

Fig. 2.13. Ciclo de refrigeración saturado

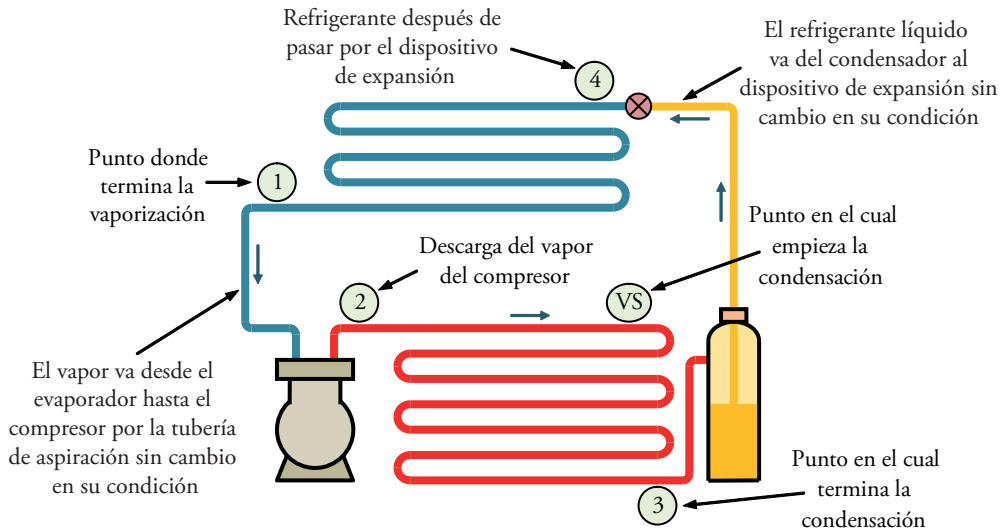


Fig. 2.14. Diagrama de un ciclo de refrigeración saturado

2.3.2 Proceso de expansión

En el ciclo saturado simple se supone que no hay ningún cambio en las propiedades del líquido refrigerante a medida que este fluye a través de la tubería de líquido, desde el condensador hasta el dispositivo de expansión; por tanto, el refrigerante líquido a la entrada del dispositivo de expansión tiene la misma condición que la que se tiene en el punto 3.

El proceso de expansión 3-4 se da en el dispositivo de expansión. La presión (y la temperatura) del líquido disminuye desde la presión (y temperatura) de condensación (3) hasta la presión

(y temperatura) de vaporización (4). Además, una parte del líquido pasa a ser vapor. En este proceso se produce una expansión adiabática ($Q = 0$), es decir, la entalpía del fluido no cambia durante todo el proceso ($h_4 \approx h_3$). Por tanto, el punto 4 se encuentra, en el diagrama p-h, siguiendo la línea de entalpía constante, desde el punto 3 hasta el punto donde la línea de entalpía corta a la línea de presión constante (presión de vaporización). Para ello, debe conocerse la temperatura o la presión de vaporización.

Debido a la vaporización parcial del refrigerante líquido durante el proceso 3-4, el refrigerante en el punto 4 es una mezcla de líquido-vapor cuyas propiedades son:

$p_4 = 2,43 \text{ bar}$	$T_4 = -5 \text{ °C}$	$h_4 = 256,43 \text{ kJ/kg}$	$s_4 = 1,2092 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$	$v_4 = 26,182 \text{ dm}^3/\text{kg}$
--------------------------	-----------------------	------------------------------	---	---------------------------------------

2.3.3 Proceso de vaporización

El proceso de vaporización 4-1 se da en el evaporador. Se trata de un proceso isotérmico e isobárico, es decir, la vaporización se efectúa a temperatura y presión constantes. Por tanto, el punto 1 se localiza en el diagrama p-h siguiendo las líneas de presión y temperatura constante desde el punto 4 hasta el punto donde estas cortan la línea de vapor saturado. En el punto 1 el refrigerante está totalmente vaporizado y es un vapor saturado a la temperatura y presión de vaporización.

A medida que el refrigerante recorre el evaporador, absorbe calor del espacio refrigerado, incrementando su entalpía. Las propiedades del refrigerante en el punto 1 son:

$p_1 = 2,43 \text{ bar}$	$T_1 = -5 \text{ °C}$	$h_1 = 395,56 \text{ kJ/kg}$	$s_1 = 1,7297 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$	$v_1 = 82,76 \text{ dm}^3/\text{kg}$
--------------------------	-----------------------	------------------------------	---	--------------------------------------

Balance energético del evaporador

La cantidad de calor absorbido por el refrigerante en el evaporador (efecto refrigerante) es la diferencia de entalpía del refrigerante entre los puntos 4 y 1:

$$q_e = h_1 - h_4$$

donde: q_e = **efecto refrigerante** o **producción frigorífica másica** (kJ/kg).

Debido a que $h_4 = h_3$, entonces:

$$q_e = h_1 - h_3$$

Esta variación de la entalpía ($h_1 - h_4$) indica el frío producido por kg de fluido circulando en la instalación. Sustituyendo los valores para el ejemplo de referencia:

$$q_e = h_1 - h_3 = 395,56 - 256,43 = 139,13 \text{ kJ/kg}$$

Caudal másico de refrigerante

Si \dot{m} es el caudal másico de refrigerante que circula, en kg/s, para producir la capacidad de refrigeración requerida (\dot{Q}_e), se tiene:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_e}{q_e}$$

Para el ciclo de referencia, se tiene (para 1 kW de potencia frigorífica):

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_e}{q_e} = \frac{1 \text{ kW}}{139,13 \text{ kJ/kg}} = 0,00719 \text{ kg/s}$$

Producción frigorífica volumétrica

Si v_1 es el volumen específico de los vapores aspirados en el punto 1, se tendrá:

$$q_v = \frac{q_e}{v_1}$$

Para el ciclo de referencia, se tiene:

$$q_v = \frac{q_e}{v_1} = \frac{139,13 \text{ kJ/kg}}{0,08276 \text{ m}^3/\text{kg}} = 1.681,13 \text{ kJ/m}^3$$

Caudal volumétrico desplazado (real) por el compresor

El caudal volumétrico desplazado es:

$$\dot{V}_d = \dot{m} \times v_1 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\dot{V}_d = 3.600 \times \dot{m} \times v_1 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Para el ciclo de referencia, se tiene (en dm^3/s):

$$\dot{V}_d = \dot{m} \times v_1 = 0,00719 \times 82,76 = 0,595 \text{ dm}^3/\text{h}$$

Caudal volumétrico teórico del compresor

El caudal volumétrico teórico del compresor será, debido al espacio perjudicial, mayor que el desplazado. Siendo η_v el **rendimiento volumétrico** del compresor, se tiene:

$$\dot{V}_t = \frac{\dot{V}_d}{\eta_v}$$

2.3.4 Proceso de compresión

En el ciclo saturado simple, se supone que el refrigerante no cambia de condición mientras fluye por la tubería de aspiración desde el evaporador hasta el compresor. El proceso de compresión 1-2 se efectúa en el compresor, que incrementa la presión del vapor desde la presión de vaporización hasta la presión de condensación. Se supone que el proceso de compresión es **isentrópico**, es decir, se trata de un tipo especial de proceso adiabático (sin transferencia de calor entre el sistema y el medio ambiente) que ocurre sin fricción.