

## PRÁCTICA 16

### MÁQUINAS TÉRMICAS

#### OBJETIVO

Análisis del ciclo de refrigeración por compresión en un diagrama de Mollier. Determinación de la eficiencia frigorífica por procedimientos calorimétricos.

#### MATERIAL NECESARIO

- ✓ Máquina frigorífica
- ✓ Termómetro digital
- ✓ Diagrama p-h (R134A)
- ✓ Vatímetro
- ✓ 2 manómetros
- ✓ 4 termopares
- ✓ 2 calorímetros
- ✓ Agitador
- ✓ Vasos de precipitados
- ✓ Probeta graduada
- ✓ Jeringuilla

#### INTRODUCCIÓN TEÓRICA

Las máquinas frigoríficas son dispositivos que transfieren energía en forma de calor desde una sustancia a otra que se encuentra a mayor temperatura. El dispositivo real que realiza esta transferencia de calor requiere el suministro de una energía adicional en forma de trabajo, como indica la figura 1. Desde el punto de vista termodinámico no existe diferencia alguna entre un dispositivo refrigerador (o máquina frigorífica) y una bomba de calor (o bomba térmica). La diferencia se debe al propósito que se pretende conseguir en este proceso. Siendo  $T_2 > T_1$  y representando los valores absolutos de las cantidades de calor y el trabajo por  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $W$ , respectivamente, se cumple:  $Q_2 = Q_1 + W$ .

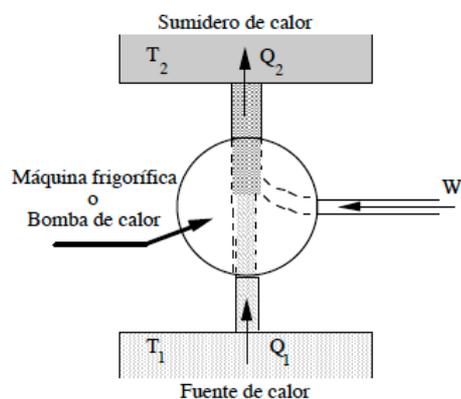


Figura 1.- Esquema de una máquina frigorífica o bomba de calor.

Recibe el nombre de eficiencia (o rendimiento),  $\beta$ , el cociente de dividir lo que se pretende obtener por el trabajo que tenemos que suministrar para su funcionamiento. Por lo tanto:

$$\beta_{frigorif} = \frac{Q_1}{W}, \quad \beta_{bomba} = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_1 + W}{W} = \beta_{frigorif} + 1 \quad (1)$$

#### El ciclo de refrigeración

En la figura 2 se muestra el sistema de refrigeración por compresión mecánica del vapor y la representación termodinámica del ciclo en un diagrama  $TS$ . En este sistema existen sólo dos niveles de presión y consta de cuatro elementos fundamentales: compresor, condensador, válvula de expansión y

evaporador. El calor se cede o se absorbe a presión constante dentro de la curva de saturación, de manera que el fluido de trabajo realiza dos cambios de estado.

El vapor en **b** se comprime de  $p_1$  a  $p_2$ , alcanzándose el punto **c** (el compresor realiza un trabajo  $W$ ). El vapor se condensa a presión constante en el condensador, cediendo un calor  $Q_2$ . El líquido condensado en el proceso isobárico **c-d**, se expandiona por efecto Joule-Kelvin (J-K), sin trabajo externo alguno, de  $p_2$  a  $p_1$ , y se alcanza el punto **a**, que es una mezcla de mucho líquido y poco vapor. En el proceso **a-b**, a presión y temperatura constantes, se produce la evaporación de todo el líquido, absorbiéndose un calor  $Q_1$ .

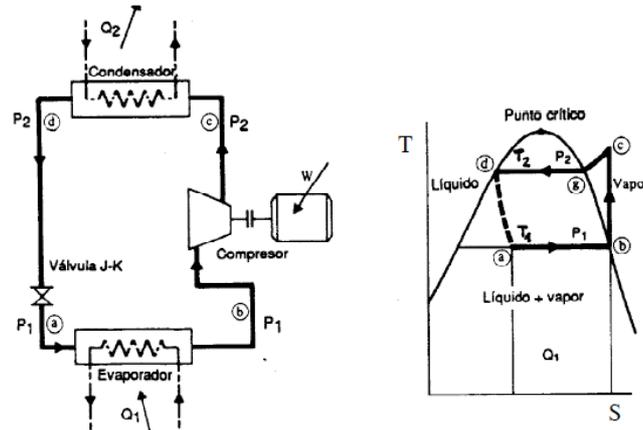


Figura 2.- Ciclo de refrigeración por compresión y diagrama  $TS$  del mismo.

El proceso de expansión por efecto J-K es irreversible i no se puede representar en el diagrama  $TS$ , pero el estado del punto final es conocido porque, en estas circunstancias, la entalpía del fluido después de la válvula (punto **a**) es la misma que tenía antes (punto **d**).

Cuando se aplica la ecuación energética de un fluido en régimen estacionario al proceso de compresión adiabática, se demuestra que todo el trabajo realizado sobre el fluido ( $W < 0$ ), en valor absoluto, es igual al incremento de la entalpía del fluido en dicho proceso. En valores por unidad de masa  $m$

$$\frac{|W|}{m} = h_c - h_b \quad (2)$$

El efecto refrigerante es igual a la diferencia de entalpías en los puntos extremos del proceso de evaporación a presión constante (puntos **a** y **b**). Así:

$$\frac{Q_1}{m} = h_b - h_a = h_b - h_d \quad (3)$$

Análogamente, el efecto calefactor vale:

$$\frac{Q_2}{m} = h_c - h_d \quad (4)$$

### Diagrama presión-entalpía (Mollier).

Este diagrama termodinámico resulta muy adecuado para el estudio del ciclo termodinámico de una maquina frigorífica. Se representa en la figura 3. Su principal ventaja es que las cantidades de calor y de trabajo se miden por las distancias lineales según el eje de abscisas y que los procesos isobáricos se representan por líneas horizontales. El ciclo de refrigeración se realiza entre dos presiones bien diferenciadas. Los puntos principales del ciclo se localizan fácilmente en una u otra de las dos líneas de presión. Puesto que la entalpía es constante en el proceso de expansión J-K, la línea **d-a** se dibuja fácilmente y el punto **a** se localiza a partir del punto **d**. En el ciclo mostrado en la figura, resulta evidente que las cantidades  $Q_2$ ,  $Q_1$  y  $W$  cumplen que  $Q_2 = Q_1 + W$  (en valores absolutos).

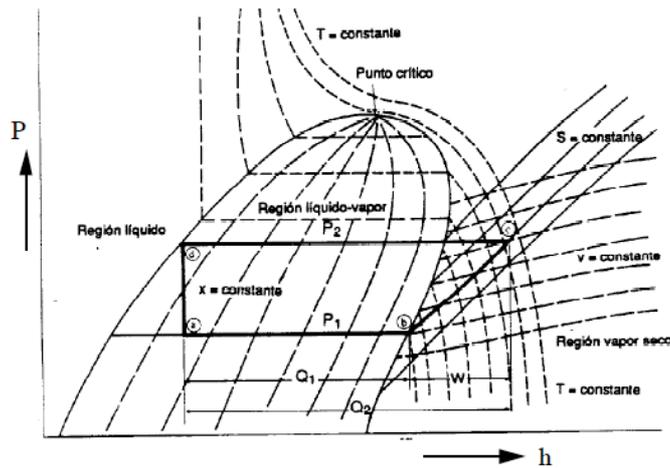


Figura 3.- Ciclo de refrigeración en el diagrama presión-entalpía.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### Dispositivo experimental

El dispositivo experimental utilizado puede verse en la figura 4. El grupo motor-compresor funciona a 220-240 V, 50 Hz y 100 W. Dispone de boca de succión, B, salida de presión, A, y válvula de carga de refrigerante, C. Condensador y evaporador están constituidos por serpentines de cobre que funcionan como intercambiadores de calor. El tubo de cobre está enrollado en forma helicoidal. En el circuito se ha instalado un filtro absorbente del vapor de agua para evitar la formación de hielo en el proceso de expansión. Como válvula de estrangulamiento se emplea un tubo de cobre de 1 mm de diámetro interior.

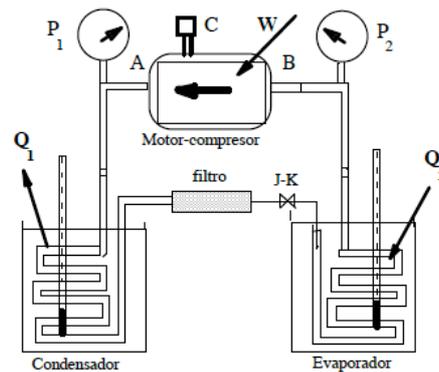


Figura 4.- Dispositivo experimental.

Se miden las presiones  $p_1$  (alta) y  $p_2$  (baja) con los manómetros y las temperaturas tanto a la entrada como a la salida de cada uno de los serpentines, utilizando sensores constituidos por termopares tipo K (cromel-alumel) de lectura digital.

### Realización de medidas

Se coloca en los dos calorímetros la cantidad de agua necesaria para cubrir completamente los dos serpentines, midiendo dicha cantidad (igual en los dos) con la probeta graduada y la temperatura de la misma con el termómetro digital de resistencia de platino ( $T_1$  y  $T_2$ ). Se anotan los valores iniciales señalados por los diferentes instrumentos del dispositivo experimental: los manómetros ( $p_1$  y  $p_2$ ) y los termopares colocados a la entrada y a la salida de condensador y evaporador ( $T_a, T_b, T_c$  y  $T_d$ ).

Después de esta primera medida, se enchufa el compresor y se mide cada dos minutos (hasta 10 min) la temperatura del agua, agitando el agua metódicamente y en especial antes de cada lectura. También se anotarán los valores de la potencia del compresor, así como las presiones y las lecturas de los termopares.

Se repite todo el proceso anterior tres veces, vaciando cada vez el agua de los calorímetros con ayuda de la jeringuilla. Es importante asegurarse de volver a la temperatura inicial y de tener la misma temperatura

en el agua de los dos calorímetros antes de volver a empezar (Para ello quizá sea necesario volver a cambiar el agua, si se desea ahorrar tiempo).

Puede ser necesario deshechar la primera tanda de medidas a la vista de los resultados (la máquina debe alcanzar un régimen de trabajo adecuado). Con los valores medios de las temperaturas del agua se calculará la eficiencia frigorífica y calefactora, teniendo en cuenta que el calor cedido o absorbido por el condensador y evaporador, respectivamente, corresponderán al calor absorbido o cedido por el agua ( $mc \Delta T$ ).

A partir de los valores medios de las presiones y las temperaturas medidas en los puntos principales del ciclo, se dibujará sobre el diagrama de Mollier el ciclo ideal que se asemeje más a las condiciones experimentales. A partir de este diagrama, leyendo en abcisas los valores de la entalpía en cada punto, se calcularán también las eficiencias correspondientes.

## PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

---

- (a) Tabla con los medidas de la potencia, la temperatura del agua en los calorímetros, la temperatura de los termopares y las presiones (con sus errores) en función del tiempo.
- (b) Gráfica temperatura-tiempo para  $T_1$  y  $T_2$ . Comentarios.
- (c) Valores del calor absorbido y cedido por el agua en los calorímetros por unidad de tiempo, así como de la potencia calculada como diferencia de esos valores.
- (d) Representación del ciclo ideal en el diagrama de Mollier y tabla con los valores de presión, temperatura y entalpía (con sus errores) a partir del diagrama.
- (e) Eficiencias obtenidas a partir de las medidas calorimétricas y del diagrama  $p-h$  (con sus errores). Comentarios sobre las diferencias obtenidas