansión			Capilar		
<i>compresor</i>	alta	media	baja	alta	media	baja
Te (°C)	25	25	25	25	25	25
Pe (psig)	10	10	10	3	3	3
Ts (°C)	60	65	68	64	65	67
Ps (psig)	100	105	110	95	100	100
<i>condensador</i>						
Te (°F)	130	132	138	118	124	130
Pe (psig)	100	105	110	95	100	100
Ts (°C)	30	30	31	28	28	29
Ps (psig)	100	105	110	95	100	100
<i>evaporador</i>						
Te (°F)	22	22	26	14	14	15
Pe (psig)	10	12	12	0	0	1

Ts (°C)	25	24	24	25	25	25
Ps (psig)	10	9	8	0	0	0

Cálculos:



Válvula de expansion

Alta

$h_5 = h_1$

- 1) $T = 77^\circ\text{F}$
 $P = 24.7 \text{ Psia}$
 $h_1 = 38 \text{ BTU/lbm}$

$W_e = h_2 - h_1$
 $W_e = 55 - 38$
 $W_e = 17 \text{ BTU/lbm}$

- 2) $T = 130^\circ\text{F}$
 $P = 114.7 \text{ Psia}$
 $h_2 = 55 \text{ BTU/lbm}$

$q_l = h_5 - h_4$
 $q_l = 38 - 21$
 $q_l = 17 \text{ BTU/lbm}$

- 3) $T = 86^\circ\text{F}$
 $P = 114.7 \text{ Psia}$
 $h_3 = 40 \text{ BTU/lbm}$

$\text{COP}_R = q_l / W_e$
 $\text{COP}_R = 17 \text{ BTU/lbm} / 17 \text{ BTU/lbm}$
 $\text{COP}_R = 1$

- 4) $T = 22^\circ\text{F}$
 $P = 24.7 \text{ Psia}$
 $h_4 = 21 \text{ BTU/lbm}$

Media

- 1) $T = 77^\circ\text{F}$
 $P = 24.7 \text{ Psia}$
 $h_1 = 38 \text{ BTU/lbm}$

$W_e = h_2 - h_1$
 $W_e = 56 - 38$
 $W_e = 18 \text{ BTU/lbm}$

- 2) $T = 132^\circ\text{F}$
 $P = 119.7 \text{ Psia}$
 $h_2 = 56 \text{ BTU/lbm}$

$q_l = h_5 - h_4$
 $q_l = 38 - 19$
 $q_l = 19 \text{ BTU/lbm}$

- 3) $T = 86^\circ\text{F}$
 $P = 114.7 \text{ Psia}$
 $h_3 = 40 \text{ BTU/lbm}$

$\text{COP}_R = q_l / W_e$
 $\text{COP}_R = 19 \text{ BTU/lbm} / 18 \text{ BTU/lbm}$
 $\text{COP}_R = 1.05$

- 4) $T = 22^\circ\text{F}$
 $P = 26.7 \text{ Psia}$
 $h_4 = 19 \text{ BTU/lbm}$

Baja

- 1) $T = 77^\circ\text{F}$
 $P = 24.7 \text{ Psia}$
 $h_1 = 38 \text{ BTU/lbm}$

$W_e = h_2 - h_1$
 $W_e = 58 - 38$
 $W_e = 20 \text{ BTU/lbm}$

- 2) $T = 138^\circ\text{F}$

$q_l = h_5 - h_4$

$$P = 124.7 \text{ Psia}$$

$$h_2 = 58 \text{ BTU/lbm}$$

$$q_1 = 38 - 20$$

$$q_1 = 18 \text{ BTU/lbm}$$

3) $T = 87.8^\circ\text{F}$
 $P = 124.7 \text{ Psia}$
 $h_3 = 40 \text{ BTU/lbm}$

$$\text{COP}_R = q_1 / W_e$$

$$\text{COP}_R = 18 \text{ BTU/lbm} / 20 \text{ BTU/lbm}$$

$$\text{COP}_R = 0.8$$

4) $T = 26^\circ\text{F}$
 $P = 26.7 \text{ Psia}$
 $h_4 = 20 \text{ BTU/lbm}$

Capilar

Alta

$$h_5 = h_1$$

1) $T = 77^\circ\text{F}$
 $P = 17.7 \text{ Psia}$
 $h_1 = 36 \text{ BTU/lbm}$

$$W_e = h_2 - h_1$$

$$W_e = 50 - 36$$

$$W_e = 14 \text{ BTU/lbm}$$

2) $T = 118^\circ\text{F}$
 $P = 109.7 \text{ Psia}$
 $h_2 = 50 \text{ BTU/lbm}$

$$q_1 = h_5 - h_4$$

$$q_1 = 36 - 10$$

$$q_1 = 26 \text{ BTU/lbm}$$

3) $T = 82.4^\circ\text{F}$
 $P = 109.7 \text{ Psia}$
 $h_3 = 40 \text{ BTU/lbm}$

$$\text{COP}_R = q_1 / W_e$$

$$\text{COP}_R = 26 \text{ BTU/lbm} / 14 \text{ BTU/lbm}$$

$$\text{COP}_R = 1.857$$

4) $T = 14^\circ\text{F}$
 $P = 14.7 \text{ Psia}$
 $h_4 = 10 \text{ BTU/lbm}$

Media

1) $T = 77^\circ\text{F}$
 $P = 17.7 \text{ Psia}$
 $h_1 = 36 \text{ BTU/lbm}$

$$W_e = h_2 - h_1$$

$$W_e = 54 - 36$$

$$W_e = 18 \text{ BTU/lbm}$$

2) $T = 124^\circ\text{F}$
 $P = 114.7 \text{ Psia}$
 $h_2 = 54 \text{ BTU/lbm}$

$$q_1 = h_5 - h_4$$

$$q_1 = 36 - 10$$

$$q_1 = 26 \text{ BTU/lbm}$$

3) $T = 84.2^\circ\text{F}$
 $P = 114.7 \text{ Psia}$
 $h_3 = 42 \text{ BTU/lbm}$

$$\text{COP}_R = q_1 / W_e$$

$$\text{COP}_R = 26 \text{ BTU/lbm} / 18 \text{ BTU/lbm}$$

$$\text{COP}_R = 1.444$$

4) $T = 14^\circ\text{F}$
 $P = 14.7 \text{ Psia}$
 $h_4 = 10 \text{ BTU/lbm}$

Baja

1) $T = 77^\circ\text{F}$
 $P = 17.7 \text{ Psia}$
 $h_1 = 36 \text{ BTU/lbm}$

$$W_e = h_2 - h_1$$

$$W_e = 58 - 36$$

$$W_e = 22 \text{ BTU/lbm}$$

2) $T = 130^\circ\text{F}$
 $P = 114.7 \text{ Psia}$

$$q_1 = h_5 - h_4$$

$$q_1 = 36 - 15$$

$$h_2 = 58 \text{ BTU/lbm}$$

$$q_1 = 21 \text{ BTU/lbm}$$

- 3) $T = 84.2^\circ\text{F}$
 $P = 114.7 \text{ Psia}$
 $h_3 = 41 \text{ BTU/lbm}$

$$\text{COP}_R = q_1 / W_e$$

$$\text{COP}_R = 21 \text{ BTU/lbm} / 22 \text{ BTU/lbm}$$

$$\text{COP}_R = 0.954$$

- 4) $T = 15^\circ\text{F}$
 $P = 15.7 \text{ Psia}$
 $h_4 = 15 \text{ BTU/lbm}$

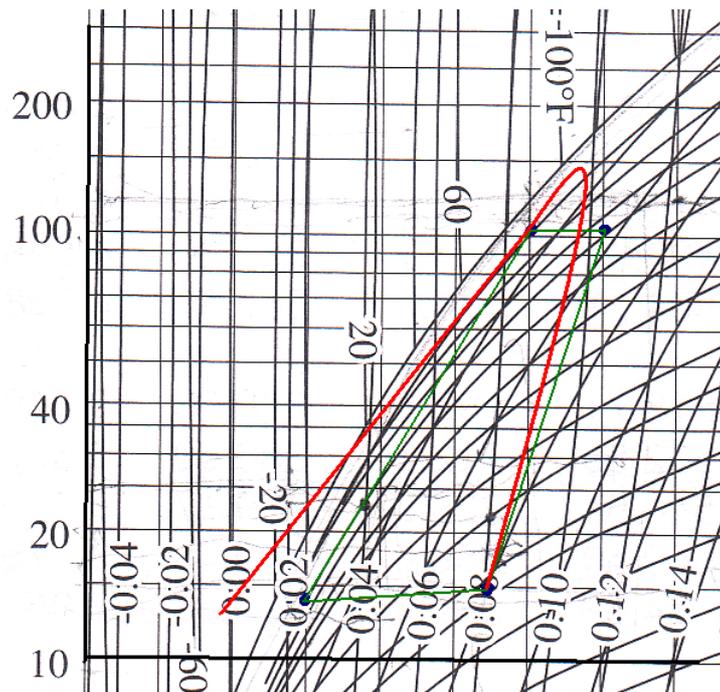
Resultados obtenidos:

q_L, W [BTU/lbm]

<i>Válvula de expansión</i>	alta	media	baja
q_L	17	19	18
W	17	18	20
COP_R	1	1.05	0.9

<i>Capilar</i>	alta	media	baja
q_L	26	26	21
W	14	18	22
COP_R	1.857	1.444	0.954

Diagrama P-h del Refrigerante 134^a



Observaciones:

- ♦ El equipo utilizado había sido diseñado para trabajar con refrigerante R-12, pero como se determino que este refrigerante es contaminante se lo sustituyo por refrigerante R-134a.
- ♦ Algunos de los medidores de presión no funcionaban.
- ♦ No todos los medidores de temperatura daban las lecturas en las mismas unidades.

Recomendaciones:

- ♦ Es importante conocer el funcionamiento de cada ciclo para poder adaptarlo y aplicarlo a cada necesidad que surge en la actualidad.
- ♦ Antes de encender el equipo debemos hacer un recorrido por las tuberías, analizando por donde se completa el ciclo.
- ♦ Antes de encender el equipo hay que asegurarse que las válvulas estén correctamente abiertas o cerradas de acuerdo al procedimiento indicado anteriormente.
- ♦ Una vez encendido el equipo déjelo actuar por unos 10 minutos antes de iniciar a tomar las lecturas.

Conclusiones:

- ♦ Al estudiar los sistemas de refrigeración y analizar su modo de operación, se concluye que estos tienen diversas aplicaciones tanto para la comodidad como para el desarrollo tecnológico de la sociedad.
- ♦ Cuando el equipo de refrigeración trabaja a altas velocidades posee un coeficiente de performance mayor con respecto al de velocidad baja.
- ♦ Al trabajar con velocidad baja el compresor requiere de mas trabajo con respecto al de velocidad alta; pero el evaporador requiere de menos calor que trabajando a una velocidad alta.
- ♦ El ciclo de refrigeración por compresión de vapor, es el más utilizado y el más adecuado para la mayor parte de las aplicaciones de refrigeración.
- ♦ El ciclo cuando trabaja a altas velocidades consume mas potencia que el de baja.

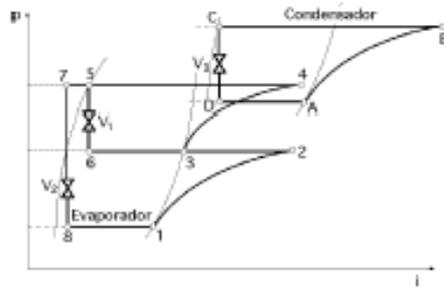
Bibliografía:

- ♦ www.otherswork.com
- ♦ Termodinámica, Cengel y Boles, Cuarta edición, Mc Graw-Hill

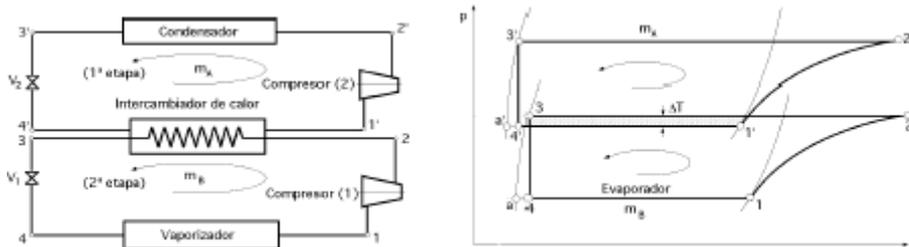
Preguntas evaluativas:

1. *Enumere alguna de las aplicaciones industriales del ciclo de refrigeración*
 - a) En refrigeradores
 - b) licuefacción de gases
 - c) Sistemas de refrigeración de aeronaves
 - d) para la fabricación de hielo
 - e) para la conservación de alimentos

2. *Elabore el diagrama de energía, los diagramas T-s y P-h de un ciclo de refrigeración en cascada*



Ciclo de cascada simple



Ciclo de cascada con doble etapa de compresión

3. *Explique las ventajas de un ciclo de refrigeración en cascada, con respecto al estudiado en la práctica.*

El ciclo simple de refrigeración por compresión de vapor, es el más utilizado y el más adecuado para la mayor parte de las aplicaciones de refrigeración. Los sistemas de refrigeración por compresión de vapor ordinarios son simples, económicos, confiables y casi no necesitan mantenimiento. Sin embargo, en grandes aplicaciones industriales la eficiencia, no la simplicidad, es lo que mas importa. También en algunas aplicaciones el ciclo simple de refrigeración por compresión de vapor es inadecuado y es necesario modificarlo; por ejemplo utilizando un ciclo de compresión de vapor de usos múltiples que es aplicable a los refrigeradores ya que estos necesitan diferentes niveles de energía. Mientras que la refrigeración en cascada o por compresión múltiple indirecta; 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.

Por eso, para la producción de frío a bajas temperaturas, se han desarrollado **sistemas de compresión**

Indirecta o de cascada, 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.

4. *mencione dos diferentes tipos de ciclos de refrigeración, adicionales al estudiado en la práctica.*
 - ♦ Ciclo de refrigeración por Absorción
 - ♦ Ciclo de linde-hampson