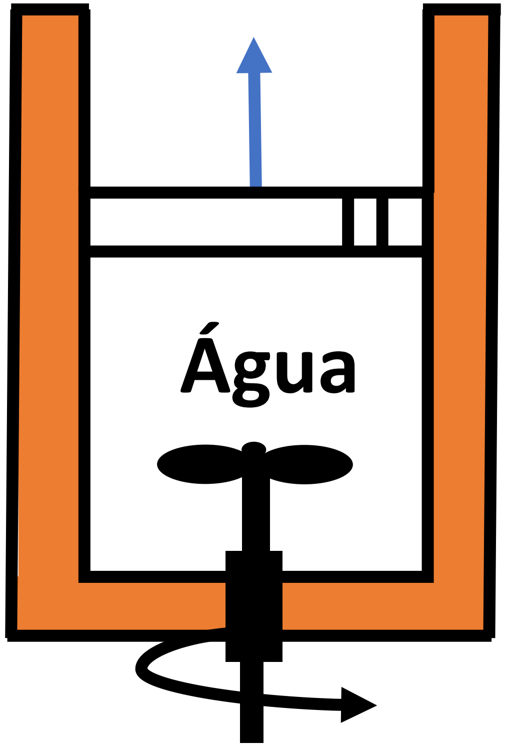
Termodinâmica I

Exercícios

Entropia e Segunda Lei

Prof. Dr. Silvio de Oliveira Junior

Considere o dispositivo mostrado na Figura em que água está no estado líquido saturado a 100°C. Por meio do acionamento do misturador, a água é levada ao estado de vapor saturado a 100°C. Admitindo que não exista atrito entre o pistão e o cilindro e que o processo seja adiabático, determine o trabalho realizado e a entropia gerada por unidade de massa da água.



Solução

$$ {}_1\cancel{Q}_2^{\,0} = \Delta U + {}_1W_2 $$

$$ {}_1W_2 = -m(u_2 - u_1) $$

$$ {}_1W_2 = \frac{{}_1W_2}{\mathrm{m}} = u_1 - u_2 = u_l - u_v $$

$$ {}_1W_2 = -2087{,}56 kJ/kg $$

$$ \Delta S = \int_1^2 \cancel{\left(\frac{\delta Q}{T}\right)}^{\,0} + S_{gerada} $$

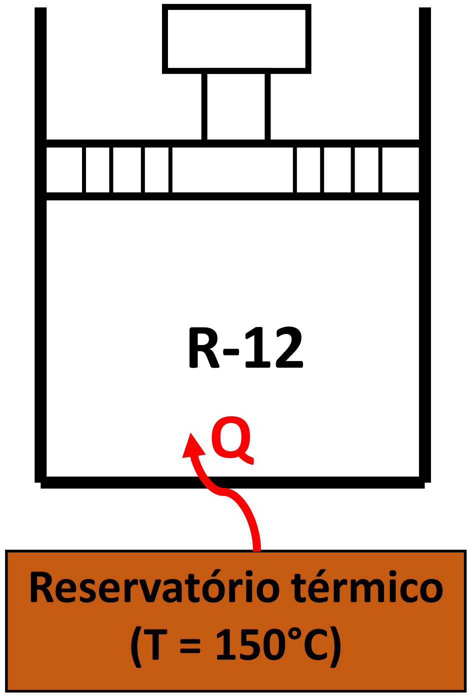
$$ s_2 - s_1 = \frac{S_{gerada}}{m} = 6{,}048 kJ/kgK $$

$$ W_{perd} = T.S_{ger} = 2256{,}8 \approx 2257 kJ/kg $$

$\boldsymbol{h_{lv}}$

7) Considere o dispositivo mostrado na figura abaixo, destinado a levantar uma massa através da transferência de calor de um reservatório a 150°C para o refrigerante 12. A pressão sobre o R-12 devido ao peso e à atmosfera é de 15 bar. Inicialmente, a temperatura do R-12 é 70°C e seu volume é 12 l. Transfere-se calor para R-12 até que sua temperatura seja 150°C. Pede-se

a) O trabalho realizado e o calor transferido no processo;
b) A variação líquida de entropia;
c) Um esquema para atingir o mesmo objetivo sem variação líquida de entropia.



Solução: Exercício 7

$$P = 15bar \qquad T_i = 70°C \qquad \forall_i = 12.10^{-3}m^3$$

$$T_f = 150°C \qquad P_f = 15\text{bar}$$

Propriedades:

$$u_i = 200{,}04\frac{kJ}{kg} \qquad \left.\begin{aligned} v_i &= 0{,}012\, m^3/kg \\ h_i &= 218{,}43\, kJ/kg \\ s_i &= 0{,}705\, kJ/kgK \end{aligned}\right\} \textbf{Estado Inicial}$$

$$u_f = 254{,}62\frac{kJ}{kg} \qquad \left.\begin{aligned} v_f &= 0{,}018\, m^3/kg \\ h_f &= 280{,}93\, kJ/kg \\ s_f &= 0{,}869\, kJ/kgK \end{aligned}\right\} \textbf{Estado Final}$$

$$m = \frac{\forall_i}{v_i} = {12.10^{-3}m^3}/{0{,}012m^3/kg} = 1{,}0\, kg$$

Solução: Exercício 7

(a) $W = P\left(\forall_f - \forall_i\right) = 9{,}0kJ$

(b) $$Q_{R-12} = \underbrace{m\left(u_f - u_i\right) + P.m(v_f - v_i)}_{m(h_f - h_i)} = 62{,}5kJ$$

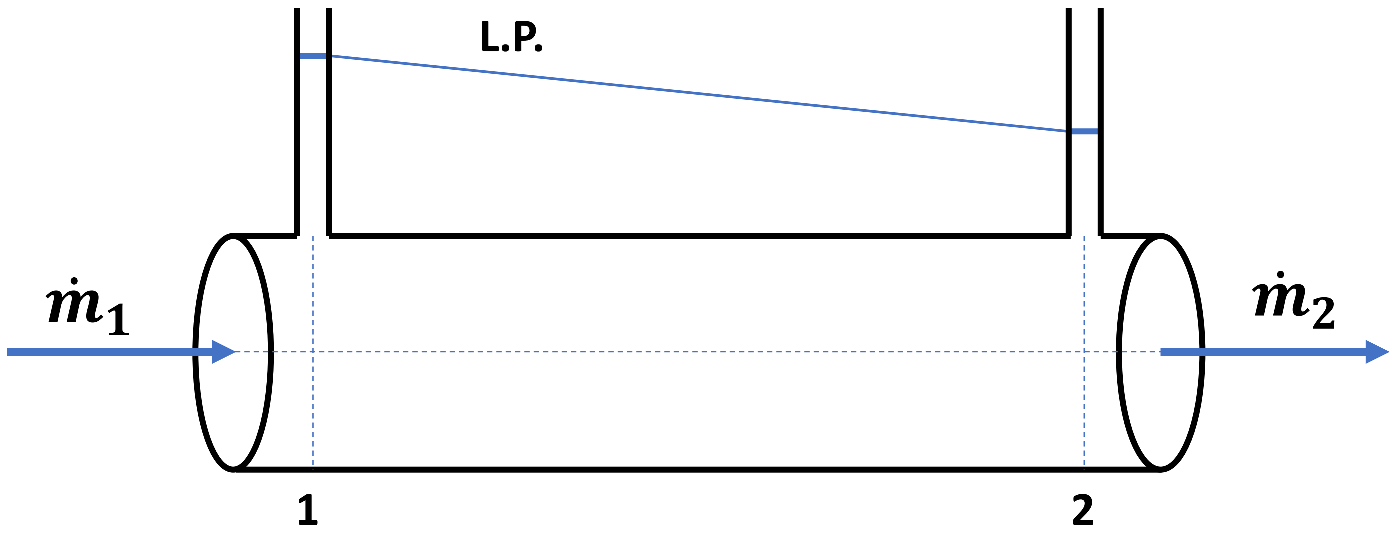
(c) $$\Delta S_t = \Delta S_{R-12} + \Delta S_{meio} = m\left(s_f - s_i\right) + \frac{(-Q_{R-12})}{T_r}$$

$$\Delta S_t = 0{,}164 - 0{,}148 = 0{,}016kJ/kgK$$

(d) Usar motor reversível entre o reservatório térmico e o R-12

Exemplo: Perda de carga distribuída

Mostre que o escoamento em regime permanente de um fluido incompressível, em uma tubulação horizontal com diâmetro constante e bem isolado, é um processo irreversível.



Solução: Perda de carga distribuída

Conservação de Massa: $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$

1ª Lei: $h_2 = h_1$ $\qquad$ $u_1 + \dfrac{P_1}{\rho_1} = u_2 + \dfrac{P_2}{\rho_2}$

Fluido incompressível: $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ $\qquad$ $c = du/dT$

$$u_2 - u_1 = \mathrm{c}(T_2 - T_1) = \frac{P_1 - P_2}{\rho} \quad \therefore \quad T_2 = T_1 + \frac{P_1 - P_2}{c\rho}$$

2ª Lei: $s_2 - s_1 = s_{gerada}$ $\quad \rightarrow \quad \dfrac{\dot{S}_{gerada}}{\dot{m}}$

Solução: Perda de carga distribuída

Usando a expressão: $$Tds = du + pdv \qquad \rightarrow \qquad ds = \frac{du}{T} = \frac{cdT}{T}$$

Assim: $$s_2 - s_1 = c \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

$$s_2 - s_1 = c \ln\left(\frac{\frac{P_1 - P_2}{c\rho} + T_1}{T_1}\right) > 0 \qquad \therefore \qquad s_{gerada} > 0$$

Processo Reversível em regime permanente

Volume de controle com 1 entrada e 1 saída

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$$

$$q = \frac{\dot{Q}_{V.C}}{\dot{m}}$$

$$w = \frac{\dot{W}_{V.C}}{\dot{m}}$$

1ª Lei:

$$q = (h_s - h_e) + \frac{V_s^2 - V_e^2}{2} + g(z_s - z_e) + w$$

2ª Lei:

$$\dot{m}(s_s - s_e) = \sum_{V.C} \left(\frac{\dot{Q}_{V.C}}{T} \right) + \dot{S}_{gerada}$$

Considerando dois processos reversíveis

a) Adiabático

b) Isotérmico

a) Processo Adiabático e Reversível

2ª Lei

$$s_s = s_e$$

$$\overset{0}{\cancel{T ds}} = dh - vdP \quad \rightarrow \quad dh = vdP$$

$$h_s - h_e = \int_e^s vdP$$

Levando este resultado na 1ª Lei:

$$\text{w} = (h_e - h_s) + \frac{V_e^2 - V_s^2}{2} + g(z_e - z_s)$$

$$\text{w} = -\int_e^s vdP + \frac{V_e^2 - V_s^2}{2} + g(z_e - z_s)$$

b) Processo isotérmico e Reversível

$$\dot{m}(s_s - s_e) = \frac{\dot{Q}_{V.C}}{T} \qquad \rightarrow \qquad T(s_s - s_e) = q$$

Substituindo q na 1ª Lei, e lembrando que:

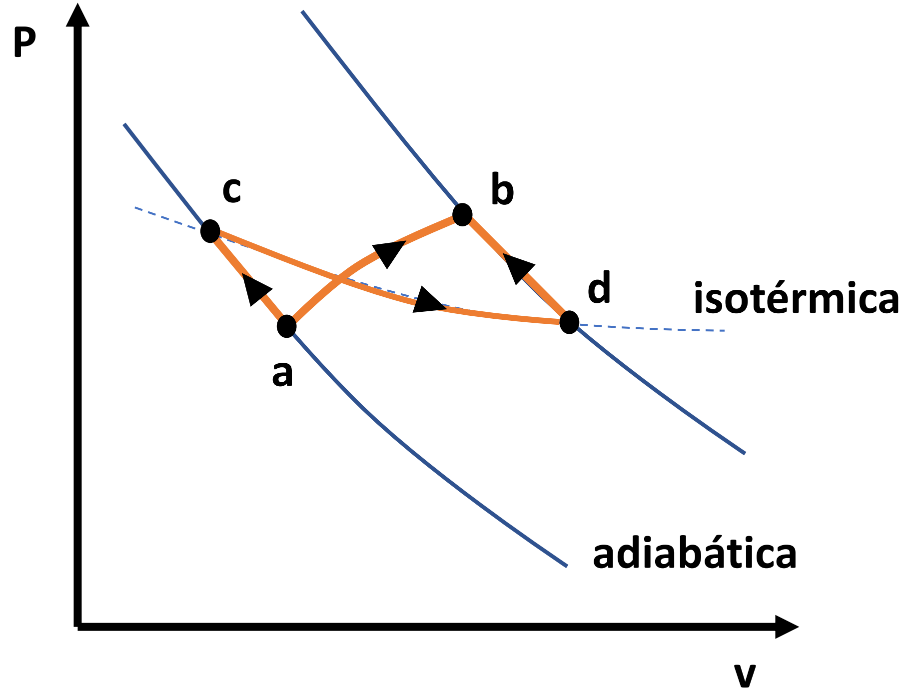
$$T(s_s - s_e) = h_s - h_e - \int_e^s vdP$$

Obtém-se:

$$\text{w} = -\int_e^s vdP + \left(\frac{V_e^2 - V_s^2}{2}\right) + g(z_e - z_s)$$

Assim, no limite, qualquer processo reversível pode ser aproximado por:

$$\sum (Processos\ adiabáticos\ e\ isotérmicos\ reversíveis\ alternados)$$



$$W = -\int_e^s v\,dP + \left(\frac{V_e^2 - V_s^2}{2}\right) + g(z_e - z_s)$$

Para w = 0 e ρ = cte

$$\frac{P_s - P_e}{\rho} + \left(\frac{V_s^2 - V_e^2}{2}\right) + g(z_s - z_e) = 0$$

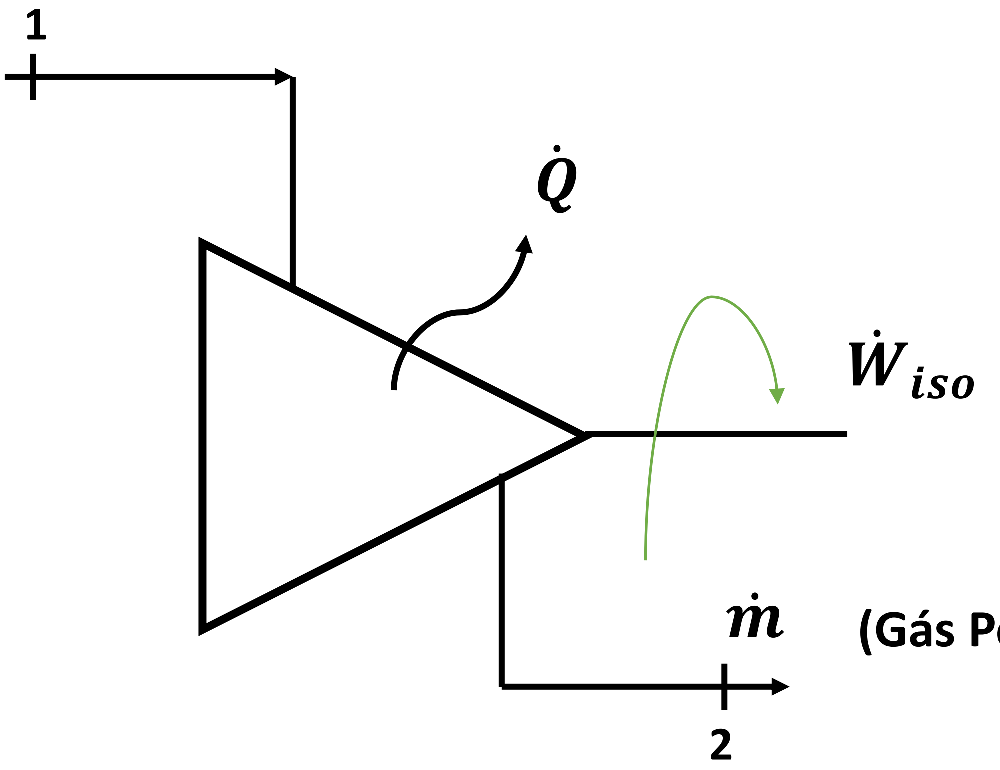
Bernoulli

Turbinas, bombas e compressores

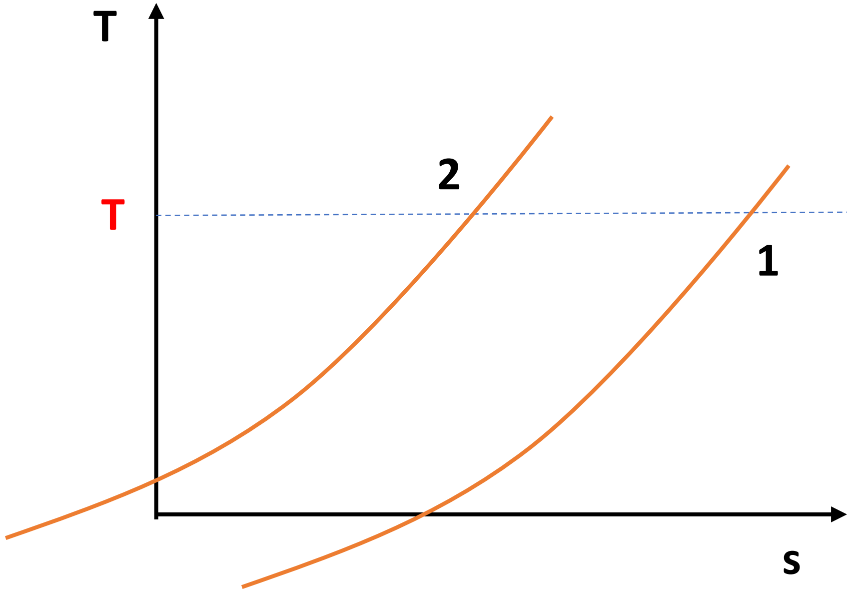
$$\boxed{\mathrm{w} = -\int_e^s v\,dP}$$

Desprezando-se ΔE_c e ΔE_p

Exemplo: Compressor Isotérmico Reversível



(Gás Perfeito)



Solução: Compressor Isotérmico Reversível

1ª Lei: $\dot{Q} = \dot{m}(h_2 - h_1) + \dot{W}_{iso}$

Como: $T_2 = T_1 = T \rightarrow h_2 = h_1$ $\quad \dot{Q} = \dot{W}_{iso}$

2ª Lei: $\dot{m}(s_2 - s_1) = \dfrac{\dot{Q}}{T}$ **(Processo reversível)**

$\dot{Q} = \dot{m}T(s_2 - s_1)$ $\quad \dot{W}_{iso} = \dot{m}T(s_2 - s_1)$

$$Tds = \cancelto{0}{dh} - vdP \rightarrow Tds = -vdP$$

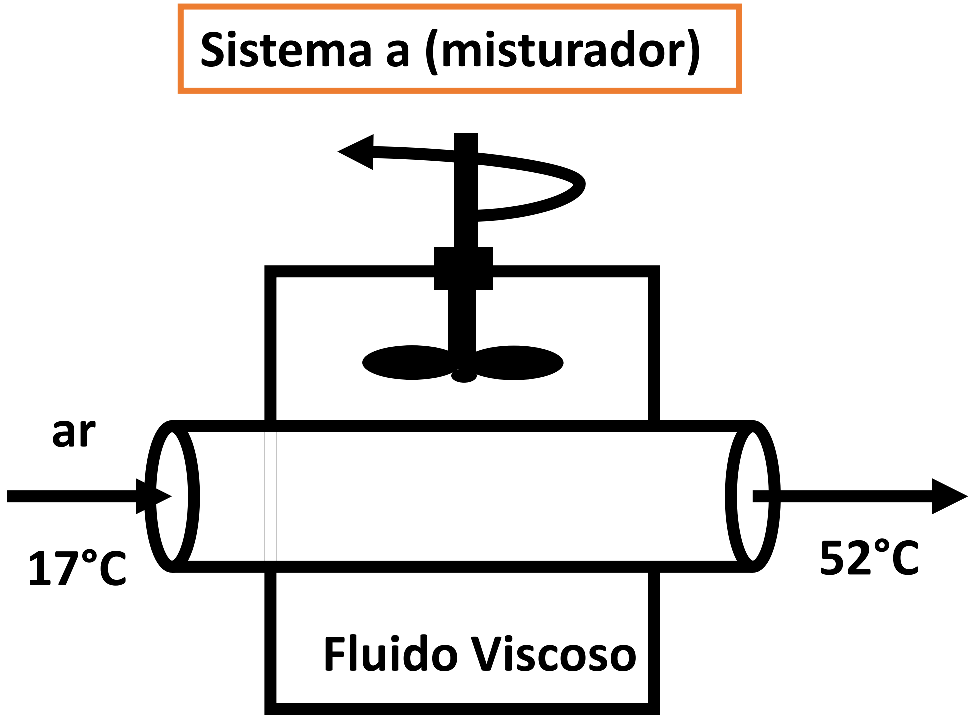
$$Pv = RT \rightarrow Tds = -\frac{RTdP}{P}$$

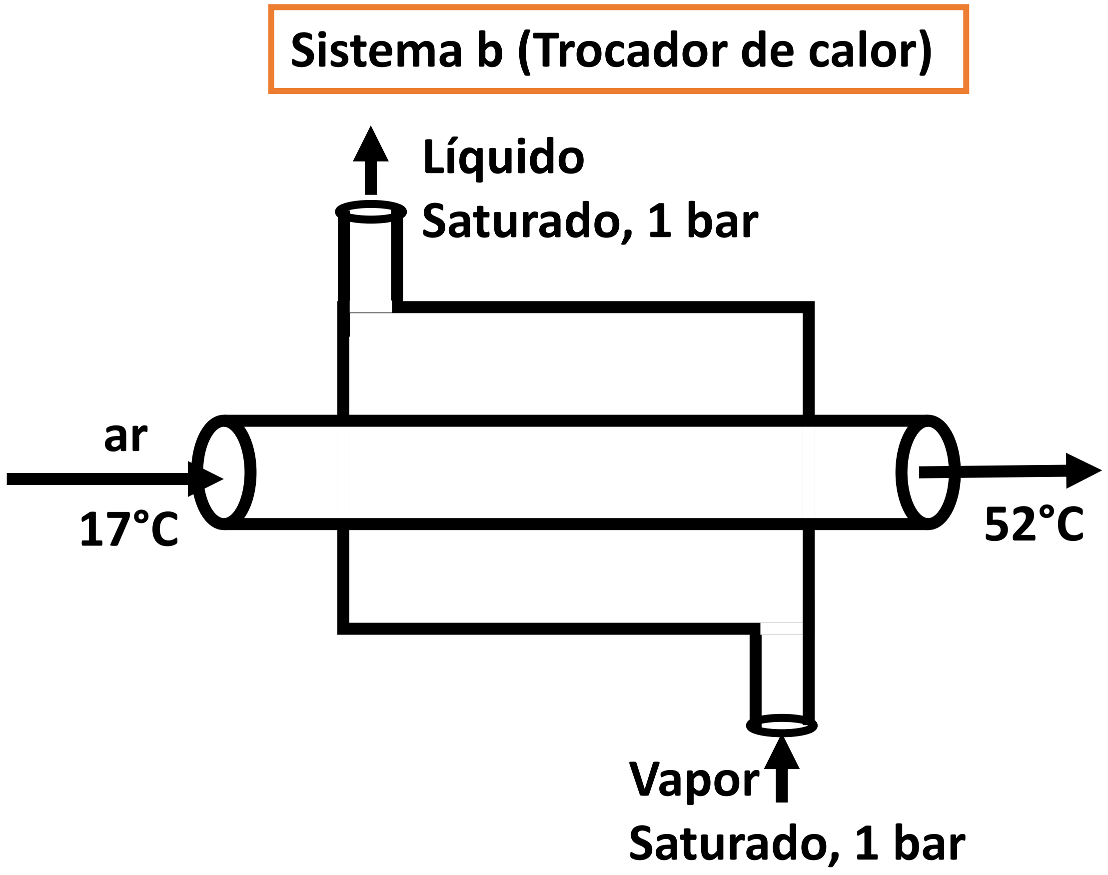
$$ds = -R\ln\frac{P_2}{P_1}$$

$$\dot{W}_{iso} = -\dot{m}RT\ln\frac{P_2}{P_1}$$

Exercício 5

Dois sistemas são propostos para aquecer ar de 17°C a 52°C a pressão constante, P = 1 bar. Admitindo operação em regime permanente, sem perdas para o meio ambiente e desprezando as variações de energia cinética e potencial, calcule a taxa de produção de entropia, por kg de ar que é aquecido, para cada um dos sistemas propostos. Comente os resultados.





Solução: Exercício 5

Sistema a (misturador)

$$\dot{m}(s_2 - s_1) = (\dot{S}_{gerada})_a$$

$$s_2 - s_1 = (\dot{S}_{gerada})_a / \dot{m}$$

$$s_2 - s_1 = s^0(T_2) - s^0(T_1) - \cancel{R \ln \frac{P_2}{P_1}}^{\,0}$$

$$s_2 - s_1 = (\dot{S}_{gerada})_a = 0{,}1145\text{kJ/kgK}$$

Sistema b (Trocador de calor)

$$\underbrace{\dot{m}(s_2 - s_1)}_{(\dot{S}_{gerada})_a} + \dot{m}_{H2O}(s_4 - s_3) = (\dot{S}_{gerada})_b$$

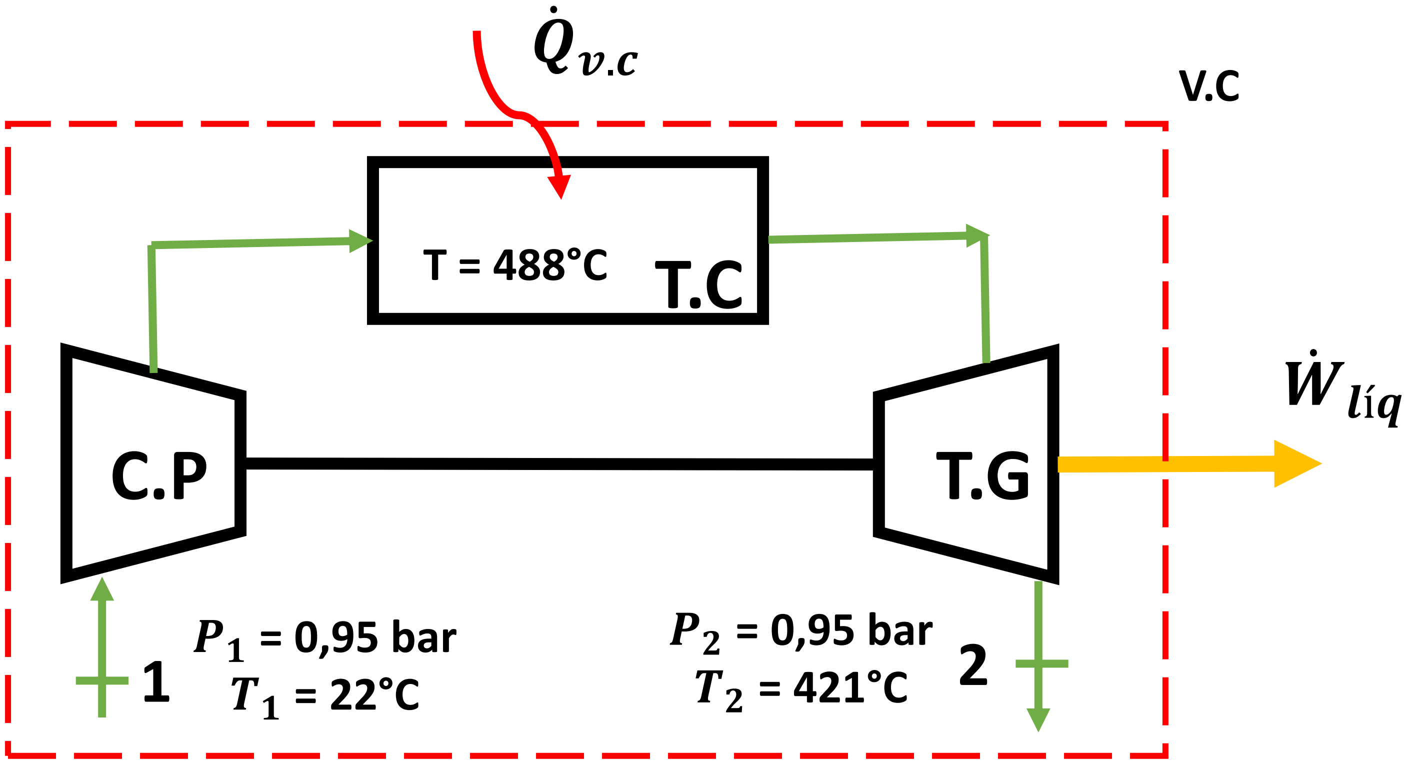
Como: $(s_4 < s_3) \rightarrow (\dot{S}_{gerada})_b < (\dot{S}_{gerada})_a$

1ª Lei: $$\frac{\dot{m}_{H_2O}}{\dot{m}} = \frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_4} = 0{,}0156$$

$$\therefore (\dot{S}_{gerada}/\dot{m})_b = 0{,}02kJ/kgK$$

Exercício 6

A figura abaixo mostra uma planta de potência com turbina a gás que opera em regime permanente, composta por um compressor, um trocador de calor e uma turbina. Ar entra no compressor a 0,95 bar e 22°C, saindo da turbina a 0,95 bar e 421°C. A transferência de calor para o ar , quando ele percorre o trocador de calor, ocorre à temperatura média de 488°C. O compressor e a turbina operam adiabaticamente. Determine o máximo valor do trabalho líquido, por unidade de massa de ar em kJ/kg.



Solução: Exercício 6

Volume de controle: Planta de potência inteira

Para máximo $\dot{W}_{líq}$ todos os processos devem ser reversíveis**!**

Conservação de massa: $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$

1ª Lei: $\dot{Q}_{V.C} = \dot{m}(h_2 - h_1) + \dot{W}_{líq}$

2ª Lei: $$\cancelto{0}{\frac{dS}{dt}} + \dot{m}(s_2 - s_1) = \frac{\dot{Q}_{V.C}}{T_{TC}} + \cancelto{0}{\dot{S}_{gerada}}$$

Fazendo: $\dot{Q}_{V.C} = \dot{m}T_{T.C}(s_2 - s_1)$

Levando na 1ª Lei:

$$\left(\frac{\dot{W}_{líq}}{\dot{m}}\right)_{max} = (h_1 - h_2) + T_{T.C}(s_2 - s_1)$$

Como:

$$s_2 - s_1 = s^0(T_2) - s^0(T_1) - \cancelto{0}{R \ln\frac{P_2}{P_1}}$$

$$\left(\frac{\dot{W}_{líq}}{\dot{m}}\right)_{max} = (h_1 - h_2) - T_{T.C}\left(s^0(T_1) - s^0(T_2)\right)$$

$$\left(\frac{\dot{W}_{líq}}{\dot{m}}\right)_{max} = 256{,}8 kJ/kg$$

Exercício 8

Um bloco de gelo com massa de 1,5 kg e inicialmente a T = 260 K funde, a pressão constate de 1 bar, como resultado da troca de calor com o ambiente que se encontra a 293 K. Calcule a geração de entropia, considerando que a temperatura final da massa de água é a temperatura do ambiente.

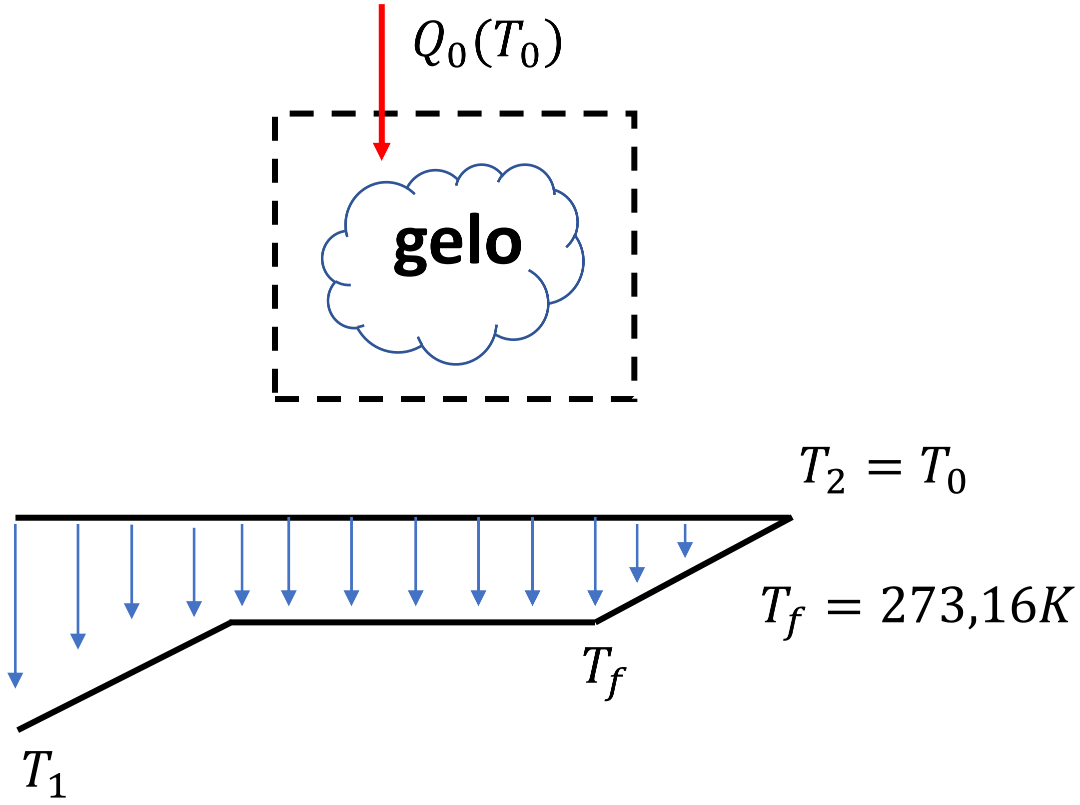
Dados: h_{sl}= 333,4 kJ/kg (gelo funde a 273,16 K); c_{gelo}= 2,07 kJ/kg.K ; $c_{líq}$= 4,02 kJ/kg.K

Solução: Exercício 8

$m = 1{,}5kg$ (Sistema água)

$T_1 = 260K$; $T_2 = T_0 = 293K$; (Ambiente)

$P_1 = P_2 = P_0 = 1bar$



1ª Lei: $Q_0 = m(u_2 - u_1) + p_0(v_2 - v_1)$

$$Q_0 = m(h_2 - h_1) = 665{,}95kJ$$

$$h_2 - h_1 = c_{gelo}\left(T_f - T_i\right) + h_{sl} + c_{liq}(T_2 - T_f)$$

2ª Lei: $S_{gerada} = \Delta S_{água} + \Delta S_{meio}$

$$\Delta S_{água} = m(s_2 - s_1)$$

$$\Delta S_{água} = m(c_{líq} \ln\frac{T_2}{T_f} + s_{sl} + c_{gelo} \ln\frac{T_f}{T_1})$$

$$\Delta S_{água} = 2{,}4260kJ/K$$

$$\Delta S_{meio} = -\frac{Q_0}{T_0} = -2{,}2729\ kJ/K$$

$$S_{gerada} = 0{,}1531\ kJ/K$$

Exercícios sobre Entropia

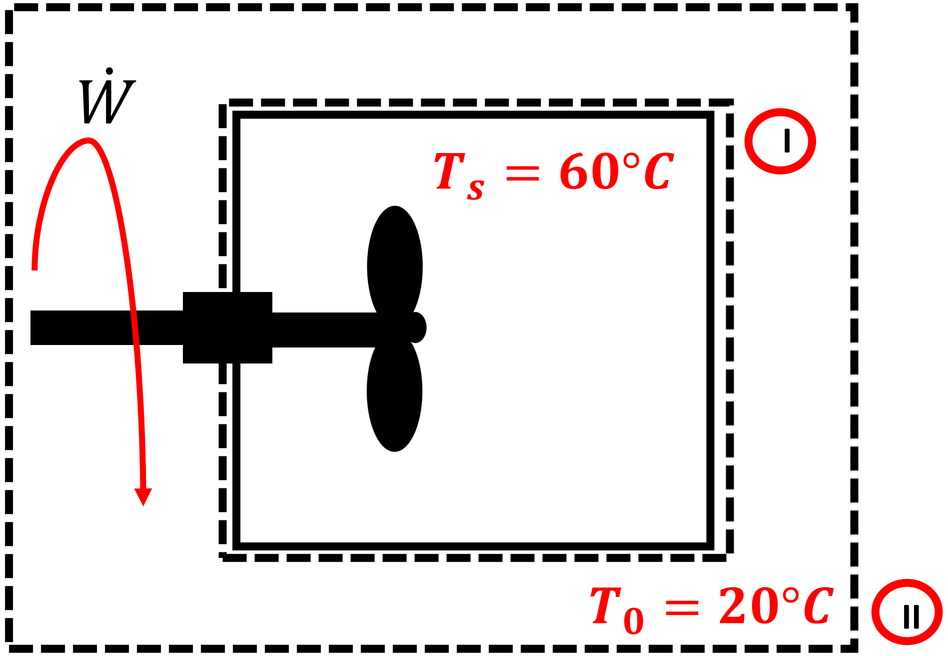
(a) Considere um tanque contendo um certo líquido. Este tanque possui um misturador que transfere 0,3 kW ao líquido, em regime permanente. Há transferência de calor, sendo que a temperatura superficial do tanque é 60 °C. A temperatura do meio no qual o tanque está é 20 °C. Admitindo que o tanque seja rígido determine a taxa de geração de entropia, em kW/K.

1) Para o tanque;

2) Para um sistema contendo o tanque e parte do meio a 20°C.

Solução: Exercício sobre Entropia

(a)



$\dot{W} = 0{,}3kW$ (fornecido ao sistema)

1ª Lei: $\dot{Q} = \cancelto{0}{\frac{dE}{dt}} + \dot{W} \rightarrow \dot{W} = \dot{Q} = -0{,}3kW$

2ª Lei: $\cancelto{0}{\frac{dS}{dt}} = \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gerada} \rightarrow \dot{S}_{gerada} = -\frac{\dot{Q}}{T}$

Para o sistema I:

$$\dot{S}_{gerada} = -\frac{\dot{Q}}{T_s} = 0{,}9.10^{-3}kW/K$$

Para o sistema II:

$$\dot{S}_{gerada} = -\frac{\dot{Q}}{T_0} = 1{,}02.10^{-3}kW/K$$

Exercícios sobre Entropia

(b) Dois taques isolados são ligados por uma válvula. Um dos tanques contém inicialmente 0,5 kg de ar a 80°C e 1bar, e o outro contém 1kg de ar a 50°C e 2 bar. A válvula é aberta permitindo a mistura das duas massas de ar até que o equilíbrio seja atingido. Considerando que o ar se comporte como gás perfeito, determine:

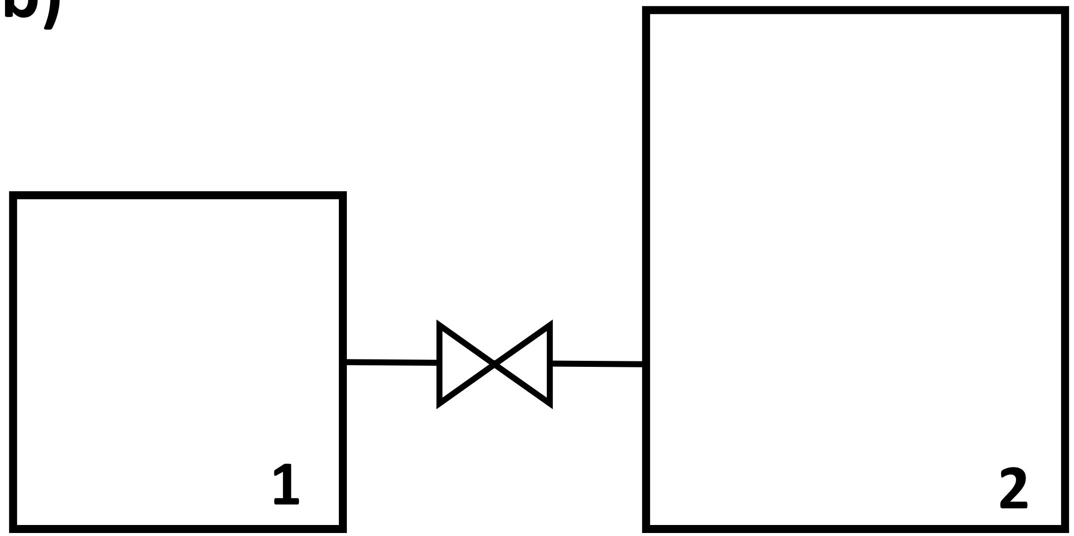
1) A temperatura final (°C);

2) A pressão final (bar);

3) A entropia gerada (kJ/K).

Solução: Exercício sobre Entropia

(b)



Sistema:
Ar em 1 e 2

(1) 1ª Lei:

$$\cancelto{0}{Q} = u_f - u_i + \cancelto{0}{W} \rightarrow u_f = u_i$$

$$u_f = (m_1 + m_2)u(T_f)$$

$$u_i = m_1 u(T_1) + m_2 u(T_2)$$

$$u(T_f) = \frac{m_1 u(T_1) + m_2 u(T_2)}{m_1 + m_2} = 237{,}8\,\frac{kJ}{kg}$$

$$T_f = 333K$$

(2)

$$\forall_1 = \frac{m_1 R T_1}{P_1} \qquad \forall_2 = \frac{m_2 R T_2}{P_2}$$

$$P_f = \frac{(m_1 + m_2) R T_f}{(\forall_1 + \forall_2)} = \frac{(m_1 + m_2) R T_f}{\left(\frac{m_1 R T_1}{P_1} + \frac{m_2 R T_2}{P_2}\right)}$$

$$P_f = 1{,}478\ bar$$

(3)

$$S_f - S_i = \cancelto{0}{\int_1^2 \frac{\delta Q}{T}} + S_{gerada}$$

$$S_{gerada} = (m_1 + m_2) s_f - (m_1 s_1 + m_2 s_2)$$

$$S_{gerada} = m_1 (s_f - s_1) + m_2 (s_f - s_2)$$

$$= m_1 \left[s^0(T_f) - s^0(T_1) - R \ln\left({P_f}/{P_1} \right) \right] +$$

$$m_2 \left[s^0(T_f) - s^0(T_2) - R \ln\left({P_f}/{P_2} \right) \right]$$

$$S_{gerada} = -0{,}0854 + 0{,}1174 = 0{,}0320 kJ/K$$

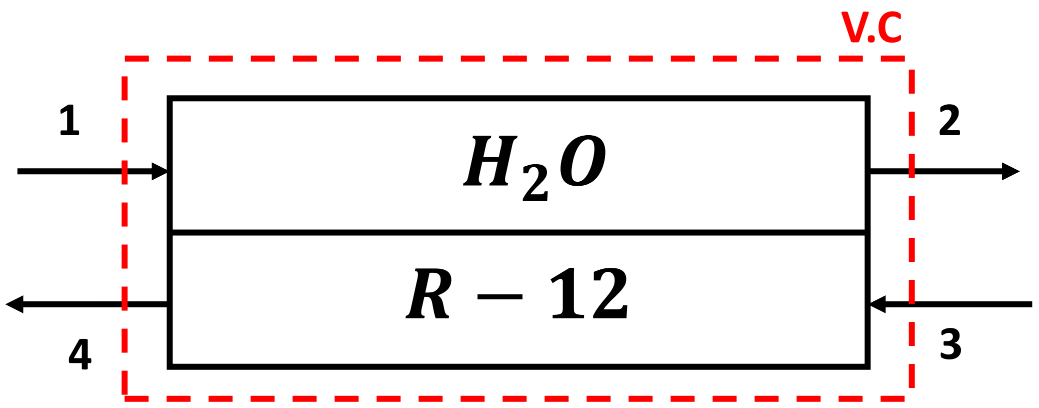
Exercícios sobre Entropia

(c) Um trocador de calor do tipo contra-corrente opera em regime permanente. Uma das correntes é água (líquida) que entra no trocador a 15°C e sai a 25°C, com variação desprezível de pressão. A outra corrente é R-12 que entra a 14 bar e 80°C, com vazão mássica de 5kg/min, e deixa o trocador como líquido saturado a 52°C. Desprezando-se os efeitos de energia cinética e potencial e considerando o trocador bem isolado, determine:

1) A vazão mássica de água (kg/min);

2) A taxa de geração de entropia no interior do trocador de calor (kW/K).

(c)



Regime Permanente

$T_1 = 15°C\,; T_2 = 25°C$

$T_3 = 80°C\,; P_3 = 14bar$

$T_4 = 52°C\,; x_4 = 0{,}0$

$\dot{m}_{r-12} = 5kg/min$

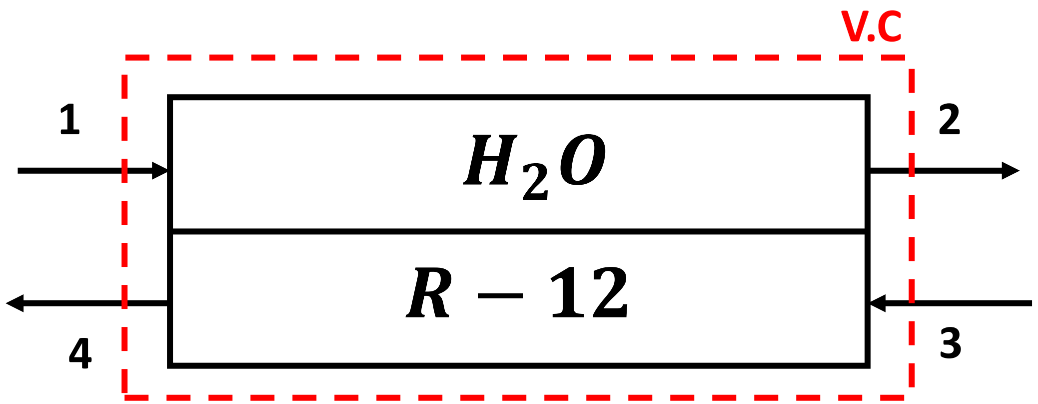
(1) $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \qquad \dot{m}_3 = \dot{m}_4$

1ªLei: $$\cancelto{0}{\dot{Q}_{V.C}} = \dot{m}_{R-12}(h_4 - h_3) + \dot{m}_{H2O}(h_2 - h_1) + \cancelto{0}{\dot{W}_{V.C}}$$

$$\dot{m}_{H2O} = \dot{m}_{R-12}\frac{(h_3 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \longrightarrow h_2 - h_1 = c(T_2 - T_1) \quad com\ c = 4{,}2kJ/kgK$$

$h_2 - h_1 = 42kJ/kg \qquad h_3 = 228{,}06kJ/kg \qquad h_4 = 87{,}06kJ/kg$

$$\therefore \dot{m}_{H2O} = 16{,}79\ kg/min$$



(2)

2ªLei: $\cancel{\dfrac{dS}{dt}}^{0} + \dot{m}_{R-12}\,(s_4 - s_3) + \dot{m}_{H2O}\,(s_2 - s_1) = \cancel{\sum_i \dfrac{\dot{Q}_i}{T_i}}^{0} + \dot{S}_{gerada}$

$$\dot{S}_{gerada} = \dot{m}_{H_2O}.\mathrm{c}.\ln\frac{T_2}{T_1} + \dot{m}_{R-12}(s_4 - s_3)$$

$$\dot{S}_{gerada} = 4{,}63.10^{-3}\ kW/K$$

Com: $\begin{cases} s_3 = 0{,}7360\ kJ/kgK \\ s_4 = 0{,}3101\ kJ/kgK \end{cases}$

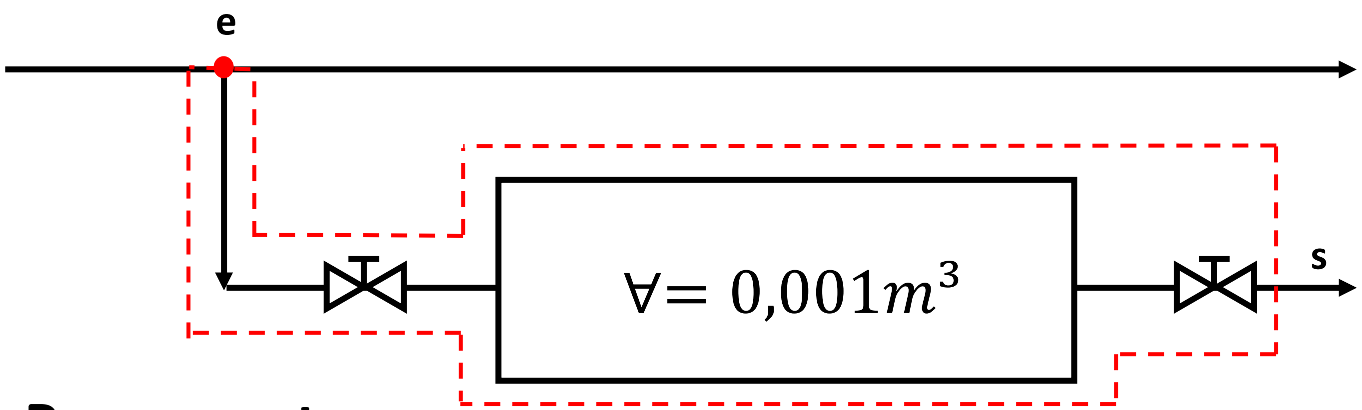
Exercícios sobre Entropia

(d) Uma câmara com V = 0,001 m³ está ligada a uma linha de vapor d'água. O estado do vapor na linha é dado por P = 0,6MPa e x = 0,97. Uma pequena parte do vapor que escoa através da linha de vapor é desviada para a câmara sendo extraída desta através de uma válvula. A câmara é isolada.

1) A vazão de entrada na câmara é igual à vazão de saída e a pressão na câmara é 0,05MPa. Determine a temperatura do vapor na câmara e a geração de entropia.

2) Em seguida a válvula de saída é fechada rapidamente, sendo que o processo de enchimento termina quando a pressão na câmara iguala a pressão da linha. A massa adicionada à câmara é de 0,0024kg. Determine a entropia do fluido na câmara e a entropia gerada.

(d)



$$P = 0{,}6MPa$$
$$x = 0{,}97$$

(1) Regime Permanente

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s \qquad P_s = 0{,}050MPa$$

Na entrada: $h_e = 2693{,}0\ kJ/kg \qquad s_e = 6{,}6118\ kJ/kgK$

1ª Lei: $\cancel{\dot{Q}_{V.C}}^{0} = \dot{m}\ (h_s - h_e) + \cancel{\dot{W}_{V.C}}^{0}$

Assim na Saída:

$$\begin{cases} h_e = h_s = 2693{,}0kJ/kg \\ P_s = 0{,}050MPa \\ T_s = T_{câmara} = 105{,}1°C \\ s_s = 7{,}7226kJ/kgK \end{cases}$$

2ª Lei:

$$\dot{m}\ (s_s - s_e) = \dot{S}_{gerada}$$

$$\frac{\dot{S}_{gerada}}{\dot{m}} = 1{,}1108\frac{kJ}{kgK}$$

(2) $P_2 = P_e \qquad m_2 - m_1 = m_e = 0{,}0024kg$

Pede-se s_2 **e** S_{gerada}

Modelo: Regime uniforme com escoamento uniforme em e

1ª Lei: $\cancel{{}_1Q_2}^{\,0} = m_2u_2 - m_1u_1 - m_eh_e + \cancel{{}_1W_2}^{\,0}$

Estados:

$$\begin{cases} e \quad P_e = 0{,}60MPa \quad e \quad x_e = 0{,}97 \\ 1 \quad P_1 = 0{,}05MPa \quad e \quad T_1 = 105{,}1°C \\ 2 \quad P_2 = P_e \quad e \quad v_2 = \dfrac{\forall_{câmara}}{m_2} \end{cases}$$

Assim:

$u_1 = 2519{,}6\ kJ/kg$

$v_1 = 3{,}4710\ m^3/kg \rightarrow m_1 = \dfrac{\forall_{câmara}}{v_1}$

$m_1 = 0{,}0003kg$

$$(m_1 + m_e)u_2 = m_1u_1 + m_eh_e$$

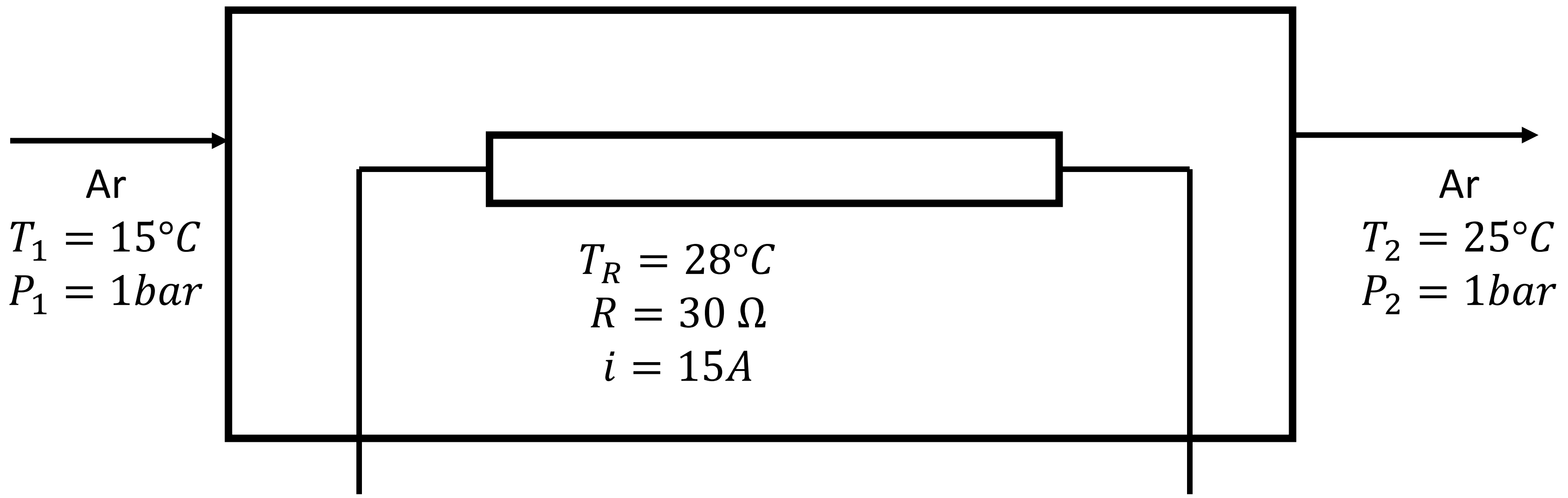
$u_2 = 2675{,}0kJ/kg \quad e \quad v_2 = 0{,}3704\ m^3/kg \quad (Vapor\ superaquecido)$

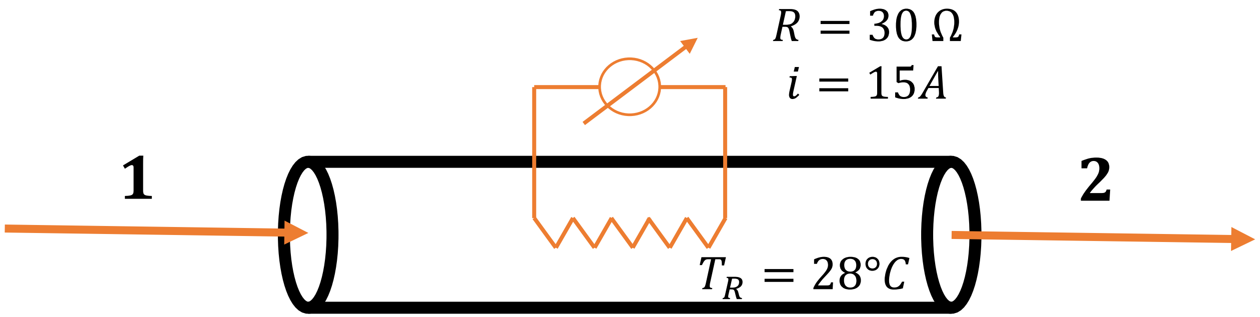
$T_2 = 221{,}7°C \qquad s_2 = 7{,}0630kJ/kgK$

2ª Lei: $m_2s_2 - m_1s_1 - m_es_e = S_{gerada} \qquad S_{gerada} = 0{,}00089kJ/kg$

(e) A figura abaixo mostra uma resistência elétrica imersa em um duto isolado por onde há um fluxo de ar. A corrente elétrica que percorre a resistência, em condições de regime permanente é de 15 amperes. Nestas condições a temperatura da resistência permanece constante a 28°C. O ar entra no duto a 15°C e 1bar, deixando a 25°C e 1bar. Desprezando variações de energia cinética e potencial, pede-se:

1) Considerando a resistência como sistema, determine a taxa de geração de entropia (kW/K).
2) Para um volume de controle que engloba o duto, o ar e a resistência, determine a vazão mássica de ar (kg/s) e a taxa de geração de entropia (kW/K)





$$\dot{W}_R = -Ri^2$$
$$\dot{W}_R = -6{,}75kW$$

(1)

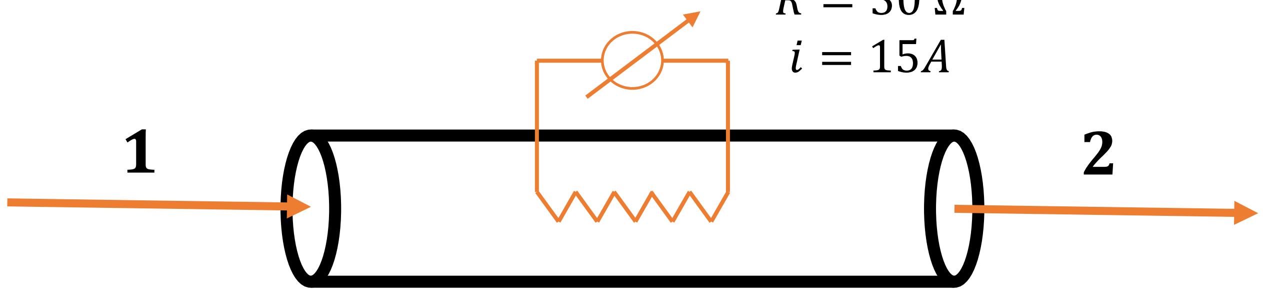
1ª Lei para resistência elétrica:

$$\dot{Q}_R = \cancelto{0}{\frac{dE_R}{dt}} + \dot{W}_R \qquad \rightarrow \qquad \dot{Q}_R = \dot{W}_R = -6{,}75kW$$

2ª Lei para resistência elétrica:

$$\cancelto{0}{\frac{dS}{dt}} = \frac{\dot{Q}_R}{T_R} + \left(\dot{S}_{gerada}\right)_R$$

$$\left(\dot{S}_{gerada}\right)_R = -\frac{\dot{Q}_R}{T_R} = 0{,}0224\frac{kW}{K}$$



$$\dot{W}_R = -Ri^2$$
$$\dot{W}_R = -6{,}75kW$$

(2)

1ª Lei para o trecho do tubo entre 1 e 2.

$$\cancelto{0}{\dot{Q}_{\forall.C}} = \cancelto{0}{\frac{dE}{dt}} + \dot{m}(h_2 - h_1) + \dot{W}_R \qquad \dot{m} = -\frac{\dot{W}_R}{(h_2 - h_1)} = 0{,}675\text{kg/s}$$

2ª Lei para o trecho do tubo entre 1 e 2.

$$\cancelto{0}{\frac{dS}{dt}} + \dot{m}(s_2 - s_1) = \sum \cancelto{0}{\frac{\dot{Q}_i}{T_i}} + \dot{S}_{gerada}$$

$$\dot{m}\left[s^0(T_2) - s^0(T_1) - \cancelto{0}{R\ln\left(P_2/P_1\right)}\right] = \dot{S}_{gerada} \longrightarrow \dot{S}_{gerada} = 0{,}0238kW/K$$

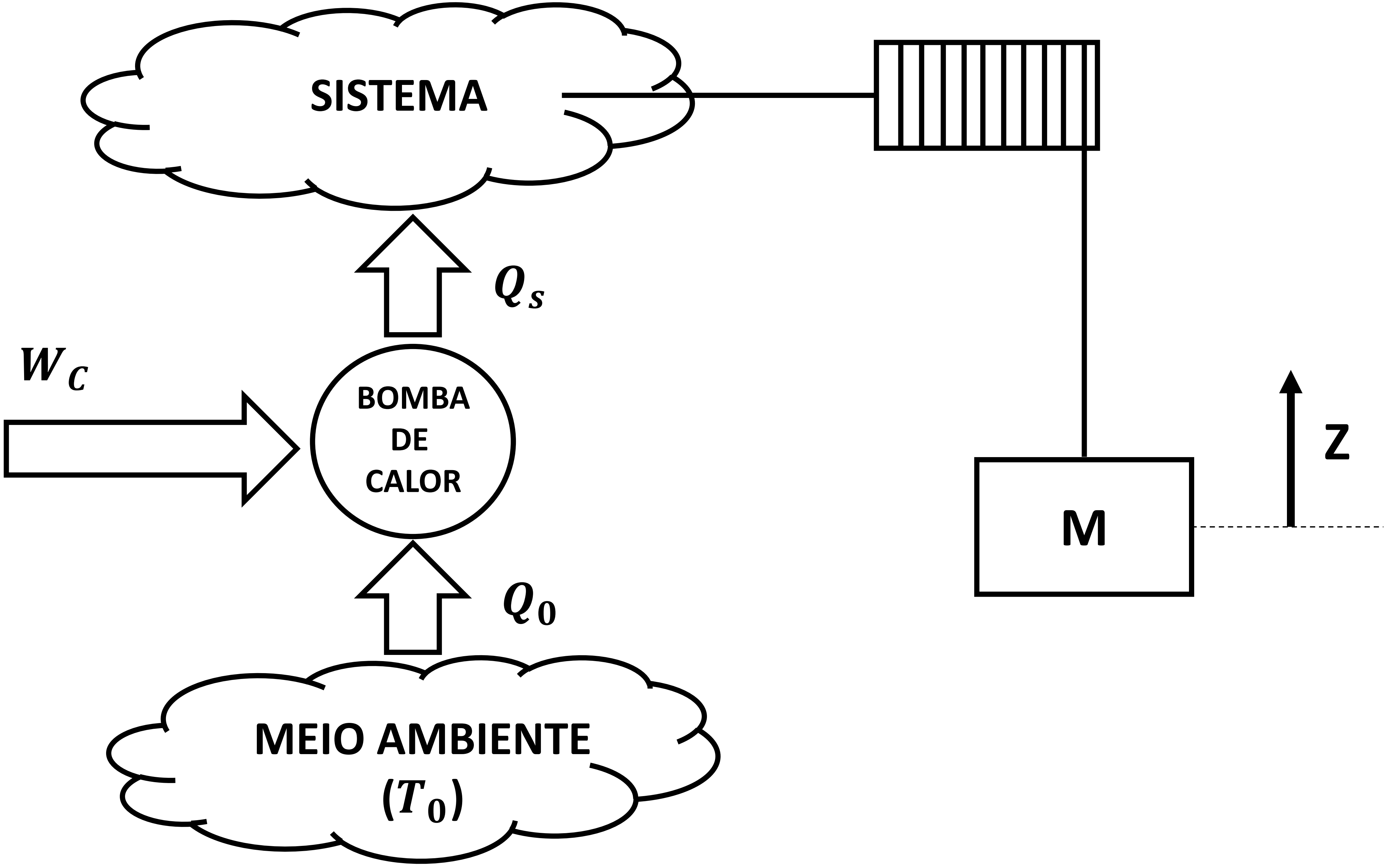
Lista Extra

1) Considere um sistema destinado ao levantamento de uma massa M que recebe uma quantidade de calor Q_s transferida por uma bomba de calor reversível que opera entre o meio ambiente, que se encontra à temperatura T_0, e o sistema, como esquematizado na figura. Sabendo que no processo de levantamento da massa M a energia interna do sistema varia de U_1 e U_2, sua entropia varia de S_1 e S_2, pede-se.

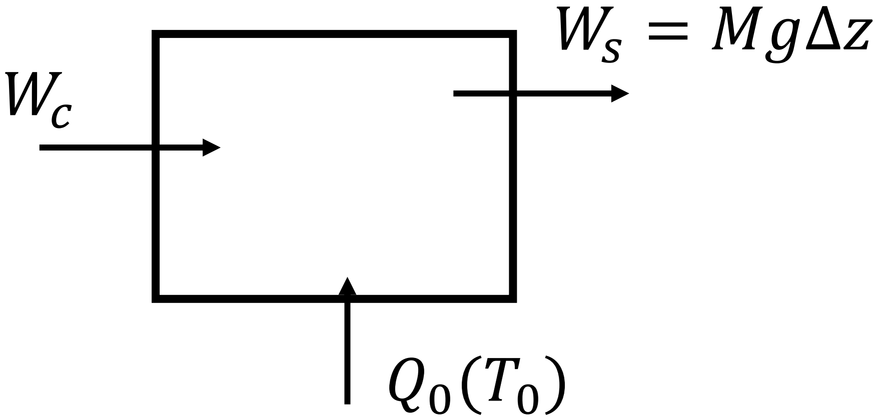
a) As expressões da máxima ($Z_{máx}$) e real (Z_{real}) variação de cota que a massa M pode ter, considerando que os estados inicial e final do sistema sejam os mesmos. Apresente as expressões em função de U_1, U_2, S_1, S_2, T_0, W_c, S_{gerado}, M e g (aceleração da gravidade). Justifique os dois resultados.

b) O calor transferido do meio (Q_0) nos dois cenários do item a.

Dado: o coeficiente de eficácia da bomba de calor reversível é o mesmo nos dois cenários do item a.


SISTEMA
Q_s
W_C
BOMBA
DE
CALOR
Q_0
MEIO AMBIENTE
(T_0)
Z
M

Lista Extra: solução Ex 1



1ª Lei: $$Q_0 = U_2 - U_1 + \sum_i W_i \qquad \textbf{com} \qquad \sum_i W_i = W_s + W_c$$

2ª Lei: $$S_2 - S_1 = \frac{Q_0}{T_0} + S_{gerada}$$

$$Q_0 = T_0(S_2 - S_1) - T_0 S_{gerada} \qquad (\alpha)$$

Levando α na 1ª Lei:

$$T_0(S_2 - S_1) - T_0 S_{gerada} = U_2 - U_1 + W_s + W_c$$

$$T_0(S_2 - S_1) - T_0 S_{gerada} + U_1 - U_2 - W_c = Mg\Delta z$$

Lista Extra: solução Ex 1

$$\Delta z = \frac{(U_1 - U_2) - T_0(S_1 - S_2) - W_c - T_0 S_{gerada}}{M_g}$$

$$\Delta z_{máx} = \frac{(U_1 - U_2) - T_0(S_1 - S_2) - W_c}{Mg}$$

$$(Q_0)_{rev} = T_0(S_2 - S_1)$$

$$(Q_0)_{real} = T_0(S_2 - S_1) - T_0 S_{gerada}$$