

Conocimientos básicos Ciclo frigorífico

El ciclo frigorífico se puede describir como una secuencia de cambios de estado de un refrigerante. Esta secuencia se desarrolla periódicamente y siempre vuelve a alcanzar el estado de salida (ciclo). En la refrigeración, tienen especial relevancia las variables de estado como presión, temperatura y densidad, así como la dependencia de estas variables de estado entre sí.

Los procesos termodinámicos en el ciclo frigorífico son complejos. Debido a los tres diferentes estados del refrigerante (líquido, en ebullición y gaseoso), el cálculo mediante fórmulas y tablas requiere un esfuerzo considerable. Por ello, se introdujo el diagrama log p-h a modo de simplificación.

Con ayuda de un diagrama log p-h, es posible representar gráficamente las diferentes variables de estado según sus dependencias. Para cada punto de estado, es posible leer directamente las variables de estado termodinámicas, quedando así

disponibles para cálculos posteriores. Las cantidades de calor, el trabajo técnico o las diferencias de presión de una variable de estado están representados como segmentos conmensurables. El uso del diagrama log p-h facilita enormemente los cálculos termodinámicos y es imprescindible para la comprensión del funcionamiento de instalaciones frigoríficas.

Sobre la base de este conocimiento, nuestro software para equipos de refrigeración dispone de una representación gráfica en tiempo real del respectivo diagrama log p-h. Los cambios de parámetros de funcionamiento se pueden leer directamente en el diagrama y permiten formarse una idea clara de la creación de los estados termodinámicos, que de otro modo sólo se contemplan estáticamente.

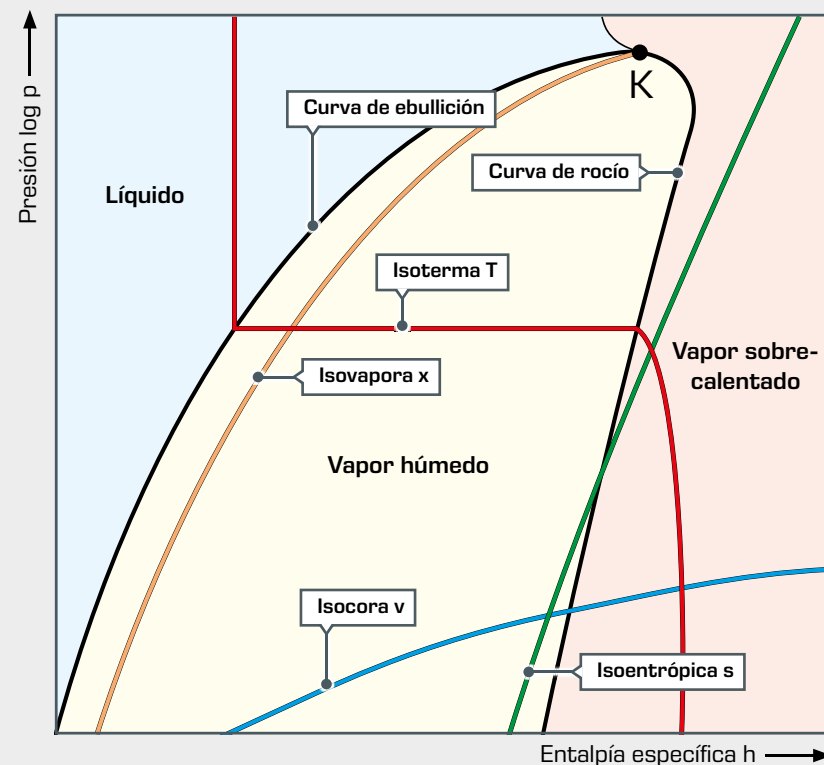
En general, un diagrama log p-h muestra el estado físico de una sustancia en función de la presión y el calor. Para la refrigeración, el diagrama ha sido reducido aquí a los estados relevantes **líquido** y **gaseoso**, así como a su **forma mixta**.

En el eje vertical está representada la presión logarítmicamente y en el eje horizontal se encuentra la entalpía específica con una escala lineal. Por consiguiente, las isobaras se desplazan horizontalmente y las isoentálpicas verticalmente. La escala logarítmica permite la representación de procesos con grandes diferencias de presión.

En el punto crítico **K** se cruzan las curvas de rocío y ebullición.

En el diagrama log p-h se pueden leer las variables de estado termodinámicas en su respectiva fase.

- presión **p**
- entalpía específica **h**
- temperatura **T**
- volumen específico **v**
- entropía específica **s**
- proporción de gas **x**

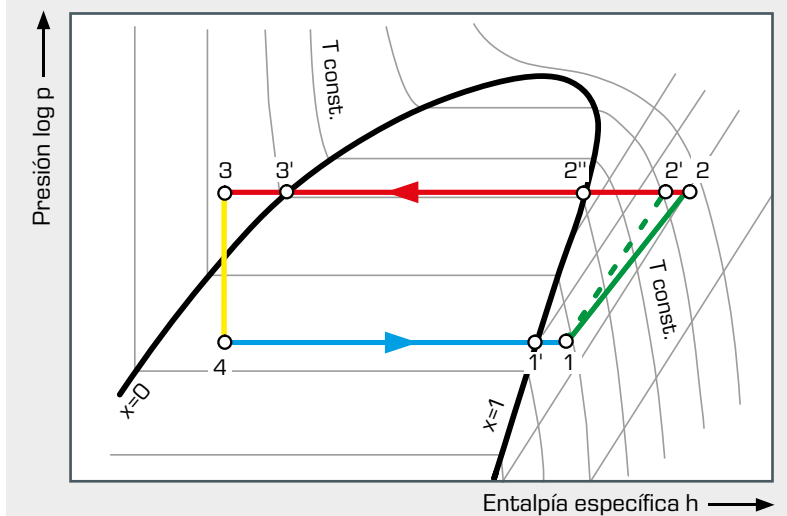


El ciclo frigorífico en el diagrama log p-h

La particularidad del ciclo frigorífico es que éste se produce en sentido antihorario, o sea en dirección contraria al ciclo de Joule o ciclo de vapor. Un cambio de estado se produce cuando el refri-

gerante fluye a través de uno de los cuatro componentes principales de la instalación frigorífica. El ciclo frigorífico real consta de los siguientes cambios de estado:

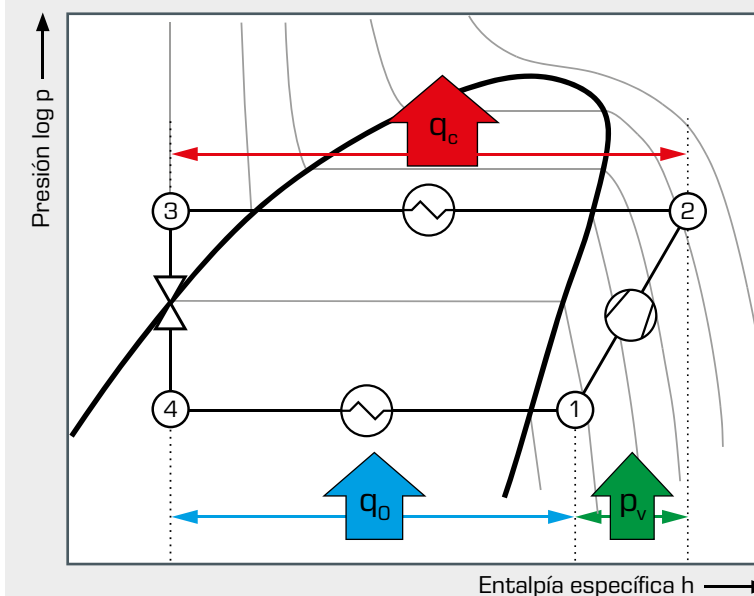
- | | |
|----------|--|
| 1 – 2 | compresión politrópica en la presión de condensación (para comparar 1 – 2' compresión isentrópica) |
| 2 – 2'' | refrigeración isobárica, enfriamiento del vapor sobrecalentado |
| 2'' – 3' | condensación isobárica |
| 3' – 3 | refrigeración isobárica, subenfriamiento del líquido |
| 3 – 4 | expansión isoentálpica en la presión de evaporación |
| 4 – 1' | evaporación isobárica |
| 1' – 1 | calentamiento isobárico, sobrecalentamiento del vapor |



Refrigeration cycle in the log p-h diagram

■ compresor, ■ condensador, ■, válvula de expansión, ■ evaporador

Además, en el ciclo frigorífico real también se producen pérdidas de presión para que la evaporación y la condensación no se desarrollen de forma exactamente horizontal (isobárica).



Las **cantidades de energía específicas** que se absorben y desprenden al alcanzar los puntos de estado están marcadas en el diagrama log p-h como segmentos. La entalpía específica **h** se puede leer directamente en el diagrama log p-h para cada uno de los puntos de estado.

Si se conoce el caudal másico del refrigerante, se podrá calcular la **potencia térmica** correspondiente en el respectivo punto de estado con ayuda de la entalpía específica.

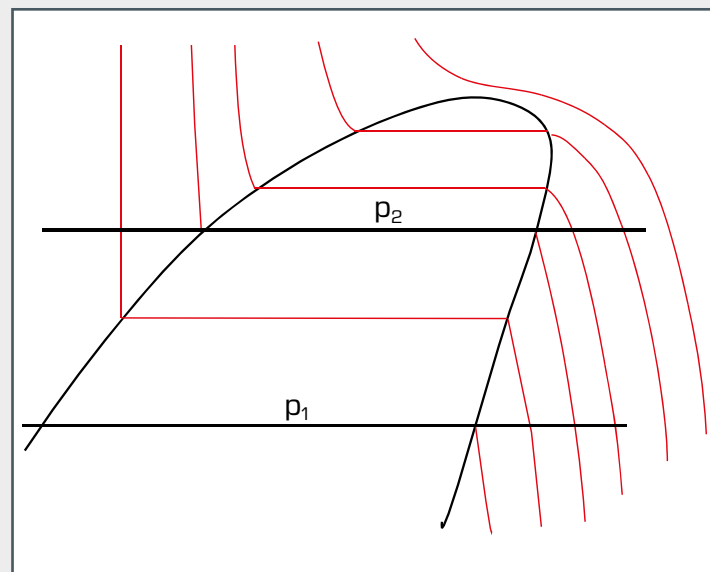
- El segmento $h_1 - h_4 = q_0$ corresponde a la refrigeración y, mediante multiplicación con el caudal másico, da como resultado la **potencia frigorífica**.
- El segmento $h_2 - h_1 = p_v$ corresponde al trabajo técnico del compresor que realmente es transferido al refrigerante.
- El segmento $h_2 - h_3 = q_c$ corresponde al calor disipado y, mediante multiplicación con el caudal másico, da como resultado la **potencia del condensador**. Se trata del calor residual de una instalación frigorífica.

Conocimientos básicos

Representación de un ciclo frigorífico en el diagrama log p-h

Esta divagación debe ayudar a comprender la relación funcional entre los componentes de la instalación frigorífica y los procesos termodinámicos. Para representar un ciclo frigorífico en el diagrama log p-h se requieren las siguientes variables de estado:

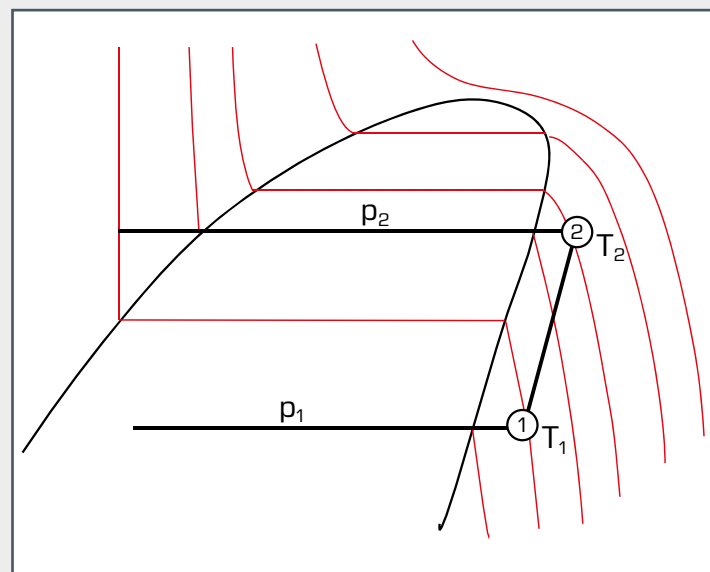
- p_1 presión de evaporación
- T_1 temperatura en la entrada del compresor
- p_2 presión de condensación
- T_2 temperatura en la entrada del condensador
- T_3 temperatura en la salida del condensador

1^{er} paso: dibujar las isobaras delimitadoras

Primero deben registrarse los cambios de estado isobáricos en el diagrama.

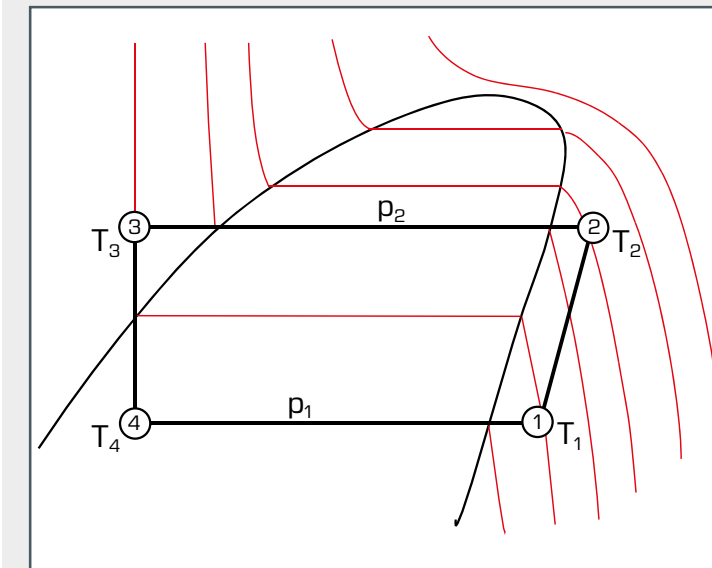
- p_1 presión de evaporación
- p_2 presión de condensación

Es importante que se registren presiones absolutas en el diagrama.

2^{do} paso: registrar el proceso de compresión

Después de haber dibujado las isobaras delimitadoras en el diagrama, se puede registrar el proceso de compresión.

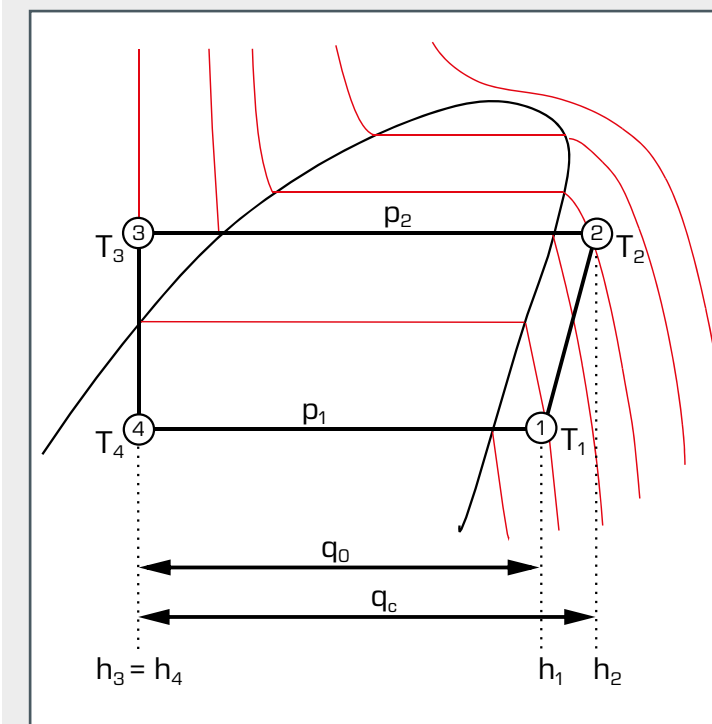
- Marcar la intersección de la isobara p_1 con la temperatura en la entrada del compresor T_1 da como resultado el punto de estado 1.
- Marcar la intersección de la isobara p_2 con la temperatura en la entrada del condensador T_2 da como resultado el punto de estado 2.
- La conexión entre los dos puntos de estado 1 y 2 describe el proceso de compresión.

3^{er} paso: registrar la expansión isoentálpica

El proceso de expansión se registra de la siguiente manera en el diagrama:

- Marcar la intersección de la isobara p_2 con la temperatura T_3 en la salida del condensador da como resultado el punto de estado 3.

La expansión es un proceso isoentálpico. Por ello, la intersección previamente marcada se puede unir con la isobara p_1 por medio de una línea vertical. De esta manera se obtiene el último punto de estado 4 con la temperatura de evaporación T_4 .

4^{to} paso: determinar los valores de entalpía específicos

Para calcular los estados de funcionamiento de una instalación frigorífica es necesario determinar las entalpías específicas de cada uno de los cambios de estado. El modo de proceder para ello es el siguiente:

Mediante una conexión vertical de los puntos de estado con el eje x se puede leer la respectiva entalpía específica.

- h_1 entalpía espec. tras el evaporador
- h_2 entalpía espec. tras el compresor
- h_3 entalpía espec. tras el condensador
- h_4 entalpía espec. tras la válvula de expansión

La potencia frigorífica específica q_0 y la potencia específica del condensador q_c se pueden leer directamente del diagrama log p-h.

potencia frigorífica específica $q_0 = h_1 - h_4$

potencia específica del condensador $q_c = h_2 - h_3$