Lista de Exercícios V - Gabarito

5.8 · Ciclo de potência · Reversível } R

· R e I operam entre os mesmos dois reservatórios

· Ciclo de potência · Irreversível } I

a) $Q_{H_I} = Q_{H_R}$

$\leadsto$ mostrar que $Q_{C_I} > Q_{C_R}$

A eficiência térmica de um ciclo de potência agindo entre dois reservatórios é dada por:

$$\eta = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$$

Assim,

$$\eta_I = 1 - \frac{Q_{C_I}}{Q_{H_I}} \Rightarrow \eta_I - 1 = -\frac{Q_{C_I}}{Q_{H_I}} \Rightarrow \boxed{Q_{H_I} = \frac{Q_{C_I}}{1-\eta_I}}$$

Analogamente,

$$\boxed{Q_{H_R} = \frac{Q_{C_R}}{1-\eta_R}}$$

Como $Q_{H_I} = Q_{H_R}$:

$$\frac{Q_{C_R}}{1-\eta_R} = \frac{Q_{C_I}}{1-\eta_I}$$

$$\boxed{\frac{Q_{C_I}}{Q_{C_R}} = \frac{1-\eta_I}{1-\eta_R}}$$

Pelo primeiro corolário de Carnot: "a eficiência térmica de um ciclo de potência irreversível é sempre menor que a eficiência térmica de um ciclo de potência reversível quando cada um opera entre os mesmos reservatórios térmicos". Assim, $\eta_I < \eta_R$, ou seja, $(1-\eta_I) > (1-\eta_R)$. Portanto, a razão $\left[\frac{1-\eta_I}{1-\eta_R}\right] > 1$, ou seja, $\frac{Q_{C_I}}{Q_{C_R}} > 1$. Portanto, vemos que o calor rejeitado para o reservatório frio é maior no caso do ciclo irreversível.

Uma maior rejeição de calor implica em uma menor disponibilidade de energia para realização de trabalho. Sendo assim, os ciclos de potência irreversíveis tem sua capacidade de realização de trabalho reduzida devido às irreversibilidades.

b) $W_{ciclo_I} = W_{ciclo_R}$. Mostrar que $Q_{H_I} > Q_{H_R}$

Sabemos que o rendimento térmico para ciclos de potência também pode ser escrito da seguinte forma: $\eta = \frac{W_{ciclo}}{Q_H}$. Assim,

$$\eta_I = \frac{W_{ciclo_I}}{Q_{H_I}} \quad e \quad \eta_R = \frac{W_{ciclo_R}}{Q_{H_R}}$$

Como $W_{ciclo_I} = W_{ciclo_R}$:

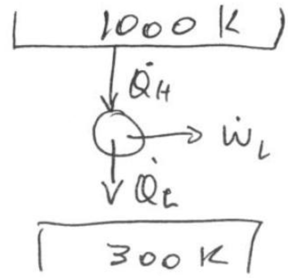
$$\eta_I Q_{H_I} = \eta_R Q_{H_R}$$

$$\boxed{\frac{Q_{H_I}}{Q_{H_R}} = \frac{\eta_R}{\eta_I}}$$

Pelo primeiro formulário de Carnot, $\eta_R > \eta_I$, ou seja, $\frac{\eta_R}{\eta_I} > 1$. Logo, $\frac{Q_{H_I}}{Q_{H_R}} > 1$. Assim, o calor transferido ao ciclo irreversível (Q_{H_I}) é maior do que o calor transferido ao ciclo reversível (Q_{H_R}).

Vemos, assim, que precisamos aumentar o calor que entra em um ciclo irreversível se desejamos obter o mesmo trabalho que seria fornecido por um ciclo reversível. Na prática, como estamos assumindo que a temperatura dos reservatórios térmicos deve permanecer inalterada, precisaríamos de uma área maior de troca de calor (no dispositivo usado na região de entrada de calor) ou, no caso de ciclos abertos, precisaríamos de mais combustível. Assim, podemos visualizar o impacto financeiro causado pelas irreversibilidades de um ciclo de potência.

5.19



p/ todos: $\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H}$ $\dot{Q}_H = \dot{W} + \dot{Q}_L$ (1ª lei)

p/ ciclo rev.: $\boxed{\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 0{,}7}$

a) $\dot{Q}_H = 500$ kW ; $\dot{Q}_C = 100$ kW $\Rightarrow$ 1ª Lei : $\dot{W} = 400$ kW

$\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H} = \frac{400}{500} = 0{,}8$ ($> 0{,}7 \Rightarrow$ impossível)

b) $\dot{Q}_H = 500$ kW ; $\dot{W} = 250$ kW ; $\dot{Q}_C = 200$ kW

1ª Lei $\rightarrow$ não é satisfeita ($500 \neq 250 + 200$) $\Rightarrow$ impossível 1ª Lei

apesar de que $\eta = \frac{250}{500} = 0{,}5$ ($< 0{,}7$)

5.19 - cont. c) $\dot{W} = 350$ kW ; $\dot{Q}_L = 150$ kW

1ª Lei: $\dot{Q}_H = 350 + 150 = 500$ kW

2ª Lei: $\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H} = \frac{350}{500} = 0{,}7 \Rightarrow$ ciclo reversível

d) $\dot{Q}_H = 500$ kW $\dot{Q}_C = 200$ kW

1ª lei $\Rightarrow \dot{W} = 300$ kW

2ª lei $\Rightarrow \eta = \frac{300}{500} = 0{,}6$ ($< 0{,}7 \Rightarrow$ irreversível)

(5.20) Ciclo de potência reversível $\Rightarrow \boxed{\eta = \eta_{max} = 1 - \frac{T_C}{T_H}}$

a) $\begin{cases} T_H = 1200\,K \\ T_C = 300\,K \end{cases} \Rightarrow \eta = ?$

$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{300}{1200} \Rightarrow \boxed{\eta = 0,75}$

b) $\begin{cases} T_H = 500°C \\ T_C = 20°C \end{cases}$ $\cdot\, W_{ciclo} = 1000\,kJ$ $\sim \begin{cases} Q_H = ? \\ Q_C = ? \end{cases} [kJ]$

$\begin{cases} T_H = 500 + 273 \Rightarrow T_H = 773\,K \\ T_C = 20 + 273 \Rightarrow T_C = 293\,K \end{cases}$ $\Rightarrow$ sempre usar as temperaturas absolutas para o cálculo da eficiência dos ciclos térmicos

$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{293}{773} \Rightarrow \boxed{\eta = 0,6209}$

$\eta = \frac{W_{ciclo}}{Q_H} \Rightarrow 0,6209 = \frac{1000}{Q_H} \Rightarrow \boxed{Q_H = 1610,41\,kJ}$

$\eta = 1 - \frac{Q_C}{Q_H} \Rightarrow 0,6209 = 1 - \frac{Q_C}{1610,41} \Rightarrow \boxed{Q_C = 610,51\,kJ}$

c) $\begin{cases} \eta = 0,60 \\ T_C = 4,4°C \end{cases}$ $\cdot\, T_H = ?\ [°F]$

$T_C = 4,4 + 273 \Rightarrow \boxed{T_C = 277,4\,K}$

$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} \Rightarrow 0,60 = 1 - \frac{277,4}{T_H} \Rightarrow \boxed{T_H = 693,5\,K}$

$T_H(°F) = 1,8\,T_H(K) - 459,67$

$\boxed{T_H(°F) = 788,63\,°F}$

d) $\begin{cases} \eta = 0{,}40 \\ T_H = 727°C \\ T_C = ? \end{cases}$

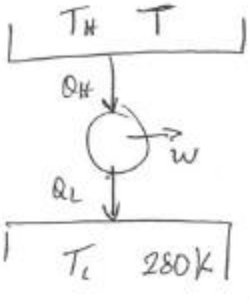
$T_H = 727 + 273 \Rightarrow \boxed{T_H = 1000K}$

$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} \Rightarrow 0{,}40 = 1 - \frac{T_C}{1000} \Rightarrow \boxed{T_C = 600K}$

$T_C(°C) = T_C(K) - 273$

$\boxed{T_C(°C) = 327°C}$

5.31



$\dot{W} = 40$ kW

$\dot{Q}_C = 1000$ kJ/min $= 50/3$ kW

$T = ?$ 1ª Lei: $\dot{Q}_H = \dot{W} + \dot{Q}_c =$

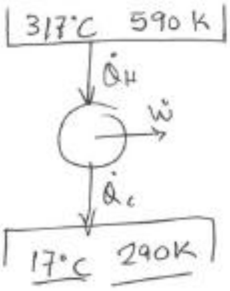
$\dot{Q}_H = 40 + \frac{50}{3} = \boxed{\frac{170}{3} \text{ kW}}$

$T_{min} \Rightarrow$ ciclo reversível

2ª Lei: $\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H} = 1 - \frac{T_c}{T_H} \Rightarrow \frac{40.3}{170} = 1 - \frac{280}{T}$

$\Rightarrow \boxed{T = 952 \text{ K}}$

5.38



$\dot{W} = 750$ MW $\quad \dot{m} = 1{,}65.10^5$ kg/s (rio)

a) $\eta_c = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{290}{590} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H} \Rightarrow$

$\dot{Q}_H = \frac{\dot{W}.590}{300} = 1475$ MW

então: (1ª Lei) $\Rightarrow \dot{Q}_L = \dot{Q}_H - \dot{W} = 1475 - 750 = \boxed{725 \text{ MW}}$

Supondo: $c = 4{,}1868$ kJ/kg.K p/a água do rio

e que: $\dot{Q}_L = \dot{m}\,c\,(T_f - T_i) \Rightarrow \frac{725.10^6}{1{,}65.10^5 . 4{,}1868.10^3} = T_f - 17 \Rightarrow \boxed{T_F = 18{,}05°C}$

b) se $\eta = \frac{2}{3}\eta_c \Rightarrow \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H} = \frac{2}{3}\frac{300}{590} \Rightarrow \dot{Q}_H = 2212{,}5$ kW

5.38

③

1ª Lei: $\dot{Q}_L = \dot{Q}_H - \dot{W} = 2212{,}5 - 750 = \boxed{1462{,}5 \text{ MW}}$

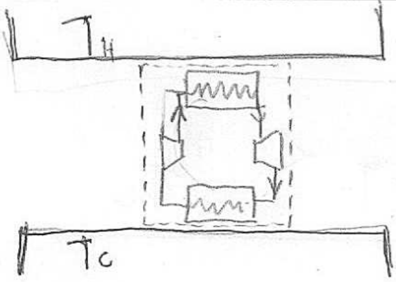
Logo: $\dot{Q}_L = \dot{m}\,c\,(T_f - 17) \Rightarrow \frac{1462{,}5.10^6}{1{,}65.10^5 . 4{,}1868.10^3} = T_f - 17$

$\boxed{T_F = 19{,}1\,°C}$

Quanto menor o $\eta \Rightarrow$ maior $\dot{Q}_L$ (p/ $\dot{W}$ fixo)

e portanto maior será o aquecimento da água do rio.

5.41 Para aumentar a eficiência térmica de um ciclo de potência reversível que opera entre reservatórios a T_H e T_C, você aumentaria T_H enquanto mantivesse T_C constante ou diminuiria T_C enquanto mantivesse T_H constante? Existe algum *limite natural* para o aumento da eficiência térmica que pudesse ser alcançado dessa forma?



• A eficiencia máxima para um ciclo de potência reversivel

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} = \frac{T_H - T_C}{T_H}$$

• Logo aumentando T_H η aumenta e reduzindo T_C a eficiencia η também aumenta. Para determinar qual efeito e mais significativo para a eficiencia imagine uma variação de N graus em T_H e depois em T_C

• $T_H + N$

$$\eta_{T_H} = 1 - \frac{T_C}{T_H + N} = \frac{T_H - T_C + N}{T_H + N} = \frac{\overset{\eta}{T_H - T_C}}{\left(1 + \frac{N}{T_H}\right) T_H} + \frac{N}{\left(1 + \frac{N}{T_H}\right) T_H}$$

$$\eta_{T_H} = \frac{\eta + N/T_H}{1 + N/T_H}$$

• $T_C - N$

$$\eta_{T_C} = 1 - \frac{T_C - N}{T_H} = \frac{T_H - T_C + N}{T_H} = \overset{\eta}{\frac{T_H - T_C}{T_H}} + \frac{N}{T_H}$$

$$\eta_{T_C} = \eta + \frac{N}{T_H}$$

• Substituindo η_{T_C} na equação de η_{T_H}

$$\eta_{T_H} = \frac{\eta_{T_C}}{1 + N/T_H} \qquad \text{logo} \quad \eta_{T_H} < \eta_{T_C}$$

• O limite da redução de T_C está diretamente relacionado a temperatura ambiente, pois para se obter temperaturas mais baixas seria necessario um sistema de refrigeração. No outro extremo os aumentos de T_H estão limitados as propriedades fisicas dos materiais. Altas temperaturas podem fundir equipamentos do ciclo de potência.

5.43 · Ciclo de refrigeração

· $T_C = 280K$

· $T_H = 320K$

~ Determinar se os ciclos são reversíveis, irreversíveis ou impossíveis

$$\beta_{max} = \frac{T_C}{T_H - T_C} \Rightarrow \beta_{max} = \frac{280}{320-280} \Rightarrow \boxed{\beta_{max} = 7}$$

a) $\begin{cases} \cdot Q_C = 1500 kJ \\ \cdot W_{ciclo} = 150 kJ \end{cases}$

$$\beta = \frac{Q_C}{W_{ciclo}} \Rightarrow \beta = \frac{1500}{150} \Rightarrow \boxed{\beta = 10} > \beta_{max} \Rightarrow \underline{\text{impossível}}$$

b) $\begin{cases} \cdot Q_C = 1400 kJ \\ \cdot Q_H = 1600 kJ \end{cases}$

$$\beta = \frac{Q_C}{Q_H - Q_C} \Rightarrow \beta = \frac{1400}{1600-1400} \Rightarrow \boxed{\beta = 7} = \beta_{max} \Rightarrow \underline{\text{reversível}}$$

c) $\begin{cases} \cdot Q_H = 1600 kJ \\ \cdot W_{ciclo} = 400 kJ \end{cases}$

$$\beta = \frac{Q_C}{W_{ciclo}} = \frac{Q_C}{Q_H - Q_C} \Rightarrow \frac{\cancel{Q_C}}{400} = \frac{\cancel{Q_C}}{1600 - Q_C} \Rightarrow \boxed{Q_C = 1200 kJ}$$

$$\beta = \frac{Q_C}{W_{ciclo}} \Rightarrow \beta = \frac{1200}{400} \Rightarrow \boxed{\beta = 3} < \beta_{max} \Rightarrow \underline{\text{irreversível}}$$

d) $\{ \cdot \beta = 5$

$$\boxed{\beta = 5} < \beta_{max} \Rightarrow \underline{\text{irreversível}}$$

5.75

- RP
- Bomba de calor
- Reversível

a) $\begin{cases} T_H = 21°C \Rightarrow \text{achar } \gamma \\ T_C = 7°C \end{cases}$

$$\gamma = \frac{T_H}{T_H - T_C} \Rightarrow \gamma = \frac{(21+273)}{(21+273)-(7+273)} \Rightarrow \boxed{\gamma = 21}$$

~ sempre usar T_C e T_H em uma escala absoluta

b) $\begin{cases} \dot{Q}_H = 10{,}5 \text{ kW} \\ \dot{Q}_C = 8{,}75 \text{ kW} \Rightarrow \text{achar } T_H [°C] \\ T_C = 0°C \Rightarrow \boxed{T_C = 273 K} \end{cases}$

$$\gamma = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{Q}_H - \dot{Q}_C} \Rightarrow \gamma = \frac{10{,}5}{10{,}5 - 8{,}75} \Rightarrow \boxed{\gamma = 6}$$

$$\gamma = \frac{T_H}{T_H - T_C} \Rightarrow 6 = \frac{T_H}{T_H - 273} \Rightarrow 6T_H - 1638 = T_H \Rightarrow \boxed{T_H = 327{,}6 K}$$

Logo, $\boxed{T_H = 54{,}6°C}$

c) $\begin{cases} \gamma = 10 \\ T_H = 27°C \Rightarrow \boxed{T_H = 300 K} \\ T_C = ? [°C] \end{cases}$

$$\gamma = \frac{T_H}{T_H - T_C} \Rightarrow 10 = \frac{300}{300 - T_C} \Rightarrow 3000 - 10T_C = 300 \Rightarrow \boxed{T_C = 270 K}$$

Logo, $\boxed{T_C = -3°C}$

5.50 Um inventor desenvolveu um refrigerador capaz de manter seu compartimento do congelador a 20°F (−6,7°C), enquanto opera em uma cozinha a 70°F (21,1°C), e afirma que o dispositivo possui um coeficiente de desempenho de (a) 10, (b) 9,6, (c) 4. Avalie essa afirmação para cada um dos três casos.

• Para um ciclo de refrigeração operando entre uma fonte fria $T_C = 20°F = 479{,}67°R$ e uma fonte quente $T_H = 70°F = 529{,}67°R$ o rendimento máximo

$$\beta_{MAX} = \frac{T_C}{T_H - T_C} = \frac{479{,}67}{529{,}67 - 479{,}67}$$

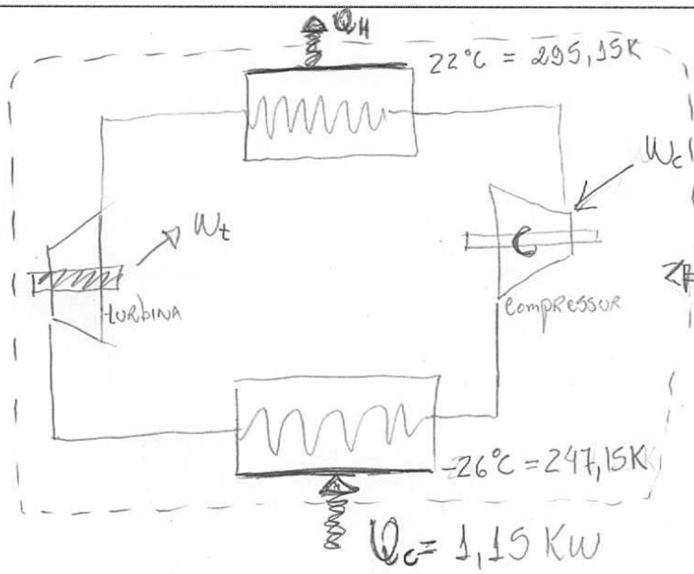
$$\beta_{MAX} = 9{,}6$$

(a) De acordo com o enunciado da segunda Lei não é possível contruir um ciclo com rendimento superior a 9,6.

(b) Só é possível obter um rendimento de 9,6 para o ciclo de refrigeração caso o mesmo seja reversível

(c) É possível construir um ciclo com $\beta = 4$ pois o mesmo não viola a segunda lei

5.54 Um refrigerador mantém o congelador a −26°C em um dia em que a temperatura da vizinhança é 22°C removendo energia por meio de transferência de calor do compartimento do seu congelador a uma taxa de 1,25 kW. Determine a potência teórica mínima, em kW, requerida pelo refrigerador em regime permanente.



$$W_{IN} = W_c - W_t$$

• A potência mínima teorica é obtida quando a maquina térmica possui-se o máximo Rendimento, para um sistema de refrigeração

$$\beta_{MAX} = \frac{T_c}{T_H - T_c} = \frac{Q_c}{W_{IN}} \Rightarrow \beta_{MAX} = \frac{247,15}{295,15 - 247,15}$$

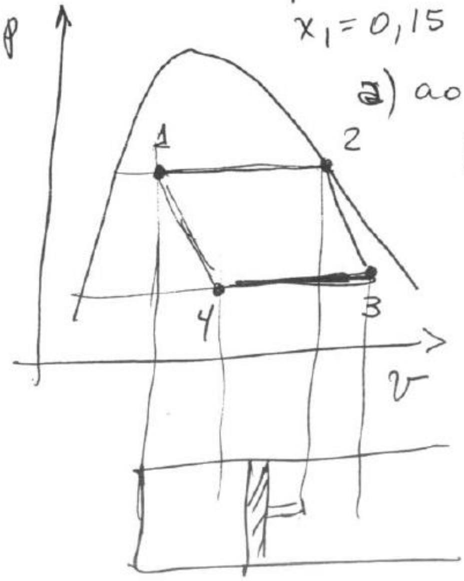
$$\beta_{MAX} = 5,15 \quad \text{logo} \quad 5,15 = \frac{1,25\ KW}{W_{IN}}$$

$\underline{W_{IN} = 0,2428\ KW}$, Esta é a quantidade mínima de potência requerida para acionar o sistema de refrigeração.

5.75 | $m = 2\ Kg$

$p_1 = 40\ bar$ $\quad p_2 = 40\ bar$ $\quad p_3 = 1{,}5\ bar$

$x_1 = 0{,}15$ $\quad x_2 = 1$ $\quad {}_2W_3 = 491{,}5\ kJ/kg$



a) ao lado;

b) Processo 1-2 isotérmico

Hipótese: ciclo de Carnot $\rightarrow$ ${}_1Q_2 = Q_H$

c/ p_1, x_1 } Tab. $\quad T_1 = 250{,}4\,°C$

$u_1 = x_1 u_g + (1-x_1) u_f$

$$\boxed{u_1 = 0{,}15(2602{,}3) + 0{,}85(1082{,}3) = 1310{,}3\ kJ/kg}$$

$v_1 = 0{,}15(0{,}04978) + 0{,}85(1{,}2522 \cdot 10^{-3}) = 8{,}5314 \cdot 10^{-3}$

c/ p_2, x_2 } Tab $\quad T_2 = T_1 = 250{,}4\,°C$

$$\boxed{u_2 = u_g = 2602{,}3\ kJ/kg}$$

$v_2 = v_g = 0{,}04978\ m^3/kg$

- $${}_1W_2 = \int_1^2 P\,dV = P\int_1^2 dV = p\,(V_2 - V_1)$$

$V_2 = v_2 \cdot m = 2 \cdot 0{,}04978$; $V_1 = v_1\, m = 2 \cdot 8{,}5314 \cdot 10^{-3}$

$V_2 = 0{,}09956\ m^3$; $V_1 = 0{,}01707\ m^3$ (17,07 litros)

$$\boxed{{}_1W_2 = 40 \cdot 10^5\,(0{,}09956 - 0{,}01707) = 329{,}98\ kJ/kg}$$

L

- 1ª Lei p/ processo 1→2:

$$\Delta U = {}_1Q_2 - {}_1W_2 \Rightarrow {}_1Q_2 = Q_H = U_2 - U_1 + {}_1W_2$$

$$\boxed{{}_1Q_2 = Q_H = 2\,(2602{,}3 - 1310{,}3) + 329{,}98 = 2913{,}98\ kJ}$$

- Processo 2→3 ⇒ adiabático $\boxed{{}_2Q_3 = 0}$

$$\boxed{{}_2W_3 = 491{,}5\ kJ/kg\ (\text{dado})}$$

$p_3 = 1{,}5$ bar

1ª p/ processo 2→3:

$$\Delta U = \cancel{{}_2Q_3} - {}_2W_3 \Rightarrow U_3 - U_2 = -{}_2W_3$$

$$m\,u_3 - m\,u_2 = -491{,}5 \Rightarrow \boxed{u_3 = 2356{,}55\ kJ/kg}$$

c/ u_3 e p_3 $\xrightarrow{\text{Tab A3}}$ $x_3 = \dfrac{u_3 - u_f}{u_g - u_f} = \dfrac{2356{,}55 - 466{,}94}{2519{,}7 - 466{,}94} = 0{,}9205$

$v_3 = ?$

$$v_3 = x_3 v_g + (1 - x_3)\,v_f = 0{,}9205\,(1{,}159) + 0{,}0795\,(1{,}0528 \cdot 10^{-3})$$

$$v_3 = 1{,}06697\ m^3/kg \Rightarrow \boxed{V_3 = 2{,}1339\ m^3}$$

$$\boxed{T_3 = T_4 = 111{,}4\,°C}$$

- Processo 3→4: troca de calor c/ reservatório frio (T = cte)

$${}_3Q_4 = Q_L \quad e \quad \boxed{\eta} = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{384{,}55}{523{,}55} = 0{,}2655 \quad (c)$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} \Rightarrow Q_L = Q_H\,(1 - \eta) = 2913{,}96\,(1 - 0{,}2655)$$

$$\boxed{Q_L = 2140{,}3\ kJ} = {}_3Q_4$$

(negativo)

(5-84) · Ciclo de potência, vapor
· RP
· Processos 1→2 e 3→4 : adiabáticos
· Determinar se o ciclo é possível, internamente reversível ou impossível

a) $\begin{cases} 4 \to 1 \Rightarrow \text{passagem de líquido sat a vapor sat. a } p = 1MPa \\ 2 \to 3 \Rightarrow x_2 = 0{,}88 \text{ a } x_3 = 0{,}18,\ p = 20000Pa \end{cases}$

· Processo 4→1

Pela tabela A.3, temos, para $p = 10$ bar (1MPa): $h_{fg} = h_g - h_f = 2031{,}1$ kJ/kg

Assim,

$$\dot{Q}_{41} - \cancel{\dot{W}_{41}} = \dot{m}(h_1 - h_4)$$

$$\boxed{\frac{\dot{Q}_{41}}{\dot{m}} = 2031{,}1 \text{ kJ/kg}}$$

Pela mesma tabela, para $p = 0{,}2$ bar (20000Pa), $\begin{cases} \cdot h_f = 251{,}40 \text{ kJ/kg} \\ \cdot h_g = 2609{,}7 \text{ kJ/kg} \end{cases}$

Logo, $\dot{Q}_{23} - \cancel{\dot{W}_{23}} = \dot{m}(h_3 - h_2)$

Sendo que:

$$h_3 = (1 - x_3) h_{3f} + x_3 h_{3g} \Rightarrow h_3 = (1 - 0{,}18) \cdot 251{,}40 + 0{,}18 \cdot 2609{,}7$$

$$\boxed{h_3 = 675{,}894 \text{ kJ/kg}}$$

Analogamente,

$h_2 = (1-x_2) h_{f2} + x_2 h_{g2} \Rightarrow h_2 = (1-0{,}88) \cdot 251{,}40 + 0{,}88 \cdot 2609{,}7$

$\boxed{h_2 = 2326{,}704 \text{ kJ/kg}}$

Logo, $\frac{\dot{Q}_{23}}{\dot{m}} = h_3 - h_2 \Rightarrow \frac{\dot{Q}_{23}}{\dot{m}} = 675{,}894 - 2326{,}704 \Rightarrow \boxed{\frac{\dot{Q}_{23}}{\dot{m}} = -1650{,}81 \text{ kJ/kg}}$

Pela tabela A.3, vemos que $\begin{cases} \cdot \text{ Processo } 4 \to 1 \ (10 \text{ bar}) \Rightarrow T = 179{,}9°C \Rightarrow T_{41} = 452{,}9 K \\ \cdot \text{ Processo } 2 \to 3 \ (0{,}2 \text{ bar}) \Rightarrow T = 60{,}06°C \Rightarrow T_{23} = 333{,}06 K \end{cases}$

Assim,

$$\oint \frac{Q}{T} = -\sigma$$

$\frac{Q_{23}}{T_{23}} + \frac{Q_{41}}{T_{41}} = -\sigma \Rightarrow \frac{\dot{Q}_{23}}{\dot{m} T_{23}} + \frac{\dot{Q}_{41}}{\dot{m} T_{41}} = \frac{-\dot{\sigma}}{\dot{m}} \Rightarrow \frac{-1650{,}81}{333{,}06} + \frac{2031{,}1}{452{,}9} = \frac{-\dot{\sigma}}{\dot{m}}$

Logo, $-\frac{\dot{\sigma}}{\dot{m}} = -0{,}4718 \Rightarrow \boxed{\frac{\dot{\sigma}}{\dot{m}} = 0{,}4718 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}}$ $> 0 \to$ possível

b) $4 \to 1 \ \{ x_4 = 0, \ x_1 = 1 \ \sim p = 80 \text{ bar}$

$2 \to 3 \ \{ x_2 = 0{,}675, \ x_3 = 0{,}342 \ \sim p = 0{,}08 \text{ bar}$

Pela tabela A.3, para $p = 80$ bar $\Rightarrow \begin{cases} - T_{41} = 295{,}1°C \Rightarrow T_{41} = 568{,}1 K \\ - h_1 - h_4 = h_{fg}|_{p=80\text{bar}} = 1441{,}3 \text{ kJ/kg} \end{cases}$

Assim, $\dot{Q}_{41} - \cancel{\dot{W}_{41}} = \dot{m}(h_1 - h_4)$

$\boxed{\frac{\dot{Q}_{41}}{\dot{m}} = 1441{,}3 \text{ kJ/kg}}$

Pela tabela A.3, para $p = 0{,}08$ bar $\begin{cases} - h_f = 173{,}88 \text{ kJ/kg} \\ \cdot h_g = 2577{,}0 \text{ kJ/kg} \\ \cdot T_{23} = 41{,}51 C \Rightarrow T_{23} = 314{,}51 K \end{cases}$

Assim,

$h_2 = (1-x_2)\, h_{f2} + x_2\, h_{g2}$

$h_2 = (1-0{,}675) \cdot 173{,}88 + 0{,}675 \cdot 2577$

$\boxed{h_2 = 1795{,}99\ kJ/kg}$

E,

$h_3 = (1-x_3)\, h_{f3} - x_3\, h_{g3}$

$h_3 = (1-0{,}342) \cdot 173{,}88 + 0{,}342 \cdot 2577$

$\boxed{h_3 = 995{,}75\ kJ/kg}$

Logo,

$\dot{Q}_{23} - \cancel{\dot{W}_{23}} = \dot{m}\,(h_3 - h_2)$

$\dfrac{\dot{Q}_{23}}{\dot{m}} = 995{,}75 - 1795{,}99 \Rightarrow \boxed{\dfrac{\dot{Q}_{23}}{\dot{m}} = -800{,}24\ kJ/kg}$

Finalmente,

$\oint \dfrac{Q}{T} = -\sigma$

$\dfrac{Q_{23}}{T_{23}} + \dfrac{Q_{41}}{T_{41}} = -\sigma \Rightarrow -\dfrac{\dot{\sigma}}{\dot{m}} = \dfrac{-800{,}24}{314{,}57} + \dfrac{1441{,}3}{568{,}1}$

Assim,

$-\dfrac{\dot{\sigma}}{\dot{m}} \approx 0 \Rightarrow \boxed{\dfrac{\dot{\sigma}}{\dot{m}} \approx 0}$ ~ internamente reversível

c) $\begin{cases} 4 \to 1 \Rightarrow x_4 = 0,\ x_1 = 1,\ p = 1{,}5\ bar \\ 2 \to 3 \Rightarrow x_2 = 0{,}90,\ x_3 = 0{,}1,\ p = 0{,}2\ bar \end{cases}$

Pela tabela A.3, para $p = 1{,}5\ bar$ $\begin{cases} h_{fg} = 2226{,}5\ kJ/kg \\ T_{41} = 384{,}4\ K\ (111{,}4\ °C) \end{cases}$

Pela tabela A3, para $p = 0{,}2\ bar$ $\begin{cases} h_f = 251{,}40\ kJ/kg \\ h_g = 2609{,}7\ kJ/kg \\ T_{23} = 333{,}06\ K\ (60{,}06\ °C) \end{cases}$

Assim,

$h_{4g}|_{p=1,5bar}$

$$\dot{Q}_{41} - \cancel{\dot{W}_{41}} = \dot{m}(h_4 - h_1)$$

$$\boxed{\frac{\dot{Q}_{41}}{\dot{m}} = 2226,5 \, kJ/kg}$$

$$h_2 = (1 - x_2) h_{f2} + x_2 h_{g2}$$

$$h_2 = (1-0,9) \cdot 251,40 + 0,9 \cdot 2609,7$$

$$\boxed{h_2 = 2373,87 \, kJ/kg}$$

$$h_3 = (1 - x_3) h_{f3} + x_3 h_{g3}$$

$$h_3 = (1 - 0,1) \cdot 251,4 + 0,1 \cdot 2609,7$$

$$\boxed{h_3 = 487,23 \, kJ/kg}$$

Logo,

$$\dot{Q}_{23} - \cancel{\dot{W}_{23}} = \dot{m}(h_3 - h_2)$$

$$\frac{\dot{Q}_{23}}{\dot{m}} = 487,23 - 2373,87$$

$$\boxed{\frac{\dot{Q}_{23}}{\dot{m}} = -1886,64 \, kJ/kg}$$

Assim,

$$\oint \frac{Q}{T} = -\sigma$$

$$\frac{\dot{Q}_{23}}{\dot{m} T_{23}} + \frac{\dot{Q}_{41}}{\dot{m} T_{41}} = \frac{-\dot{\sigma}}{\dot{m}}$$

$$-\frac{1886,64}{383,06} + \frac{2226,5}{384,4} = \frac{-\dot{\sigma}}{\dot{m}}$$

$$-\frac{\dot{\sigma}}{\dot{m}} = 0,1275$$

$$\boxed{\frac{\dot{\sigma}}{\dot{m}} = -0,1275 \, kJ/kgK} < 0 \sim \text{impossível}$$

5.88 A Fig. P5.88 mostra um sistema que consiste em um ciclo de potência acionando uma bomba de calor. Em regime permanente, o ciclo de potência recebe $\dot{Q}_s$ por transferência de calor a T_s da fonte de alta temperatura e fornece $\dot{Q}_1$ para uma residência a T_r. A bomba de calor recebe $\dot{Q}_0$ do exterior a T_0 e fornece $\dot{Q}_2$ para a residência. Usando a Eq. 5.13, obtenha uma expressão para o valor teórico máximo do parâmetro de desempenho $(\dot{Q}_1 + \dot{Q}_2)/\dot{Q}_s$ em termos das razões de temperatura T_s/T_r e T_0/T_r.

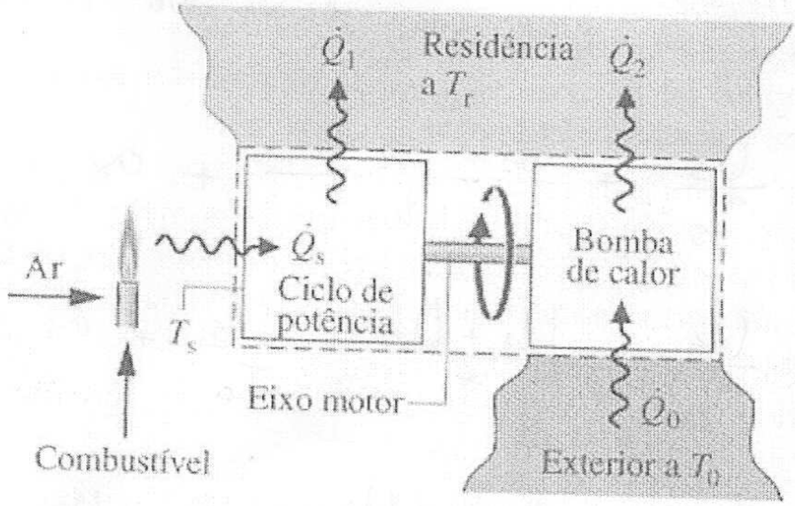


Fig. P5.88

• Utilizando o volume de controle indicado na figura e fazendo uso da desigualdade de Clausius,

$$\oint\left(\frac{\delta Q}{T}\right) = -\sigma_{ciclo}$$

$$\underbrace{\frac{Q_s}{T_s} + \frac{Q_0}{T_0}}_{\text{entrando}} - \underbrace{\frac{Q_1}{T_r} - \frac{Q_2}{T_r}}_{\text{saindo}} = -\sigma_{ciclo}$$

$$\frac{Q_s}{T_s} + \frac{Q_0}{T_0} - \frac{Q_1+Q_2}{T_r} = -\sigma_{ciclo}$$

$$\frac{Q_1+Q_2}{T_r} = \frac{Q_s}{T_s} + \frac{Q_0}{T_0} + \sigma_c$$

. Utilizando a primeira lei para o volume de controle da figura

$$\underbrace{Q_S + Q_O}_{\text{entrando}} = \underbrace{Q_1 + Q_2}_{\text{saindo}}$$

$$Q_O = Q_1 + Q_2 - Q_S$$

. Substituindo a equação acima no balanço de entropia

$$\frac{Q_1 + Q_2}{T_d} = \frac{Q_S}{T_S} + \frac{Q_1 + Q_2 - Q_S}{T_O} + \sigma_c$$

$$\frac{Q_1 + Q_2}{T_d} = \frac{Q_S}{T_S} + \frac{Q_1 + Q_2}{T_O} - \frac{Q_S}{T_O} + \sigma_c$$

$$Q_1 + Q_2 \left(\frac{1}{T_d} - \frac{1}{T_O}\right) = \frac{Q_S}{T_S} - \frac{Q_S}{T_O} + \frac{\sigma_{ciclo} Q_S}{Q_S}$$

$$Q_1 + Q_2 \left(\frac{1}{T_d} - \frac{1}{T_O}\right) = Q_S \left[\left(\frac{1}{T_S} - \frac{1}{T_O}\right) + \frac{\sigma_{ciclo}}{Q_S}\right]$$

$$\frac{Q_1 + Q_2}{Q_3} = \frac{\left(\frac{1}{T_S} - \frac{1}{T_O}\right)}{\left(\frac{1}{T_d} - \frac{1}{T_O}\right)} + \frac{\sigma_{ciclo}}{Q_S\left(\frac{1}{T_d} - \frac{1}{T_O}\right)}$$

$$\frac{Q_1 + Q_2}{Q_3} = \frac{\left(\frac{T_O - T_S}{T_S \cdot T_O}\right)}{\left(\frac{T_O - T_d}{T_d \cdot T_O}\right)} + \frac{\sigma_{ciclo}}{Q_S\left(\frac{T_O - T_d}{T_d T_O}\right)}$$

$$\boxed{\frac{Q_1 + Q_2}{Q_3} = \frac{T_d}{T_O}\left(\frac{T_O - T_S}{T_O - T_d}\right) + \frac{T_O T_d \sigma}{Q_S \cdot T_d \cdot T_O}}$$