



Segunda Lei da Termodinâmica restrita a ciclos (cont.)

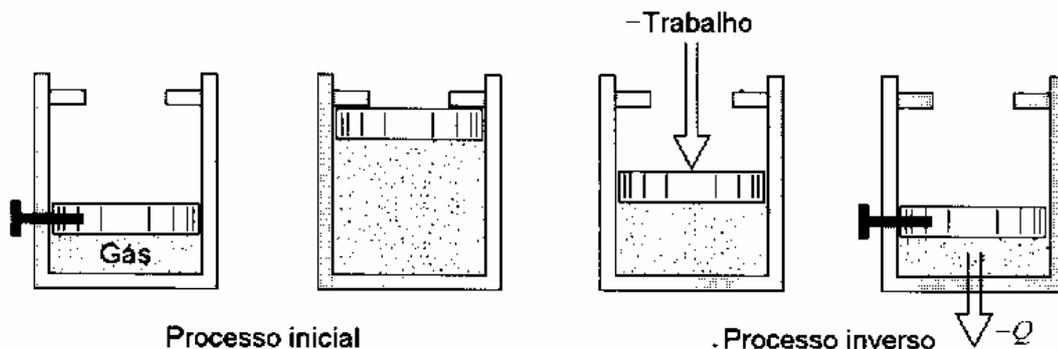
O processo reversível

Se é impossível obter um motor térmico com 100% de eficiência, qual é a máxima eficiência que pode ser obtida???

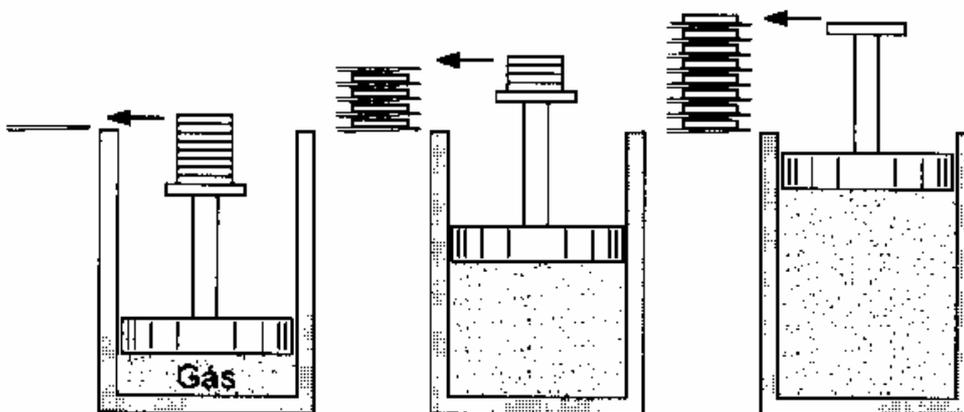
A eficiência máxima é obtida através de um processo ideal, chamado processo reversível. Um processo reversível, uma vez ocorrido, pode ser revertido e, assim, não acarretará qualquer mudança tanto no sistema quanto na vizinhança. Observação: ainda $\eta < 1$).

Exemplos:

1. Processo irreversível



2. Processo reversível





Fatores que tornam irreversível um processo

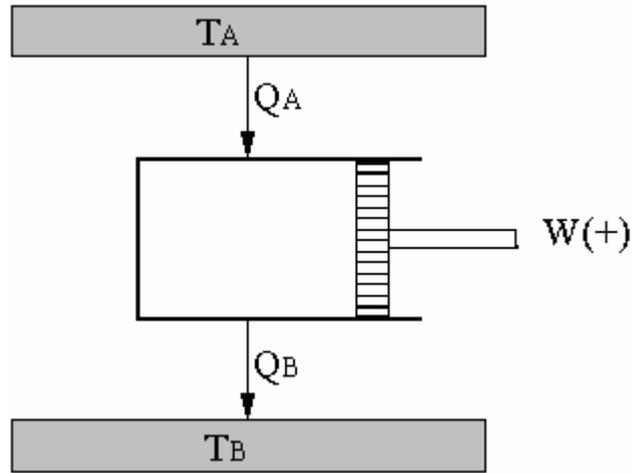
1. Fricção – fricção por deslizamento, bem como fricção no escoamento de fluidos
2. Expansão não resistida de um gás ou líquido para uma pressão menor
3. Transferência de calor através de uma diferença de temperaturas finita
4. Mistura espontânea de substâncias diferentes ou em diferentes estados
5. Reação química espontânea
6. Fluxo de corrente elétrica através de uma resistência
7. magnetização ou polarização com histerese
8. Deformação inelástica



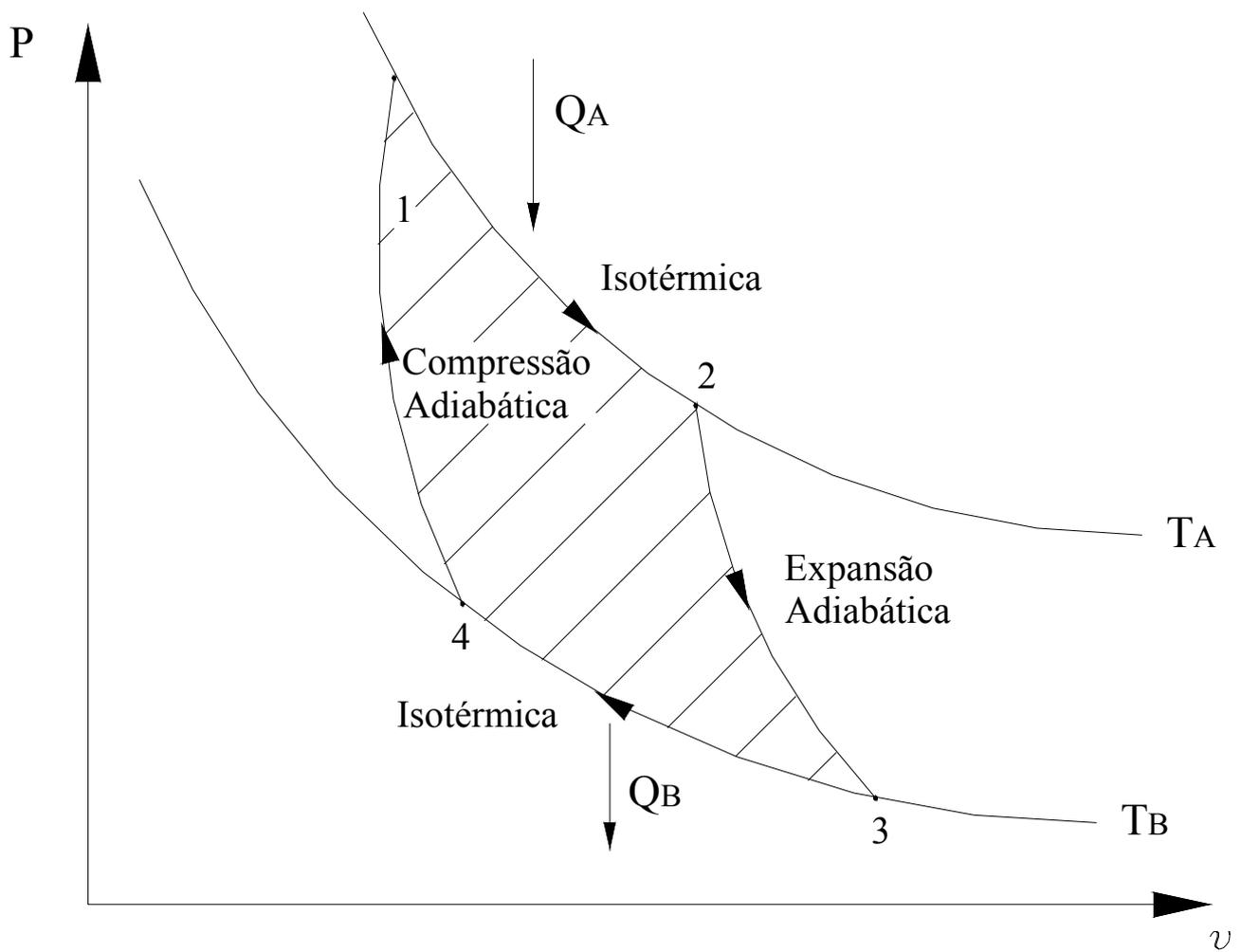
O ciclo de Carnot

Vamos fazer uma experiência fictícia com uma máquina hipotética reversível. O motor térmico utilizará gás ideal como fluido de trabalho e realizará os seguintes processos:

- 1- Calor escoa isotermicamente de um sistema A , à temperatura T_A , para o gás ideal contido num sistema pistão cilindro à temperatura constante; o gás é expandido isotermicamente (cai a pressão), mantendo T_A constante.
- 2- O gás está agora isolado termicamente do sistema A ; então, permitimos ao gás se expandir adiabaticamente e de forma reversível até uma pressão ainda mais baixa e uma temperatura mais baixa T_B .
- 3- Nesta baixa temperatura, T_B , o gás ideal contido no sistema pistão cilindro é ligado a um sistema B , à temperatura T_B , e calor escoa isotermicamente do gás ideal para o sistema B ; o gás é comprimido isotermicamente (aumenta a pressão) mantendo T_B constante.
- 4- O gás ideal é agora isolado termicamente do sistema B e comprimido adiabaticamente e reversivelmente até sua pressão e temperatura originais (T_A).



Maquina térmica usada para explicar o ciclo de Carnot



Ciclo de Carnot

(quadro negro)



Concluimos que o rendimento térmico do ciclo de Carnot descrito acima pode ser expresso em função das temperaturas absolutas:

$$\eta_{\text{térmico}} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

Observações sobre o ciclo de Carnot:

Admitimos que o motor térmico acima funciona segundo um ciclo, no qual todos os processos são reversíveis,

- se cada processo é reversível, o ciclo é também reversível
- revertendo-se o ciclo, o motor térmico se transforma num refrigerador

Este ciclo é conhecido como o ciclo de Carnot (Eng. Nicolas Leonard Carnot, 1796-1832)



Portanto, o ciclo de Carnot tem sempre os mesmos quatro processos básicos:

1. Um processo isotérmico reversível, no qual calor é transferido para ou do reservatório a alta temperatura
2. Um processo adiabático reversível, no qual a temperatura do fluido de trabalho diminui desde a do reservatório de alta temperatura até a do outro reservatório
3. Um processo isotérmico reversível, no qual calor é transferido para ou do reservatório a baixa temperatura
4. Um processo adiabático reversível, no qual a temperatura do fluido de trabalho aumenta desde a do reservatório de baixa temperatura até a do outro reservatório

Teoremas do rendimento do ciclo de Carnot:

- Primeiro teorema: “É impossível construir um motor que opere entre dois reservatórios térmicos dados e que seja mais eficiente que um motor reversível operando entre os mesmos dois reservatórios”.
- Segundo teorema: “Todos os motores que operam segundo o ciclo de Carnot e entre dois reservatórios térmicos apresentam o mesmo rendimento térmico”.



A escala termodinâmica de temperatura

Reconhecendo que a eficiência de um ciclo Carnot é dependente somente das temperaturas dos reservatórios térmicos, podemos escrever:

$$\eta_{\text{térmico}} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \psi(T_L, T_H)$$

Lord Kelvin propôs a seguinte relação funcional para a escala termodinâmica de temperatura:

$$\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{T_H}{T_L}$$

Assim, o rendimento térmico de um ciclo de Carnot pode ser expresso em função das temperaturas absolutas:

$$\eta_{\text{térmico}} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$



Imaginemos um motor térmico, cujo rendimento é conhecido e é 0,268, operando segundo um ciclo de Carnot entre a temperatura do ponto de evaporação da água e a temperatura do ponto de fusão do gelo

$$\eta_{térmico} = 0,268 = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{T_{\text{fusão do gelo}}}{T_{\text{evap. água}}} \quad (1)$$

A segunda equação provém da escolha da grandeza do grau na escala termodinâmica de temperatura; escolhendo o grau Celsius:

$$T_{\text{evap. água}} - T_{\text{fusão do gelo}} = 100 \quad (2)$$

Resolvendo o sistema, obtemos:

$$T_{\text{evap. água}} = 373,15 \text{ K} \quad \text{e} \quad T_{\text{fusão do gelo}} = 273,15 \text{ K}$$

Assim,

$$T(^{\circ}\text{C}) + 273,15 = T(\text{K})$$