TEA007 - TERMODINÂMICA AMBIENTAL
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental
Departamento de Engenharia Ambiental, UFPR
P04, 20 Outubro 2017
Prof. Michael Mannich

P04

NOME: GABARITO Assinatura: _____

---

1 [15] Responda cada um dos itens abaixo de forma objetiva.

a) [5] Uma bomba de calor usada para aquecer uma casa tem um coeficiente de desempenho de 2.5. Ou seja, a bomba de calor fornece 2.5 kW h de energia para a casa a cada 1.0 kW h de eletricidade que consome. Isso é uma violação da primeira lei da termodinâmica? Explique.

b) [10] O proprietário de uma casa compra uma geladeira nova sem congelador e um congelador para a cozinha nova. Qual desses dispositivos terá o menor coeficiente de rendimento em sua opinião? Por quê?

SOLUÇÃO DA QUESTÃO:

a) Isso não é uma violação da primeira lei, pois os 1.5 kW h restantes fornecidos para a casa são provenientes do reservatório a menor temperatura, de tal forma que a relação $Q_H = W + Q_L$ satisfaz a primeira lei. ■

b) O coeficiente de rendimento de um refrigerador é

$$\beta = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1}.$$

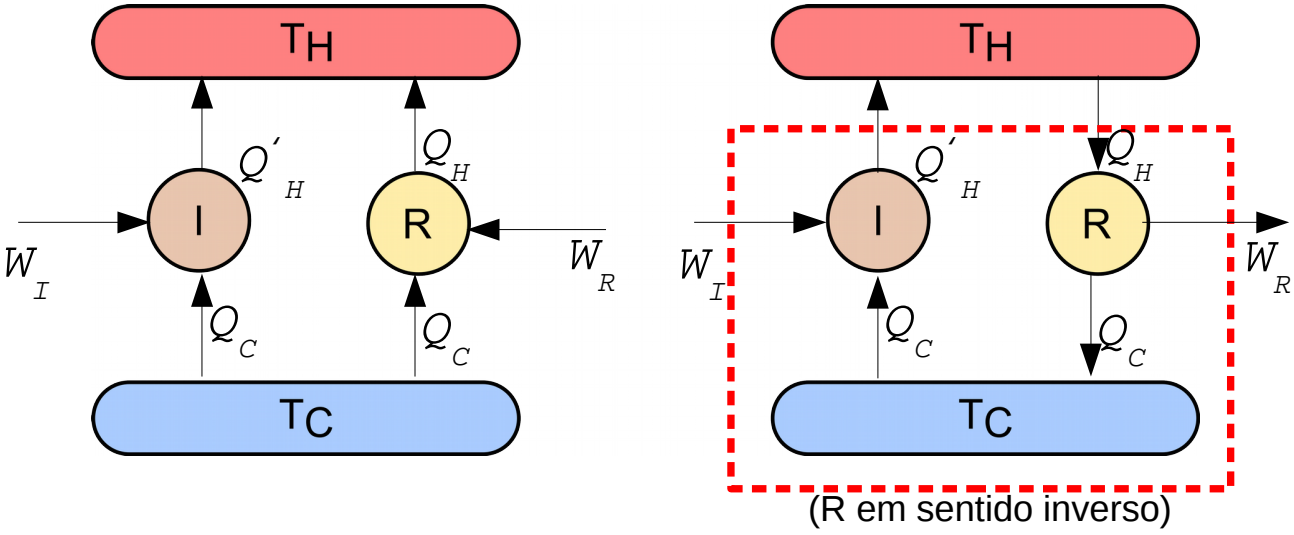
Se o mesmo opera segundo um ciclo de Carnot,

$$\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{T_H}{T_L} \quad \Rightarrow \quad \beta = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}.$$

O ambiente é o mesmo para ambos e portanto encontra-se à mesma temperatura T_H. Assim, para dado ambiente, β diminui se T_L diminui, e como a temperatura do reservatório frio é inferior para o congelador, β será menor para o mesmo. ■

Continue a solução no verso ⟹

2 [25] Prove que o coeficiente de desempenho de um refrigerador irreversível não pode exceder o coeficiente de desempenho de um refrigerador reversível que operam entre os mesmos dois reservatórios térmicos. Se preferir utilize as figuras abaixo para auxiliar.



SOLUÇÃO DA QUESTÃO:
Primeiramente, considera-se dois refrigeradores, um reversível (R) e um irreversível (I), operando entre os mesmos dois reservatórios térmicos. O primeiro deles (I-irreversível) retira uma quantidade de calor igual a Q_C do reservatório frio, recebe uma quantidade de trabalho W_I e transfere uma quantidade de calor igual a Q'_H para o reservatório quente. O segundo (R-resersível) retira Q_C da fonte fria, recebe trabalho W_R e rejeita Q_H para a fonte quente. Os coeficientes de desempenho destes reservatórios são, respectivamente,

$$\beta_I = \frac{Q_C}{W_I}, \quad \beta_R = \frac{Q_C}{W_R}.$$

Sendo o segundo refrigerador reversível (R), inverte-se seu sentido, de forma que o mesmo passa a funcionar como um ciclo de potência. Nestas condições, aplicando a primeira lei para o sistema combinado composto por ambos os refrigeradores e o reservatório frio é

$$W_R - W_I = W_{liq} = Q_H - Q'_H.$$

Analisando o sistema combinado tem-se pelo enunciado da segunda lei de Kelvin-Planck que o trabalho líquido deve ser negativo. Assim,

$$W_R < W_I \quad \Rightarrow \quad \beta_R = \frac{Q_C}{W_R} > \frac{Q_C}{W_I} = \beta_I. \quad \blacksquare$$

Continue a solução no verso ⟹

3 [25] Potência é entregue a uma taxa de 450 W a um refrigerador doméstico que possui um coeficiente de desempenho de 2.5. Devem ser refrigeradas cinco grandes melancias, de 10 kg cada, a 8 °C. Considerando que as melancias estão inicialmente a 20 °C, determine quanto tempo levará sua refrigeração. As melancias podem ser consideradas compostas somente por água. Sua resposta é realista ou otimista? Explique.

SOLUÇÃO DA QUESTÃO:
Da definição do coeficiente de desempenho para refrigeradores,

$$\beta = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}} \quad \Rightarrow \quad \dot{Q}_L = \beta \dot{W} = 2.5 \times 450\,\mathrm{W} = 1125\,\mathrm{W}.$$

Considerando que não há mais nada a ser resfriado no interior da geladeira, define-se como sistema as melancias. Aplicando a primeira lei em termos de taxas,

$$\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}t} = m\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t} = mc_v\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}t} = -\dot{Q}_L,$$
$$\Rightarrow \frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}t} = -\frac{\dot{Q}_L}{mc_v}.$$

Supondo que a taxa de resfriamento permanece constante (a geladeira opera em regime permanente), as variáveis t e T podem ser separadas e a equação resultante integrada entre as temperaturas inicial e final:

$$\int_{T_i}^{T_f} \mathrm{d}T = -\frac{\dot{Q}_L}{mc_v}\int_{t_0}^{t_0+\Delta t} \mathrm{d}t,$$

$$T_f - T_i = -\frac{\dot{Q}_L \Delta t}{mc_v} \quad \Rightarrow \quad \Delta t = \frac{mc_v\left(T_i - T_f\right)}{\dot{Q}_L} = \frac{50\,\mathrm{kg} \times \overbrace{4184\,\mathrm{J\,kg^{-1}K^{-1}}}^{\text{Tabela A.4}}\,(20-8)\ \mathrm{K}}{1125\,\mathrm{J\,s^{-1}}} \approx 2231\,\mathrm{s} \approx 37\,\mathrm{min}.$$

Esta resposta é otimista, já que durante o processo calor é transferido do ar ambiente para o interior do refrigerador, de forma que vai levar mais tempo para que as melancias sejam resfriadas. ■

Continue a solução no verso ⟹

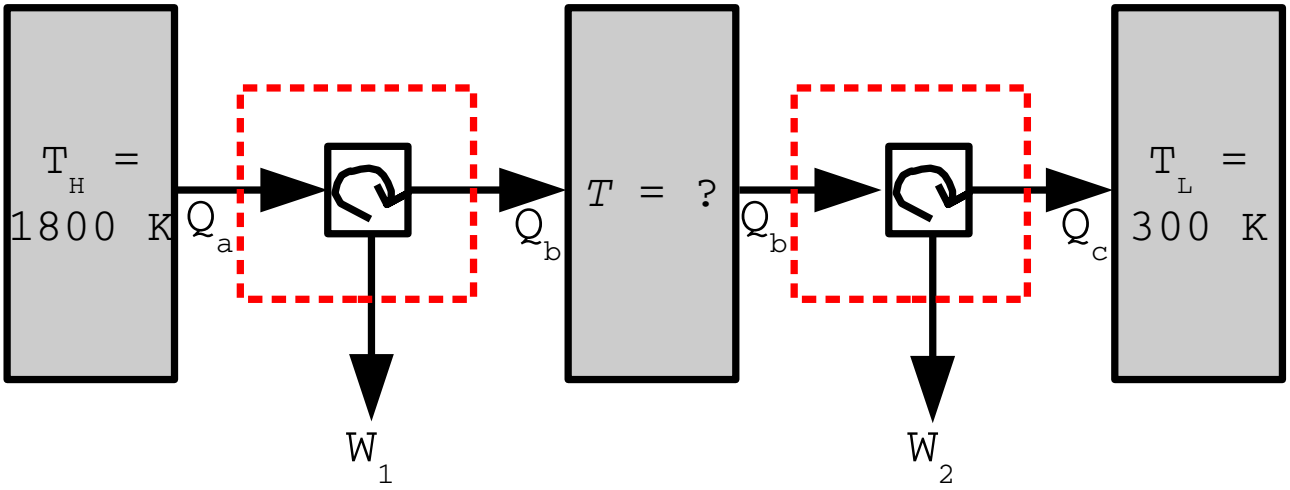
4 [35] Considere dois ciclos de potência de Carnot operando em série. O primeiro ciclo recebe calor do reservatório a 1800 K e rejeita o calor em outro reservatório, a uma temperatura T. O segundo ciclo recebe essa energia rejeitada pelo primeiro, converte parte da energia em trabalho e rejeita o restante em um reservatório a 300 K. Determine a temperatura T do reservatório intermediário:

a) [15] considerando que as eficiências térmicas dos dois ciclos sejam iguais.

b) [20] considerando que o trabalho produzido pelos dois ciclos sejam iguais.

Faça uma ilustração para te auxiliar.

SOLUÇÃO DA QUESTÃO:



a) A eficiência de um ciclo de potência é dada por

$$\eta = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H},$$

mas para um ciclo de Carnot

$$\frac{Q_L}{Q_H} = \frac{T_{frio}}{T_{quente}} \quad \Rightarrow \quad \eta = 1 - \frac{T_{frio}}{T_{quente}}.$$

Para os ciclos do problema,

$$\eta_1 = 1 - \frac{T}{T_H} = \eta_2 = 1 - \frac{T_L}{T}.$$

Logo,

$$\frac{T}{T_H} = \frac{T_L}{T} \quad \Rightarrow \quad T = \sqrt{T_H T_L} \approx 735\,\text{K} \quad \text{(média geométrica).} \quad \blacksquare$$

b) Se $W_1 = W_2 = W$,

$$\eta_1 = \frac{W}{Q_a},$$

$$\eta_2 = \frac{W}{Q_b} = \frac{W}{Q_a - W} = \frac{1}{\frac{Q_a}{W} - 1} = \left(\frac{1}{\eta_1} - 1\right)^{-1}.$$

A última equação pode ser reescrita como

$$\frac{1}{\eta_1} - \frac{1}{\eta_2} = 1.$$

Usando

$$\eta_1 = \frac{T_H - T}{T_H}, \quad \eta_2 = \frac{T - T_L}{T},$$

tem-se

$$\frac{T_H}{T_H - T} - \frac{T}{T - T_L} = 1,$$

$$T_H\,(T - T_L) - T\,(T_H - T) = (T_H - T)\,(T - T_L)\,,$$

$$T = \frac{T_H + T_L}{2} = 1050\,\text{K} \quad \text{(média aritmética).} \quad \blacksquare$$

Continue a solução no verso ⟹