

PRÁCTICA DE PRODUCCIÓN DE FRÍO

1. Objetivo de la práctica

La práctica de laboratorio consiste en el estudio de un sistema de producción de frío real, sobre el cual se realizarán las medidas de las variables correspondientes asociadas al ciclo de frío para diferentes condiciones de entrada del fluido a refrigerar.

Para ello se emplea la unidad de laboratorio de aire acondicionado Hilton A-575, la cual consta de un ciclo simple de refrigeración por compresión mecánica, que alimenta a una batería de frío para enfriar aire.

Los objetivos se resumen en:

- La toma de contacto con los elementos reales de que consta el ciclo (aspecto físico, tamaño y tipología de equipos), así como con los demás elementos auxiliares (depósito de líquido, elementos de instrumentación, etc...).
- El cálculo de los parámetros fundamentales del ciclo de refrigeración, así como su situación sobre el diagrama $p-h$ del fluido refrigerante.
- La discusión de los resultados obtenidos, analizando los cambios en las condiciones de entrada del aire y su influencia en las variables de operación del ciclo.

2. Fundamentos teóricos

La máquina frigorífica objeto de estudio trabaja según un ciclo de compresión mecánica simple, con $R-134a$ como fluido refrigerante (véase *Figura 1*). El fluido que transfiere al otro lado del evaporador es aire.

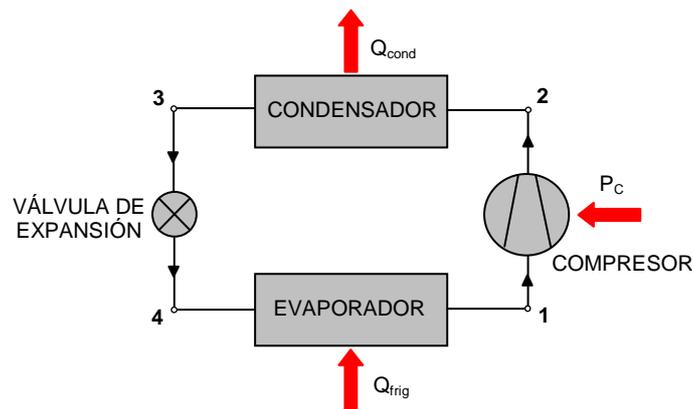


Figura 1. Ciclo de compresión mecánica simple

Por tratarse de un ciclo real, existirán un ligero subenfriamiento del líquido a la salida del condensador, y un sobrecalentamiento del vapor a la salida del evaporador. Las pérdidas de presión a lo largo del circuito, no obstante, se consideran despreciables, por ser las longitudes de la circuitería lo suficientemente pequeñas.

En el evaporador tiene lugar la transferencia de calor entre el fluido a refrigerar (aire, en nuestro caso) y el fluido refrigerante, como se muestra en la *Figura 2*.

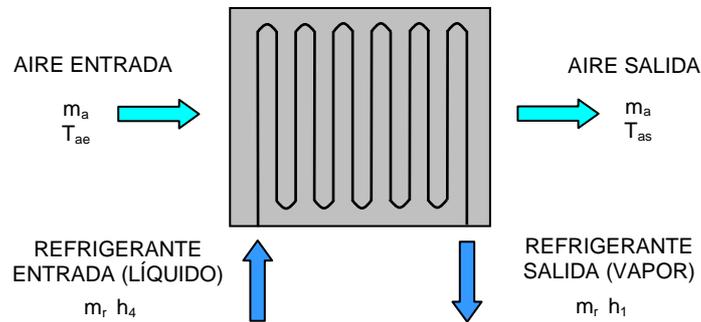


Figura 2. Transferencia de calor en el evaporador

Este calor no es más que la potencia frigorífica o efecto útil del ciclo de refrigeración, y puede obtenerse tanto del lado del aire (que cede calor, disminuyendo su entalpía) como del lado de refrigerante (que absorbe ese calor para cambiar de fase en los conductos del evaporador):

$$Q_{frig} = m_a (h_{ae} - h_{as}) = m_r (h_1 - h_4)$$

A partir de las medidas obtenidas es posible calcular igualmente la potencia de compresión real:

$$P_C = m_r (h_2 - h_1)$$

y el calor evacuado en el condensador:

$$Q_{cond} = m_r (h_2 - h_3) = Q_{frig} + P_C$$

Conociendo las variables asociadas a cada uno de los puntos característicos del ciclo (presión y entalpía específica) es posible situar el ciclo de frío sobre el diagrama $p-h$ del refrigerante *R-134a*.

Los datos anteriores posibilitan también el cálculo de los diferentes rendimientos asociados al ciclo de producción de frío, a saber:

- El coeficiente de eficiencia energética, asociado a la operación del ciclo en sí:

$$COP = \frac{Q_{frig}}{P_C}$$

- Los rendimientos isentrópico y volumétrico, asociados al compresor de la unidad, y definidos respectivamente como:

$$\eta_s = \frac{P_{Cs}}{P_C} \quad ; \quad \eta_{vol} = \frac{v_1 m_r}{V_t}$$

siendo $V_t = 4.515 \text{ m}^3/\text{h}$ el desplazamiento volumétrico del compresor.

3. Montaje experimental

3.1. Descripción de la unidad

En la *Figura 3* se muestra un esquema de la unidad de laboratorio. En ella se observa una conducción principal, en el interior de la cual circula la corriente de aire a enfriar. A su paso por la conducción, el aire va encontrando los siguientes equipos, en el orden indicado a continuación:

- Un ventilador centrífugo, que es quien pone en marcha el caudal de aire.
- Un precalentador eléctrico.
- Una batería de frío, que no es más que el evaporador del ciclo de refrigeración.

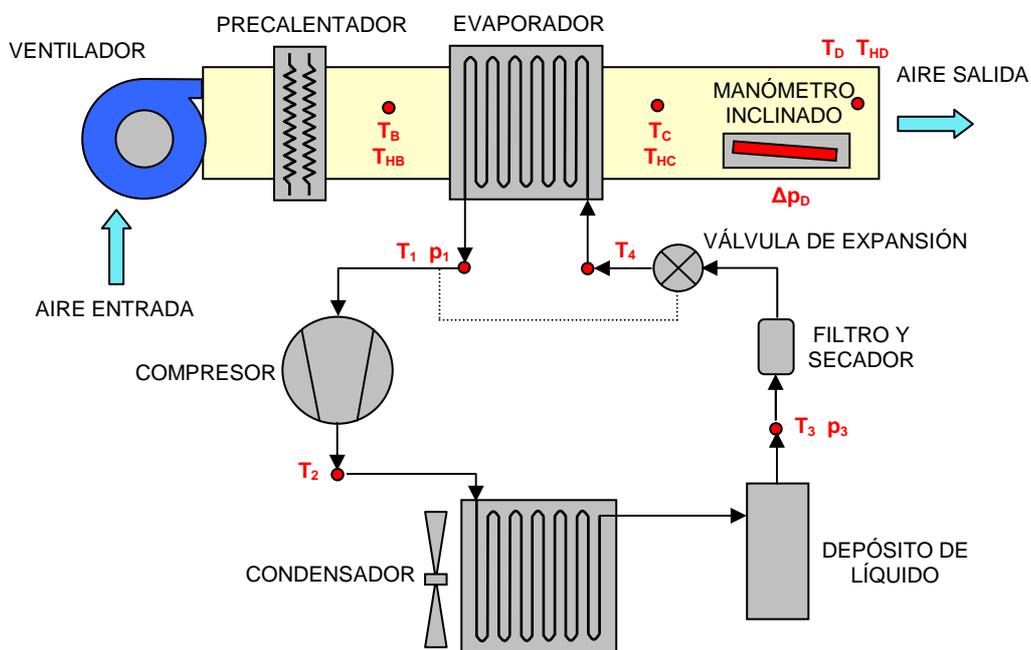


Figura 3. Ciclo de producción de frío en la unidad de laboratorio Hilton A-575

En el evaporador es donde se produce el efecto útil del ciclo de frío, esto es: enfriar la corriente de aire; los otros dos equipos, ventilador y precalentador, serán empleados para modificar las condiciones del aire a la entrada en cuanto a caudal y temperatura, respectivamente; es así como será analizado el comportamiento del ciclo ante diferentes condiciones de la carga sobre el evaporador.

3.2. Medida de variables

Se realizarán dos pruebas, en cada una de las cuales la corriente de aire es enfriada en el evaporador. Ambos experimentos se diferencian en las condiciones de entrada del aire en el equipo: en la *Prueba I* se toma un caudal moderado de aire a temperatura ambiente, mientras que en la *Prueba II* se aumenta el caudal de aire (hasta el máximo dado por el ventilador), así como su temperatura (gracias a la acción del precalentador). Para cada uno de los dos procesos estudiados, y según se muestra en el esquema de la *Figura 3*, las medidas a realizar son:

3.2.1. Medida del caudal de aire

La unidad de laboratorio dispone de una *placa-orificio*, con una toma de presión conectada a un manómetro inclinado, situada en la sección de salida del aire. Según la calibración del orificio respecto al flujo de aire, la relación entre el caudal de aire, m_a (kg/s), y la medida de presión a la salida proporcionada por el manómetro inclinado, Δp_D (mm c.a.), es la dada por:

$$m_a = 0.0504 \sqrt{\frac{\Delta p_D}{v_D}}$$

donde v_D (m^3/kg) es el volumen específico del aire en el *Punto D* (sección de salida de la conducción principal de la unidad). Este dato será calculado sobre un diagrama psicrométrico, a partir de las condiciones termohigrométricas del aire dadas por las medidas de T y T_H en la estación de medida D (sección de salida de la unidad).

3.2.2. Medidas de temperatura

Existe una pareja de termómetros, de bulbos seco y húmedo, colocados a lo largo de la conducción principal de aire. De este modo son obtenidas los valores de las temperaturas seca y húmeda en cada una de las estaciones de medida A , B , C o D (véase *Figura 3*), y que a su vez permiten la obtención del resto de variables psicrométricas (entalpía específica, volumen específico, etc...) asociadas al estado del aire en cada uno de esos puntos.

Para las medidas de temperatura sobre el ciclo de frío se dispone de tres termómetros secos que proporcionan las temperaturas en los puntos 1 , 3 y 4 ; para la medida de la temperatura en el punto de descarga del compresor (*Punto 2*) se utiliza un termopar.

3.3.3. Medidas de presión

En los puntos 1 y 3 del ciclo de frío (salidas del evaporador y del condensador, respectivamente) existen dos manómetros *de tubo Burdon*, para la lectura de las presiones de baja (p_1) y de alta (p_3). Como es sabido, este instrumento mide la *presión manométrica*, por lo que es imprescindible sumar a la medida obtenida la presión atmosférica para llevar correctamente los puntos del ciclo sobre el diagrama $p-h$ del fluido refrigerante.

4. Toma de datos

Se muestra a continuación la hoja de medidas, *Tabla 1*, donde encontramos las medidas de variables para cada una de las dos pruebas realizadas.

Los apartados relativos al ventilador indican la posición en que es accionado el control de velocidad, directamente proporcional al caudal de aire impulsado.

Por otro lado, en las celdas asociadas a las medidas de las presiones de alta y de baja encontramos dos casillas: el dato situado a la izquierda se corresponde con la medida realizada, mientras que el dato situado a la derecha es la medida corregida, suma de la anterior más la presión atmosférica (tomada como aproximadamente 100 kPa).

			<i>Prueba I</i>	<i>Prueba II</i>
<i>Ventilador</i>				
<i>Pre calentador</i>	<i>P1</i>			
	<i>P2</i>			
<i>Ciclo de refrigeración</i>				
<i>Aire</i>	<i>B</i>	<i>T_B (°C)</i>		
		<i>T_{HB} (°C)</i>		
	<i>C</i>	<i>T_C (°C)</i>		
		<i>T_{HC} (°C)</i>		
	<i>D</i>	<i>T_D (°C)</i>		
		<i>T_{HD} (°C)</i>		
<i>Δp_D (mm c.a.)</i>				
<i>R-134a</i>	<i>1</i>	<i>T₁ (°C)</i>		
		<i>p₁ (kPa)</i>		
	<i>2</i>	<i>T₂ (°C)</i>		
	<i>3</i>	<i>T₃ (°C)</i>		
		<i>p₃ (kPa)</i>		
	<i>4</i>	<i>T₄ (°C)</i>		

Tabla 1. Hoja de datos para la toma de medidas

5. Resultados y cuestiones

Para cada una de las dos pruebas realizadas, se pide:

1. Determinar los puntos del ciclo frigorífico (presión y entalpía específica).
2. Calcular la potencia frigorífica, la potencia de compresión y el calor evacuado en el condensador, así como el grado de sobrecalentamiento proporcionado por la válvula de expansión.
3. Calcular el *COP* y los rendimientos isentrópico y volumétrico del compresor.

Se pide, como cuestión adicional, justificar el modo en el que el ciclo de frío se regula a sí mismo tras los cambios introducidos en las condiciones de la *Prueba II*. Para ello, se debe analizar, cualitativamente y por separado, la influencia de las variaciones de T_{ae} o de m_a sobre:

- a. La temperatura y la presión de evaporación.
- b. La potencia frigorífica.
- c. El caudal de refrigerante.