(1)

$E_1 = E_2$

$E = U + E_p + E_c$

l

(2)

1ª Lei da Termodinâmica

SISTEMAS ABERTOS

REGIME INSTACIONÁRIO e UNIFORME

Equação de Conservação de massa:

$$\boxed{\underbrace{m_f}_{\text{massa no VC instante final}} - \underbrace{m_i}_{\text{massa no VC instante inicial}} = \underbrace{\sum_{j=1}^{N_{in}} m_{j,in}}_{\text{massa que entra no VC}} - \underbrace{\sum_{i=1}^{N_{out}} m_{i,out}}_{\text{massa que sai do VC}}}$$

No caso de se ter 1 entrada e 1 saída $\longrightarrow$ $m_f - m_i = m_e - m_s$

Equação de conservação de energia:

(1ª lei – Sistema aberto em regime instacionário e uniforme)

$$\boxed{Q + W = \underbrace{\left[m\left(u + \frac{c^2}{2} + gz\right)\right]_f}_{\text{Energia dentro VC no instante final}} - \underbrace{\left[m\left(u + \frac{c^2}{2} + gz\right)\right]_i}_{\text{Energia dentro VC instante inicial}} + \underbrace{\sum_{out}\left[m\left(h + \frac{c^2}{2} + gz\right)\right]_{out}}_{\text{Energia que sai do VC}} - \underbrace{\sum_{in}\left[m\left(h + \frac{c^2}{2} + gz\right)\right]_{in}}_{\text{Energia que entra no VC}}}$$

Se as Energias Cinética e Potencial são desprezáveis:

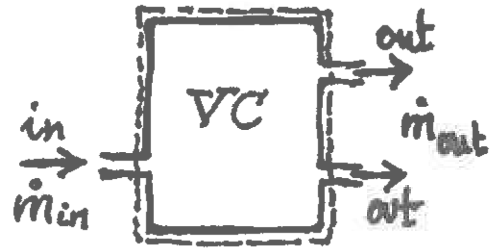
$$Q + W = m_f u_f - m_i u_i + \sum_{out} (m h)_{out} - \sum_{in} (m h)_{in}$$

No caso de se ter 1 entrada e 1 saída:

$$Q + W = m_f u_f - m_i u_i + m_s h_s - m_e h_e$$

1ª Lei TERMODINÂMICA
Sistemas Abertos

Volume de Controle



Eq. Continuidade
Eq. Conservação de massa

$$\boxed{\sum_{j=1}^{N_{in}} \dot{m}_{j,in} = \sum_{i=1}^{N_{out}} \dot{m}_{i,out}}$$

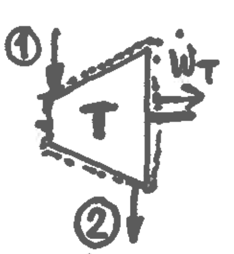
$\dot{m} = \rho C A$ (kg/s)
$\dot{m} = \rho \dot{V}$
$\dot{V} = C A$ (m³/s)

1ª Lei TMD

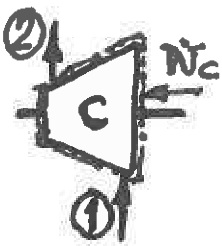
- regime permanente
- propriedades uniformes nas "in" e "out"

$$\boxed{\dot{Q} + \dot{W} = \sum_{i=1}^{N_{out}} \left[\dot{m}\left(h + \frac{C^2}{2} + gz\right)\right]_{i,out} - \sum_{j=1}^{N_{in}} \left[\dot{m}\left(h + \frac{C^2}{2} + gz\right)\right]_{j,in}}$$

Balanço energético

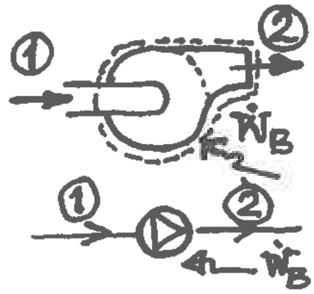


Turbina

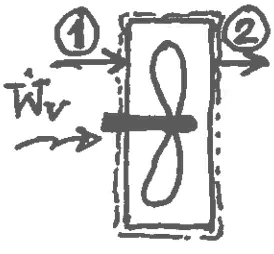


Compressor

$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$
$\dot{W}_T = \dot{m}(h_2 - h_1)$
$\dot{W}_C = \dot{m}(h_2 - h_1)$

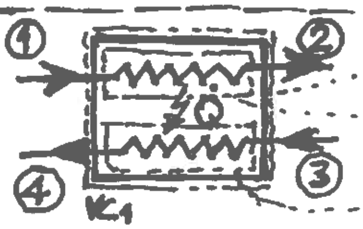


Bomba



ventilador

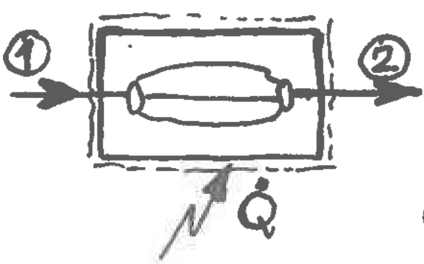
$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$
$\dot{W}_B = \dot{m}(h_2 - h_1)$
$\dot{W}_V = \dot{m}(h_2 - h_1)$



$\cancel{\dot{Q}} + \cancel{\dot{W}} = (\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4) - (\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_3)$
$-\dot{Q} + \cancel{\dot{W}} = \dot{m}_1 (h_2 - h_1)$
$+\dot{Q} + \cancel{\dot{W}} = \dot{m}_3 (h_4 - h_3)$

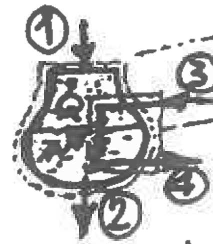
$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$
$\dot{m}_3 = \dot{m}_4$

Permutador de Calor



caldeira

$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$
$\dot{Q} + \cancel{\dot{W}} = \dot{m}(h_2 - h_1)$

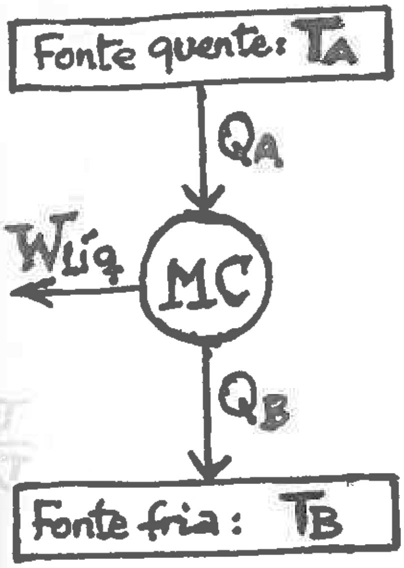


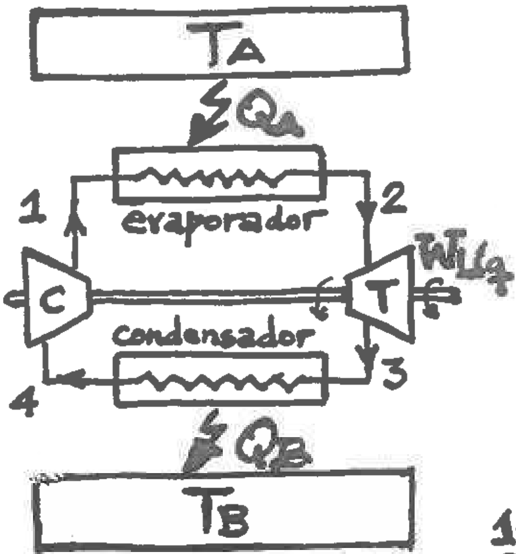
Condensador

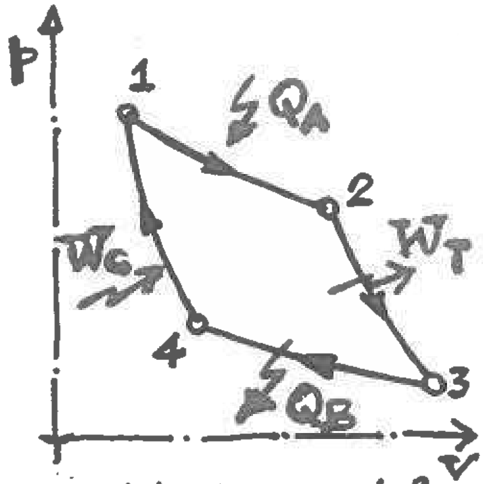
$-\dot{Q} = \dot{m}_1 (h_2 - h_1)$
$+\dot{Q} = \dot{m}_3 (h_4 - h_3)$
$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$
$\dot{m}_3 = \dot{m}_4$

Evaporador / igual ao condensador mas atenção aos sinais

2ª Lei da TERMODINÂMICA





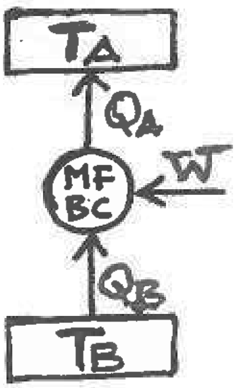


1-2: Isotérmica reversível
2-3: Adiabática reversível
3-4: Isotérmica reversível
4-1: Adiabática reversível

- Rendimento térmico Motor de Carnot = $\dfrac{\text{Efeito pretendido}}{\text{Consumo p/ obter esse efeito}}$

$$\eta_{MC} = \frac{|W_{líq}|}{|Q_A|} = \frac{|Q_A|-|Q_B|}{|Q_A|} = 1 - \frac{|Q_B|}{|Q_A|} = 1 - \frac{T_B}{T_A} \leftarrow \text{T absolutas}$$

- Máquina frigorífica de Carnot
  Bomba de Calor de Carnot



Coefficient of performance

$$(COP)_{MF_C} = \frac{|Q_B|}{|W|} = \frac{|Q_B|}{|Q_A|-|Q_B|} = \frac{1}{\frac{T_A}{T_B} - 1}$$

$$(COP)_{BC_C} = \frac{|Q_A|}{|W|} = \frac{|Q_A|}{|Q_A|-|Q_B|} = \frac{1}{1 - \frac{T_B}{T_A}}$$

Se MF e BC funcionarem entre as mesmas fontes a T_A e T_B $\Rightarrow (COP)_{BC_C} = (COP)_{MF} + 1$

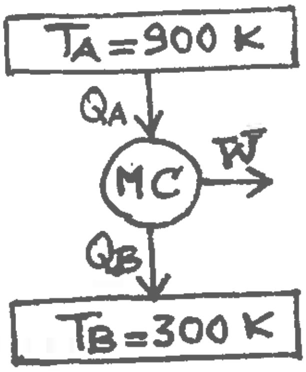
NOTA: η_{MC} ; COP_{MF_C} ; COP_{BC_C} → São valores máximos para Máquinas Térmicas a funcionarem entre as mesmas fontes

5.3 a) Calcule o rendimento térmico de um motor de Carnot cujo fluido de trabalho é vapor de água, e que opera entre duas fontes térmicas a 900K e 300K;

b) Calcule a eficiência de um refrigerador de Carnot cujo fluido frigorífico é o amoníaco (NH_3) e que trabalha entre duas fontes térmicas a - 30 °F e 0 °F;

c) Calcule a eficiência de uma bomba de calor de Carnot a funcionar entre 0 °C e 18 °C.

a)



$$\eta_{MC} = \frac{\text{Efeito}}{\text{Consumo}} = \frac{|W|}{|Q_A|} = \frac{|Q_A| - |Q_B|}{|Q_A|} = 1 - \frac{|Q_B|}{|Q_A|}$$

Para uma MT reversível:

$$\Delta S_{univ} = \underbrace{\cancel{\Delta S_{sist}}}_{=0 \text{ (ciclo reversível)}} + \Delta S_{viz} = \emptyset$$

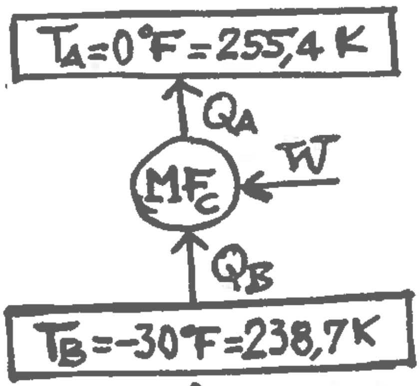
$$\Delta S_{univ} = \sum \left(\frac{Q_i}{T_i}\right)_{viz} = -\frac{|Q_A|}{T_A} + \frac{|Q_B|}{T_B} = \emptyset$$

$$\frac{|Q_B|}{|Q_A|} = \frac{T_B}{T_A}$$

$$\eta_{MC} = 1 - \frac{T_B}{T_A} = 1 - \frac{300}{900} \Rightarrow \boxed{\eta_{MC} = 66{,}7\%}$$

Valor máximo possível para uma MT a funcionar entre as mesmas fontes a T_A e T_B

b)



$$T(K) = 273{,}15 + \frac{5}{9}\left[T(°F) - 32\right]$$

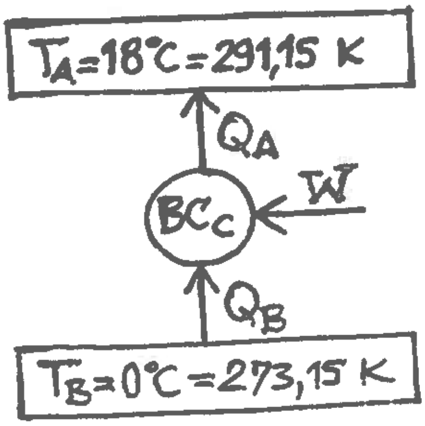
$$COP|_{MF_C} = \frac{\text{Efeito}}{\text{Consumo}} = \frac{|Q_B|}{|W|} = \frac{|Q_B|}{|Q_A| - |Q_B|} = \frac{1}{\frac{|Q_A|}{|Q_B|} - 1}$$

$$\Delta S_{univ} = \underbrace{\cancel{\Delta S_{sist}}}_{=0 \text{ (ciclo reversível)}} + \Delta S_{viz} = \sum \left(\frac{Q_i}{T_i}\right)_{viz} = \frac{|Q_A|}{|T_A|} - \frac{|Q_B|}{T_B} = \emptyset$$

$$COP|_{MF_C} = \frac{1}{\frac{T_A}{T_B} - 1} = \frac{1}{\frac{255{,}4}{238{,}7} - 1} \Rightarrow \boxed{COP|_{MF} = 14{,}3}$$

Valor máximo para uma MF a funcionar entre as mesmas fontes

c)



$$COP|_{BC_C} = \frac{\text{Efeito}}{\text{Consumo}} = \frac{|Q_A|}{|W|} = \frac{|Q_A|}{|Q_A| - |Q_B|} = \frac{1}{1 - \frac{|Q_B|}{|Q_A|}}$$

$$\Delta S_{univ} = \underbrace{\cancel{\Delta S_{sist}}}_{=0 \text{ (ciclo reversível)}} + \Delta S_{viz} = \sum \left(\frac{Q_i}{T_i}\right)_{viz} = \frac{|Q_A|}{T_A} - \frac{|Q_B|}{T_B} = \emptyset$$

$$COP|_{BC_C} = \frac{1}{1 - \frac{T_B}{T_A}} = \frac{1}{1 - \frac{273{,}15}{291{,}15}} \Rightarrow \boxed{COP|_{BC_C} = 16{,}2}$$

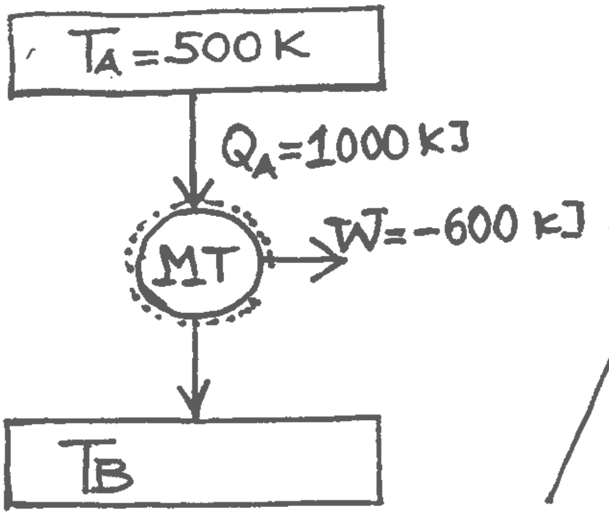
Valor máximo para uma BC a funcionar entre as mesmas fontes (T_A e T_B)

5.3 Uma máquina térmica reversível recebe calor $Q = 1\,000$ kJ de uma fonte térmica a 500 K, e produz trabalho $W = 600$ kJ.

a) Determine a quantidade de calor perdida para a fonte fria;

b) Determine a variação de entropia de cada fonte;

c) Qual é a variação de entropia do universo ?



a) $\underline{1^a \text{ Lei TMD para a MT}}$

$$\Sigma Q + \Sigma W = \Delta U = \emptyset \ (\text{ciclo})$$

$$Q_A + Q_B + W = \emptyset$$

$$1000 + Q_B - 600 = \emptyset$$

$$\underline{\underline{Q_B = -400 \text{ kJ}}}$$

b) Para cada fonte:

$$dS = \frac{\partial Q}{T} \Rightarrow \Delta S = \sum_{i=1}^{N_{fontes}} \left(\frac{Q_i}{T_i}\right)$$

fonte quente: $\Delta S_{fq} = \frac{Q_A}{T_A} = \frac{1000}{500} \Rightarrow \underline{\Delta S_{fq} = 2 \text{ kJ/K}}$

fonte fria: $\Delta S_{ff} = \frac{Q_B}{T_B} = \frac{-400}{200} \Rightarrow \underline{\Delta S_{ff} = -2 \text{ kJ/K}}$

Cálculo de TB:

$$\text{MT reversível} \Rightarrow \sum_{i=1}^{N_{fontes}} \frac{\partial Q}{T} = \emptyset \longrightarrow -\frac{|Q_A|}{T_A} + \frac{|Q_B|}{T_B} = \emptyset$$

$$T_B = T_A \cdot \frac{|Q_B|}{|Q_A|} = 500 \cdot \frac{|-400|}{|1000|} \Rightarrow \underline{T_B = 200 \text{ K}}$$

c) $\Delta S_{univ} = \Delta S_{sist} + \Delta S_{viz}$

$$= \underbrace{\cancel{\Delta S_{sist}}}_{=\emptyset \ (\text{MT reversível})} + \sum_{i=1}^{N_f} \frac{\partial Q_i}{T_i}$$

$$\Delta S_{univ} = -\frac{|Q_A|}{T_A} + \frac{|Q_B|}{T_B} = \emptyset$$

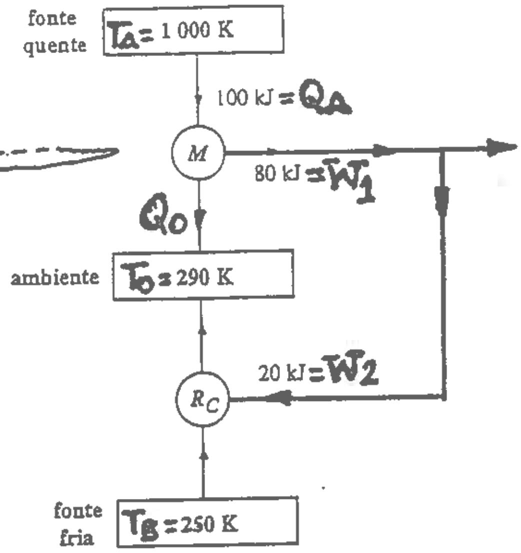
$$\underline{\underline{\Delta S_{univ} = 2 - 2 = \emptyset}}$$

5.6 Um inventor diz ter construído um motor térmico (M) como apresentado na figura adjacente. Parte do trabalho do motor é empregue no accionamento de um refrigerador reversível.

a) Calcule a variação de entropia do universo associada às máquinas apresentadas na figura;

1ª Lei da TMD aplicada a M

$$Q_A + W_1 + Q_0 = \emptyset$$
$$Q_0 = -Q_A - W_1$$
$$Q_0 = -100 - (-80)$$
$$\underline{Q_0 = -20\ \text{KJ}}$$



b) Comente o resultado da alínea anterior em função do desempenho do motor térmico desenvolvido pelo inventor;

c) Se o motor térmico (M) fosse um motor de Carnot, qual seria a variação de entropia do universo associada ao conjunto motor-refrigerador ? Porquê ?

a) $(\Delta S_{univ})_{RC} = \emptyset$ → Refrigerador é reversível

$$(\Delta S_{univ})_M = \underbrace{\Delta S_{sist}}_{=0\ (\text{ciclo})} + \Delta S_{viz} = \sum_{i=1}^{N_f}\left(\frac{Q_i}{T_i}\right)_{viz} = -\frac{|Q_A|}{T_A} + \frac{|Q_0|}{T_0} = -\frac{100}{1000} + \frac{20}{290} = \underline{-0{,}031\ \text{KJ/K}}$$

$$(\Delta S_{univ})_M = -0{,}031\ \text{KJ/K} < 0 \Rightarrow \text{IMPOSSÍVEL}$$

A entropia é uma propriedade extensiva que permanece constante nos processos reversíveis, ou aumenta sempre

b) $$\eta_M = \frac{\text{Efeito}}{\text{Consumo}} = \frac{|W_1|}{|Q_A|} = \frac{80}{100} \cdot 100 = 80\%$$

$$\eta_{MC} = \frac{|W_1|}{|Q_A|} = \frac{|Q_A| - |Q_0|}{|Q_A|} = 1 - \frac{|Q_0|}{|Q_A|} = 1 - \frac{T_0}{T_A} = \left(1 - \frac{290}{1000}\right) \times 100 = 71\%$$

entre as mesmas fontes

$$(\Delta S_{univ})_{MC} = \underbrace{\Delta S_{sist}}_{=0} + \Delta S_{viz} = -\frac{|Q_A|}{T_A} + \frac{|Q_0|}{T_0} = 0 \Rightarrow \frac{Q_0}{Q_A} = \frac{T_0}{T_A}$$

$\eta_M > \eta_{MC}$

IMPOSSÍVEL

Em desacordo com a Lei da TMD
→ Enunciado Kelvin Planck e corolário de Carnot

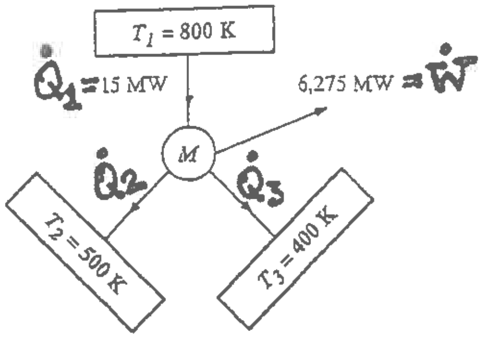
c) M → M.T. reversível (Motor Carnot)
Rc → M.T. reversível (Refrigerador Carnot)

Ambas as máquinas são reversíveis interna e externamente, logo

NÃO HÁ VARIAÇÃO DA ENTROPIA DO UNIVERSO

$$(\Delta S_{univ})_{M+RC} = \emptyset$$

5.7 A máquina totalmente reversível apresentada na figura recebe da fonte quente 15 MW de calor e produz 6,275 MW de trabalho.



a) Calcule os calores trocados com as fontes frias;

b) Determine a variação de entropia de cada fonte térmica;

c) Calcule a variação de entropia do universo.

a)

$$1^{a}\text{ Lei}: \begin{cases} \dot{Q}_1+\dot{Q}_2+\dot{Q}_3+\dot{W}=\Delta U = U_f-U_i=\emptyset \quad (\text{ciclo}: U_f=U_i) \\ 15+\dot{Q}_2+\dot{Q}_3-6{,}275=\emptyset \end{cases} \Big\rangle\ \dot{Q}_2+\dot{Q}_3=-8{,}725\text{ MW}$$

$$2^{a}\text{ Lei}: \Delta S_{univ}=\Delta S_{sist}+\Delta S_{viz}=\emptyset \ (\text{sistema reversível})$$

$$\Delta S_{univ}=\underbrace{m(s_f-s_i)}_{=0\ (\text{ciclo}: s_f=s_i)}-\sum_{i=1}^{N_f}\left(\frac{\dot{Q}_i}{T_i}\right)_{sist}=\emptyset \Rightarrow -\left(\frac{\dot{Q}_1}{T_1}+\frac{\dot{Q}_2}{T_2}+\frac{\dot{Q}_3}{T_3}\right)=\emptyset$$

⟨ Notar que se está a analisar o sistema

$$\begin{cases} \dot{Q}_2+\dot{Q}_3=-8{,}725 \\ -\left(\underset{(2,5)}{\frac{15}{800}}+\underset{(4)}{\frac{\dot{Q}_2}{500}}+\underset{(5)}{\frac{\dot{Q}_3}{400}}\right)=\emptyset \end{cases} \begin{cases} \dot{Q}_2=-8{,}725-\dot{Q}_3 \\ 37{,}5+(-4\times8{,}725-4\dot{Q}_3)+5\dot{Q}_3=\emptyset \end{cases} \begin{cases} \dot{Q}_2=-6{,}125\text{ MW} \\ \dot{Q}_3=-2{,}6\text{ MW} \end{cases}$$

b)

$$\Delta S_1=\frac{\dot{Q}_1}{T_1}=\frac{-1{,}5\times10^3}{800}=-18{,}75\text{ KW/K} \quad (\dot{Q}_1 \text{ sai da fonte 1} \rightarrow \text{sinal} -)$$

$$\Delta S_2=\frac{\dot{Q}_2}{T_2}=\frac{+6{,}125\times10^3}{500}=+12{,}25\text{ KW/K} \quad (\dot{Q}_2 \text{ entra na fonte 2} \rightarrow \text{sinal} +)$$

$$\Delta S_3=\frac{\dot{Q}_3}{T_3}=\frac{+2{,}6\times10^3}{400}=+6{,}5\text{ KW/K} \quad (\dot{Q}_3 \text{ entra na fonte 3} \rightarrow \text{sinal} +)$$

c)

$$\Delta S_{univ}=\underbrace{\cancel{\Delta S_{sist}}}_{=0\ \left(\substack{\text{ciclo}\\ s_f=s_i}\right)}+\Delta S_{viz}=\begin{cases} +\sum_{i=1}^{N_f}\left(\frac{\dot{Q}_i}{T_i}\right)_{viz}=+\left(\frac{\dot{Q}_1}{T_1}+\frac{\dot{Q}_2}{T_2}+\frac{\dot{Q}_3}{T_3}\right) \\ -\sum_{i=1}^{N_f}\left(\frac{\dot{Q}_i}{T_i}\right)_{sist}=-\left(\frac{\dot{Q}_1}{T_1}+\frac{\dot{Q}_2}{T_2}+\frac{\dot{Q}_3}{T_3}\right) \end{cases}$$

$$\Delta S_{univ}=\begin{cases} +(-18{,}75+12{,}25+6{,}5)=\emptyset \\ -(+18{,}75-12{,}25-6{,}5)=\emptyset \end{cases} \Rightarrow \Delta S_{univ}=\emptyset \ (\text{sistema reversível})$$