

Experimento 6 – Máquina Térmica

Teoria

O objetivo deste experimento é calcular a eficiência real de uma máquina térmica que poderia ser utilizada, como ilustrado na Figura 1, para elevar objetos em um processo de acondicionamento por embalagem. Esta máquina opera em um ciclo composto por quatro etapas e realiza trabalho mecânico elevando a maçã de uma altura h .

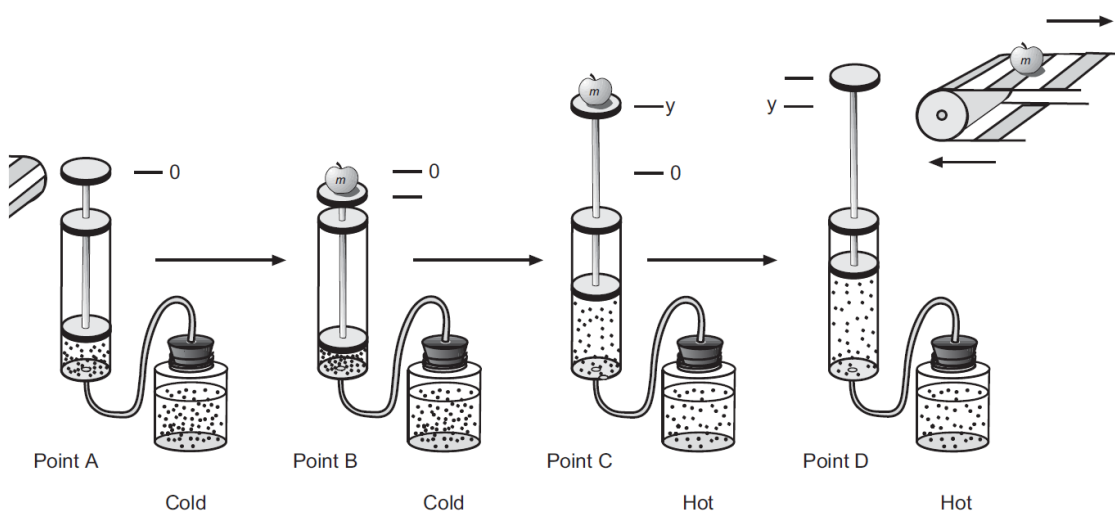


Figura 1: Diagrama simplificado do processo de operação da máquina térmica.

A eficiência máxima teórica de uma máquina térmica, definida pelo ciclo de Carnot, depende somente da temperatura da fonte quente T_H e da temperatura da fonte fria T_C e é expressa pela Equação 1.

$$e = \left(1 - \frac{T_C}{T_H}\right) \times 100\% \quad (1)$$

A eficiência real é definida como

$$e = \frac{W}{Q_H} \times 100\% \quad (2)$$

sendo W o trabalho realizado pela máquina térmica e Q_H o calor extraído do reservatório térmico a temperatura elevada T_H .

No início do ciclo a câmara de ar é mantida em contato com a fonte fria e o sistema é mantido à temperatura constante (T_C); uma massa é então posicionada sobre o pistão, conduzindo o sistema ao estado B, ainda na mesma temperatura. Na segunda parte do ciclo, a câmara de ar é posicionada no reservatório térmico a

temperatura T_H e calor é adicionado ao gás, causando a expansão do mesmo e a realização de trabalho pelo sistema (elevação do objeto). Este processo ocorre à pressão constante (processo isobárico) e o calor adicionado ao sistema é dado pela Equação 3,

$$Q_p = nC_p\Delta T \quad (3)$$

sendo n o número de mols do gás no sistema, C_p o calor específico molar a pressão constante e ΔT a variação na temperatura. Considerando que o ar é constituído basicamente por moléculas diatômicas,

$$C_p = 7/2R \quad (4)$$

Na terceira parte do ciclo a massa é removida do pistão, enquanto o gás é mantido à temperatura constante T_H , e novamente o sistema realiza trabalho, agora em um processo isotérmico. Considerando a 1ª Lei da Termodinâmica

$$\Delta U = Q - W \quad (5)$$

e o fato de que o processo é isotérmico, o que implica em variação nula da energia interna, tem-se que o calor adicionado ao sistema nesta etapa será igual ao trabalho realizado pelo sistema, o qual é expresso por

$$Q = W = nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) \quad (6)$$

sendo V_i o volume no início do processo isotérmico e V_f o volume no término do processo isotérmico. Finalmente, reposicionando a câmara de ar no reservatório térmico a baixa temperatura (T_c), o sistema retorna ao estado inicial. A Figura 2 ilustra o diagrama PV do processo termodinâmico realizado pela máquina térmica

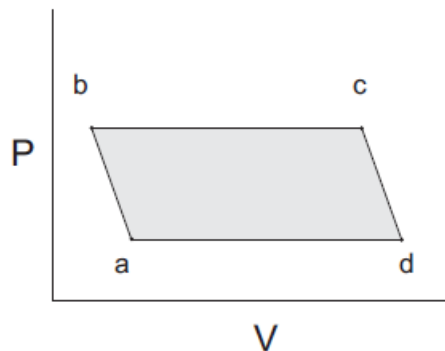


Figura 2: Diagrama PV do ciclo de operação da máquina térmica.

Procedimento experimental

1. Antes de iniciar a aquisição dos dados, posicione a câmara de ar no reservatório com água fria e espere até que o sistema entre em equilíbrio.
2. Calibre o sensor de rotação e faça os cálculos pertinentes para converter a altura em volume (m^3).
3. Inicie a aquisição dos dados no software e realize o ciclo descrito abaixo.
A→B: posicione uma massa na plataforma.
B→C: mova a câmara de ar do banho frio para o banho quente.
C→D: remova a massa da plataforma.
D→A: mova a câmara de ar do banho quente para o banho frio.

Realize o experimento com 2 massas diferentes.

Análise dos dados (relatório, para cada massa escolhida)

- Salve o gráfico pressão x volume e indique os estados A, B, C e D. Indique as temperaturas nos respectivos pontos. Indique também o sentido do ciclo termodinâmico.

- Indique o procedimento realizado em cada etapa do ciclo e o tipo de processo termodinâmico associado à etapa (isotérmico, isobárico, isovolumétrico ou adiabático, e se é uma expansão ou compressão).

- Indique os dois processos em que calor é adicionado ao sistema.

- Calcule o trabalho realizado sobre a massa utilizando variação da energia potencial gravitacional (mgh); calcule o trabalho medindo a área do gráfico. Compare os 2 valores.

- Sabendo que $Q_H = Q_1 + Q_2$, onde:

$Q_1 = n \frac{7}{2} R \Delta T$, é a energia absorvida pelo sistema durante a **expansão isobárica** e,

$Q_2 = nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$ é a energia absorvida pelo sistema durante a **expansão isotérmica**.

Calcule a eficiência real:

$$e = \frac{W}{Q_H} \times 100\% ,$$

e compare-a com a eficiência de Carnot:

$$e = \left(1 - \frac{T_C}{T_H}\right) \times 100\%$$

Lembre-se, n pode ser encontrado a partir da Lei dos Gases Ideais.