

## Ciclo frigorífico

Em todos os processos o calor flui do meio com maior energia térmica (temperatura) para o meio com menor energia térmica, até que se alcance o equilíbrio térmico.

O ciclo termodinâmico frigorífico, que constitui a base das máquinas frigoríficas, permite inverter esse fluxo natural e transferir calor de um meio mais frio para um mais quente, fornecendo energia mecânica a um compressor através de um motor elétrico.

O mecanismo que possibilita este procedimento é o ciclo termodinâmico que integra os seguintes elementos principais (**1.** Compressor, **2.** Condensador, **3.** Dispositivo de Expansão, **4.** Evaporador e **5.** Líquido refrigerante que circula entre todos os elementos) ilustrados na Figura 1.

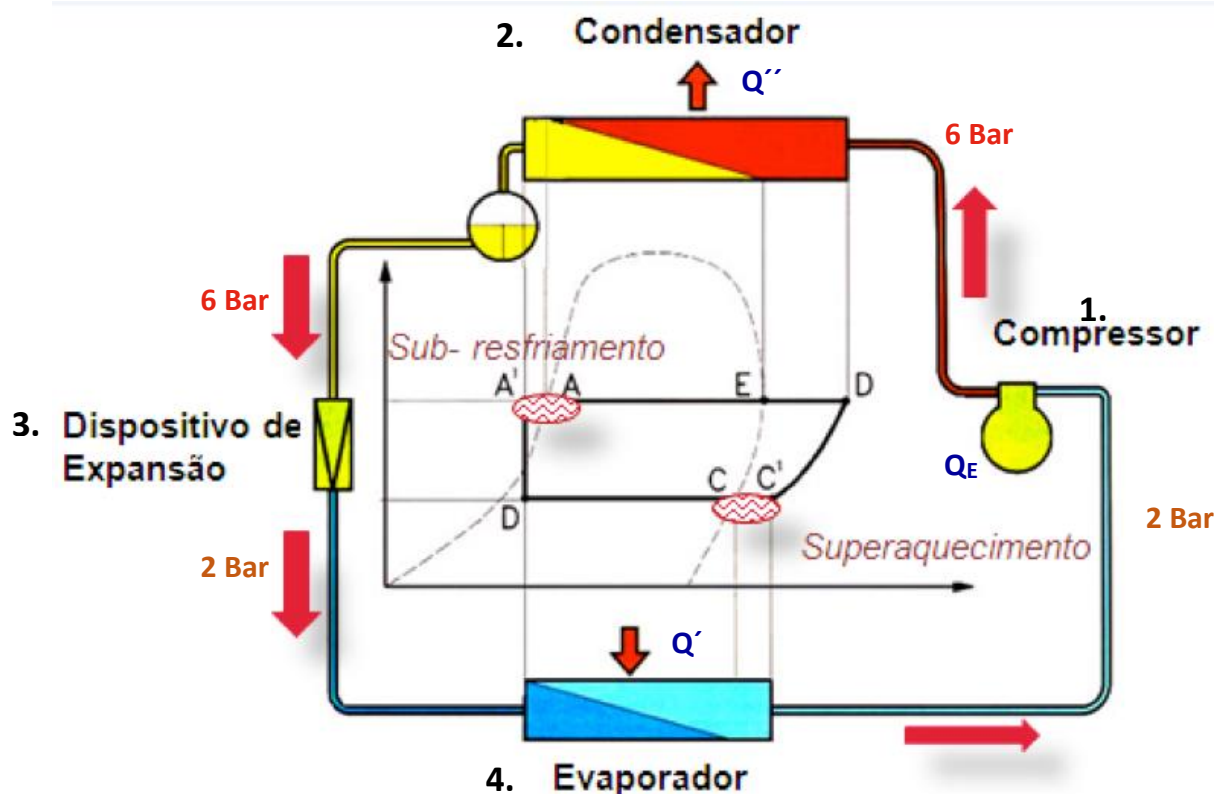


Figura 1 – Ciclo termodinâmico frigorífico.

## Funcionamento

O líquido refrigerante (ou frigorigéneo) caracteriza-se por parâmetros ambientais nomeadamente o ODP e o GWP e termodinâmicos, e estes últimos são:

- A **temperatura de ebulição**, valor em que passa do estado líquido a gasoso e os valores típicos para este parâmetro são da ordem dos  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $-60^{\circ}\text{C}$ .
- O **calor latente de evaporação/condensação** que é a quantidade de energia que o refrigerante absorve quando (muda de estado físico) evapora, ou liberta quando condensa e os valores típicos deste parâmetro são da ordem dos **220 a 260 J por grama**.

## Como funciona o ciclo frigorífico

Tendo por base a Figura 1., podemos descrever o funcionamento do ciclo frigorífico da seguinte forma:

1. O líquido frigorigéneo no estado gasoso entra no **Compressor**, recebe energia mecânica, eleva ligeiramente a sua temperatura e a pressão passa de 2 para 6 Bar (por exemplo).
2. Quando entra no **Condensador**, ainda em estado gasoso, a sua pressão mantém-se, mas perde energia térmica  $Q''$  (calor latente de condensação) baixa a temperatura e passa ao estado líquido.
3. Ao passar pelo **Dispositivo de Expansão** (que é um estrangulamento) em estado líquido, a sua pressão desce de forma abrupta de 6 para 2 Bar.
4. Quando entra no **Evaporador** em estado líquido e a baixa pressão, e com temperatura inferior à do meio onde o evaporador se encontra inserido, capta energia térmica  $Q'$  e muda de estado (calor latente de evaporação) e passa a vapor.

O líquido frigorigéneo no estado gasoso entra novamente no compressor e o ciclo repete-se continuamente.

Constatamos assim que há transferência de calor ( $Q'$ ) do meio mais frio (onde se encontra o Evaporador) para o meio mais quente (onde se encontra o Condensador).

A velocidade de transferência de calor ( $Q''$ ) (em Watt ou Joules por segundo) depende do calor latente (J/g) do líquido frigorígeno em uso e do caudal (em gramas por segundo).

Como se pode observar pelo Ciclo de Entalpia (ver imagem no centro da Figura 1), todo o calor capturado no meio mais frio (pelo Evaporador)  $Q'$  é libertado no meio menos frio (pelo Condensador) mais o calor fornecido ao compressor.

### Uso do ciclo para arrefecimento

Se o Evaporador for colocado no interior do meio a climatizar e o Condensador no exterior, estamos perante o funcionamento tradicional do ciclo de refrigeração utilizado nos frigoríficos, arcas frigoríficas e sistemas de Ar Condicionado.

Define-se por *EER (Energy Efficiency Ratio)* a quantidade de energia térmica que é removida do meio a arrefecer sobre a quantidade de energia (elétrica) fornecida ao sistema. Expressão (1).

$$EER = \frac{E_{\text{térmica removida}}}{E_{\text{elétrica consumida}}} = \frac{Q'}{Q_E} \quad [1]$$

O *EER* exprime a eficiência energética desta operação e este valor pode ser hoje, em algumas máquinas, da ordem de 5 a 6 vezes (rendimento de 500 a 600%).

## Uso do ciclo para aquecimento ou como Bomba de Calor

Se o Condensador for colocado no interior do meio a climatizar e o Evaporador no exterior, estamos perante o funcionamento do ciclo de aquecimento utilizado nas Bombas de Calor ou sistemas de Ar Condicionado reversíveis.

Define-se por *COP (Coefficient of Performance)* a quantidade de energia térmica que é injetada no meio a aquecer sobre a quantidade de energia (elétrica) fornecida ao sistema. Expressão (2).

$$COP = \frac{E_{\text{térmica fornecida}}}{E_{\text{elétrica consumida}}} = \frac{Q''}{Q_E} \quad [2]$$

O *COP* exprime a eficiência energética do aquecimento com esta tecnologia e este valor pode ser hoje, em algumas máquinas e condições de temperatura exterior, da ordem de 8 vezes (rendimento de 800%).

Como se pode observar a partir do gráfico da Entalpia (no centro da Figura 1):

- Quando o ciclo funciona em **modo de aquecimento** toda a energia removida do meio frio ( $Q'$ ) mais a energia fornecida ao compressor ( $Q_E$ ) constituem energia útil ( $Q''$ ) que é injetada no meio a climatizar.
- Quando o ciclo funciona em **modo de arrefecimento** a energia útil é a removida do meio a arrefecer ( $Q'$ ) pois a que é fornecida ao compressor ( $Q_E$ ) é nesta situação enviada para o meio exterior e perdida.

É por estes motivos que na maioria das máquinas termodinâmicas frigoríficas o **COP** é geralmente superior ao **EER**.

A sigla **SEER** (*Standard Energy Efficiency Ratio*), cada vez mais visível na classificação das máquinas termodinâmicas, refere-se ao valor do rendimento da máquina frigorífica utilizada no modo de arrefecimento e com testes efetuados sob condições de temperatura exterior *standard* e pré-definidas.