**Termodinâmica I**

2 º Semestre 2019/2020 (MEAer, MEMec, Amb, Naval)

Exame de Época Especial , 1/Setembro/2020

**Nome**________________________________________________________**Nº**

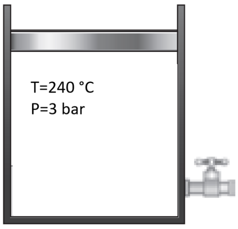
**Problema 1** (5 v=1.0+2+2.0)

Considere um ciclo de potência a funcionar entre dois reservatórios térmicos, estando o reservatório quente à temperatura $T_h$ e o reservatório frio à temperatura $T_c$ . O ciclo recebe uma potência calorífica $Q_h$ do reservatório quente, cede uma potência calorífica $Q_C$ ao reservatório frio e produz uma potência útil $W$. Considere que o sistema funciona em regime estacionário.

a) Para $T_h$ =200º$C$, $T_c$ =20º$C$, $Q_h$ =1000$kW$, $Q_c$ =500$kW$, diga se o ciclo é reversível, irreversível ou impossível;
b) Para $T_h$ = 200 º$C$, $Q_h$ = 1000 $kW$, $Q_c$ = 500 $kW$, determine a temperatura máxima $T_c$ (em ºC);
c) Para manter a sua temperatura $T_h$ constante, o reservatório quente recebe energia $Q_{col}$ de um sistema de colectores solares. O rendimento dos colectores define-se pela equação $\eta_{col} = Q_{col}/Q_S$, em que $Q_S = G_O A_{col}$ é a energia incidente recebida do Sol, sendo $G_0$ a energia incidente por m$^2$ de área colectora e $A$col a área colectora. Para $T_h$ = 200 º$C$, $T_c$ =20ºC, $W$ = 500 $kW$, $G_0$ = 0.315 $kW/m^2$ , $\eta_{col}$ = 0.75, determine a área colectora mínima.

**Nome**________________________________________________________**Nº**

**Problema 2** (5 v=1.5+2.5+1)




Um sistema cilindro embolo, com o eixo do cilindro colocado na vertical, contem inicialmente 0.3 $m^3$ de vapor de água a 240 °C. A massa do embolo é tal que mantem constante a pressão do vapor nos 3bar. No exterior a pressão atmosférica é 1 bar. O cilindro tem na parede uma válvula que permite a saída de vapor. A válvula é aberta e o vapor sai. Durante este processo a temperatura do vapor dentro do cilindro permanece constante. A válvula é fechada quando o volume do vapor é 0.1$m^3$.

Determine:

a) A massa de vapor que saiu do cilindro

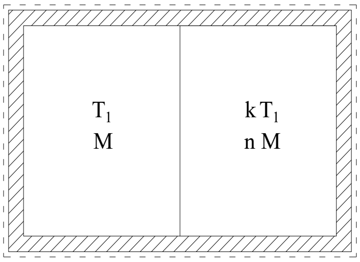
b) O calor trocado com o exterior, indicando o sentido dessa transferência.

c) A variação de energia potencial do embolo.

**Termodinâmica I**
2 º Semestre 2019/2020 (MEAer, MEMec, Amb, Naval)
Exame de Época Especial , 1/Setembro/2020

Nome________________________________________________________________Nº

**Problema 3** (5v=1.5+1.5+2)




A figura mostra um reservatório rígido que contem inicialmente duas massas $M$ e $nM$ do mesmo líquido à temperatura $T_1$ e $kT_1$, sendo $k$ e $n$ constantes. A linha a tracejado representa o volume de controlo que deve usar nos balanços integrais.

**Hipóteses**: o líquido é incompressível; o calor específico $c$ do líquido é constante; o reservatório é adiabático; a divisória conduz calor.

a) Obtenha uma equação para a temperatura final de equilíbrio $T_f$ apenas em função de $T_1$, $k$ e $n$;

b) Mostre que a produção de entropia é igual a $\sigma = (n+1)Mc\,ln\left[\dfrac{1+nk}{(1+n)k^{n/(n+1)}}\right]$

c) Considerando os casos $k=1$ e $k \neq 1$, determine as condições a impor a $n$ de modo a obter uma produção nula de entropia.

**Termodinâmica I**
2 º Semestre 2019/2020 (MEAer, MEMec, Amb, Naval)
Exame de Época Especial , 1/Setembro/2020

**Nome**____________________________________________________________**Nº**

**Problema 4** (5v=1+2+2)

Considere um ciclo frigorífico com refrigerante 134a, composto por um evaporador, um compressor, um condensador e uma válvula de laminagem.

**Dados**: a pressão mínima é $p_1 = 1\ bar$ e a pressão máxima é $p_2 = 6\ bar$, o fluido entra como vapor saturado no compressor e como líquido saturado na válvula de laminagem.

**Hipóteses**: o compressor é ideal; o ciclo funciona em regime estacionário; despreze a contribuição da energia cinética e potencial nos balanços de energia; considere que a evolução no evaporador e no condensador se faz ao longo de uma isóbara.

a) Determine a entalpia $h_2$ à saída do compressor;

b) Determine o coeficiente de performance $\beta$ do ciclo frigorífico;

c) Responda à seguinte pergunta: num diagrama T-s, a área interior deste ciclo representa $Q_{ciclo}/\dot{m}$ ?

d) Calcule o novo valor de $\beta$ se a válvula de laminagem for substituída por uma turbina ideal.

Considere um ciclo de potência a funcionar entre dois reservatórios térmicos, estando o reservatório quente à temperatura $T_H$ e o reservatório frio à temperatura $T_C$. O ciclo recebe uma potência calorífica $\dot{Q}_H$ do reservatório quente, cede uma potência calorífica $\dot{Q}_C$ ao reservatório frio e produz uma potência útil $\dot{W}$. Considere que o sistema funciona em regime estacionário.

a) Para $T_H = 200\ ºC$, $T_C = 20\ ºC$, $\dot{Q}_H = 1000\ kW$, $\dot{Q}_C = 500\ kW$, diga se o ciclo é reversível, irreversível ou impossível;

b) Para $T_H = 200\ ºC$, $\dot{Q}_H = 1000\ kW$, $\dot{Q}_C = 500\ kW$, determine a temperatura máxima $T_C$ (em ºC);

c) Para manter a sua temperatura $T_H$ constante, o reservatório quente recebe energia $\dot{Q}_{col}$ de um sistema de colectores solares. O rendimento dos colectores define-se pela equação $\eta_{col} = \dot{Q}_{col}/\dot{Q}_s$, em que $\dot{Q}_s = G_o A_{col}$ é a energia incidente recebida do Sol, sendo $G_o$ a energia incidente por m$^2$ de área colectora e $A_{col}$ a área colectora. Para $T_H = 200\ ºC, T_C = 20\ ºC$, $\dot{W} = 500\ kW$, $G_o = 0.315\ \ kW/m^2$, $\eta_{col} = 0.75$, determine a área colectora mínima.

**Respostas**

a) $\eta_{max} = \frac{T_H - T_C}{T_H} = \frac{180}{473} = 0.38$ $\qquad \eta = \frac{\dot{Q}_H - \dot{Q}_C}{\dot{Q}_H} = \frac{500}{1000} = 0.5 > \eta_{max}$ $\qquad$ Ciclo impossível

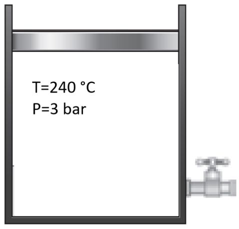
b) $\frac{T_H - T_C}{T_H} \geq \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{T_C}{T_H} \leq 1 - \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H} \quad \Leftrightarrow \quad T_C \leq T_H \left(1 - \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H}\right) = 473 \left(1 - \frac{500}{1000}\right) = 236.5\ K = -36.5\ ºC$

c) $\dot{Q}_H \geq \frac{\dot{W}}{\eta_{max}} \quad \Leftrightarrow \quad G_o A_{col} \eta_{col} \geq \frac{\dot{W}}{\eta_{max}} \quad \Leftrightarrow \quad A_{col} \geq \frac{\dot{W}}{\eta_{max} G_o \eta_{col}} = \frac{500}{0.38*0.315*0.75} = 5569\ m^2$

Um sistema cilindro embolo, com o eixo do cilindro colocado na vertical, contem inicialmente 0.3 $m^3$ de vapor de água a 240 °C. A massa do embolo é tal que mantem constante a pressão do vapor nos 3bar. No exterior a pressão atmosférica é 1 bar. O cilindro tem na parede uma válvula que permite a saída de vapor. A válvula é aberta e o vapor sai. Durante este processo a temperatura do vapor dentro do cilindro permanece constante. A válvula é fechada quando o volume do vapor é 0.1$m^3$.

Determine:

a) A massa de vapor que saiu do cilindro
b) O calor trocado com o exterior, indicando o sentido dessa transferência.
c) A variação de energia potencial do embolo.




Resolução:

a) Propriedades do vapor a 3bar e 250 C

| | v | u | h |
|---|---|---|---|
| 1 | 0.781 | 2713.1 | 2947.3 |

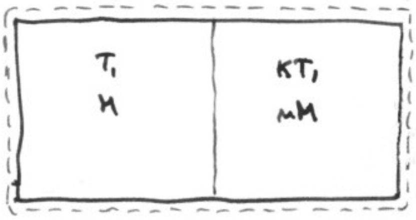
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| V1 | 0.3 | m1= | 0.38 | kg |
| V2 | 0.1 | m2 | 0.13 | kg |
| | | Delta M | 0.26 | kg |

b) balanço de energia

U2-U1= W+Q-DeltaM*h

Q= 347.4-1042.1- (-300*(-0.2))+754.6= 0

c) Mgh= Watm-Wvapor= 20-60=-40 Kj




a) Balanço de energia

$$\cancel{Q} - \cancel{W} = \Delta U \Rightarrow \Delta U_1 + \Delta U_2 = 0 \Leftrightarrow \cancel{M}\cancel{c}(T_f - T_1) + m\cancel{M}\cancel{c}(T_f - KT_1) = 0 \Rightarrow \boxed{T_f = \frac{T_1(1+mK)}{1+m}}$$

b) Balanço de entropia

$$\cancel{\left(\frac{Q}{T}\right)_b} + \sigma = \Delta S \Leftrightarrow \sigma = \Delta S_1 + \Delta S_2$$

$$T\,ds - \cancel{p\,dv} = du \Rightarrow ds = c\,\frac{dT}{T} \Rightarrow \Delta s_1 = c\ln\left(\frac{T_f}{T_1}\right) ; \; \Delta s_2 = c\ln\left(\frac{T_f}{KT_1}\right)$$

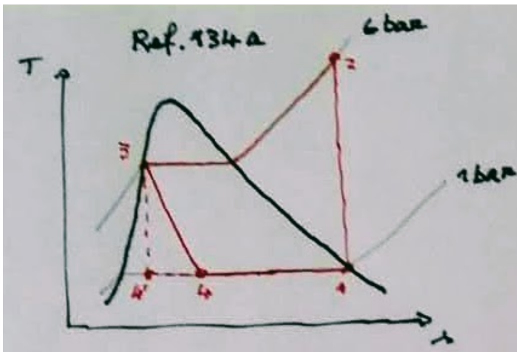
$$\sigma = Mc\ln\left(\frac{T_f}{T_1}\right) + mMc\ln\left(\frac{T_f}{KT_1}\right) = Mc\left[\ln\left(\frac{T_f}{T_1}\right) + \ln\left(\frac{T_f}{KT_1}\right)^m\right] = Mc\ln\left(\frac{T_f^{m+1}}{T_1^{m+1}K^m}\right) = (m+1)Mc\ln\left(\frac{T_f}{T_1 K^{\frac{m}{m+1}}}\right)$$

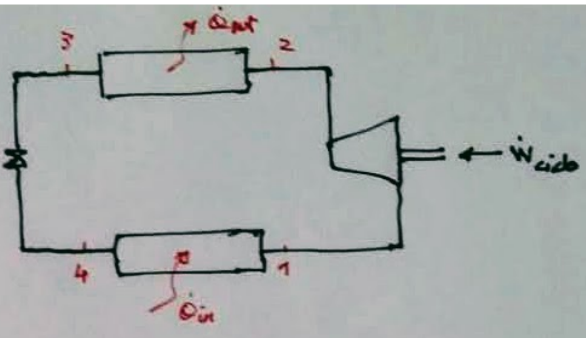
$$= (m+1)Mc\ln\left[\frac{T_1(1+mK)}{(1+m)T_1 K^{\frac{m}{m+1}}}\right] \Rightarrow \boxed{\sigma = (m+1)Mc\ln\left[\frac{1+mK}{(1+m)K^{\frac{m}{m+1}}}\right]}$$

c) $\sigma = 0 \Rightarrow 1 + mK = (1+m)K^{\frac{m}{m+1}} \Leftrightarrow \frac{1}{m} + K = \left(\frac{1}{m}+1\right)K^{\frac{1}{1+1/m}}$

$K = 1$ a equação é satisfeita para qualquer $m$

$K \neq 1$ a equação é satisfeita no limite $m \to \infty$




a) Determine $h_2$

$s_1 = s_g = 0.9395 \ \frac{kJ}{kgK} = s_2$ ; $\frac{278.09 - 267.89}{0.9719 - 0.9388} = \frac{h_2 - 267.89}{0.9395 - 0.9388} \Rightarrow h_2 = \underline{\underline{268.10 \ \frac{kJ}{kg}}}$

b) Determine o coeficiente de performance $\beta$ do ciclo frigorífico

$$\beta = \frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{W}_{ciclo}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{231.35 - 79.48}{268.1 - 231.35} = \underline{\underline{4.13}}$$

$h_1 = h_g = 231.35 \ kJ/kg$ ; $h_3 = h_f = 79.48 \ kJ/kg$ ; $h_4 = h_3$

c) A área interior do ciclo num diagrama T-s representa $\dot{Q}_{ciclo/in}$?

Não porque o ciclo não é reversível

d) Se a válvula de laminagem fosse substituída por uma turbina ideal, qual seria o novo $\beta$?

$$\beta = \frac{h_1 - h_{4'}}{(h_2 - h_1) - (h_3 - h_{4'})} = \frac{231.35 - 74.36}{(268.1 - 231.35) - (79.48 - 74.36)} = \underline{\underline{4.97}}$$

$s_3 = 0.2999 \ \frac{kJ}{kgK} \Rightarrow x_{4'} = \frac{s_{4'} - s_f}{s_g - s_f} = \frac{0.2999 - 0.0678}{0.9395 - 0.0678} = \underline{\underline{0.27}}$

$h_{4'} = h_f + x_{4'}(h_g - h_f) = 16.29 + 0.27(231.35 - 16.29) = \underline{\underline{74.36 \ \frac{kJ}{kg}}}$