



## UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA

MÁQUINAS TÉRMICAS - P1 - 05/04/2010

**1a. QUESTÃO:** Uma usina de potência a vapor d'água opera sob o ciclo de Rankine ideal com reaquecimento. Vapor entra na turbina à 8,0 MPa e 500 °C. Após o 1º. processo de expansão até a pressão de 3,0 MPa, o vapor é reaquecido a pressão constante até 500 °C, retornando à turbina para o 2º. processo de expansão até 20 kPa. A caldeira tem uma produção de 25,2 ton/h de vapor. Considerando-se que a potência de acionamento da bomba e as variações de energia cinética e potencial podem ser consideradas desprezíveis, pede-se:

- a) o diagrama "t x s" do ciclo com todos os valores e estados envolvidos; [ 1,5 ]
- b) a umidade após cada processo de expansão na turbina; [ 1,0 ]
- c) o calor fornecido na caldeira; [ 1,0 ]
- d) a potência fornecida pela turbina; [ 1,0 ]
- e) o rendimento térmico do ciclo; [ 1,0 ]
- f) o calor de reaquecimento do vapor; [ 1,0 ]
- f) o calor rejeitado no condensador; [ 1,0 ]
- g) a vazão de água de refrigeração para um diferencial de temperatura admissível de 23 °C. Dado: ( $c_p = 4,2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ). [ 1,0 ]

**2a. QUESTÃO:** Determinar o consumo de combustível da caldeira da questão anterior em ton/h, sabendo-se que o seu rendimento é de 89% e que o poder calorífico inferior do combustível é de 9200 kJ/kg. [ 1,5 ]

### Formulário:

1ª. Lei da Termodinâmica para um ciclo

$$\oint \delta \dot{Q} = \oint \delta \dot{W} \quad \Rightarrow \quad \dot{Q}_Q - \dot{Q}_F = \dot{W}_T - |\dot{W}_B| = \dot{W}_{\text{útil}}$$

1ª. Lei da Termodinâmica para um volume de controle

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_e \cdot h_e = \sum \dot{m}_s \cdot h_s + \dot{W}_{V.C.}$$

Rendimento do ciclo

$$\eta = \dot{W}_{\text{útil}} / \dot{Q}_{G.V.} \quad \text{onde:} \quad \dot{W}_{\text{útil}} = \dot{W}_T - |\dot{W}_B|$$

Rendimento da caldeira

$$\eta_{\text{CALD}} = \dot{Q}_{\text{útil}} / \dot{Q}_{\text{comb}} \quad \text{onde:} \quad \dot{Q}_{\text{útil}} = \dot{Q}_{G.V.}$$

Região de Saturação

$$h = h_l + x \cdot h_{lv}; \quad s = s_l + x \cdot s_{lv}$$

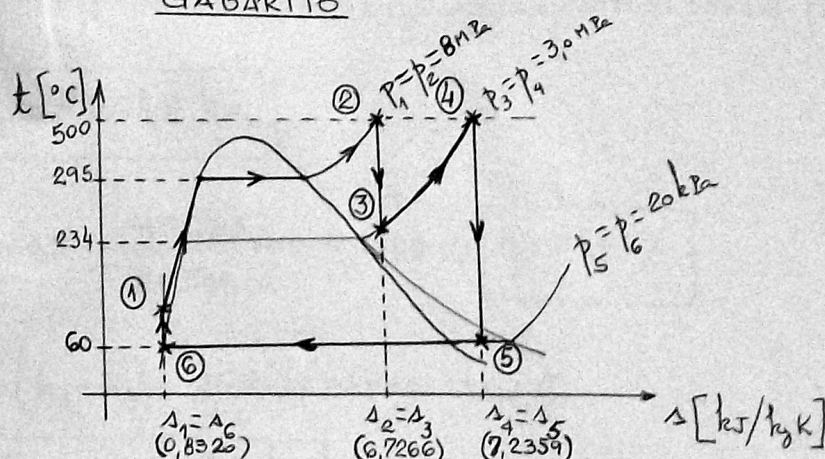


P1 - MÁQUINAS TÉRMICAS - 19/04/10

GABARITO

1ª QUESTÃO

a)



b)  $s_3 = s_2 = 6,7266 \text{ kJ/kgK}$   
 $s_v(p=3,0 \text{ MPa}) = 6,1856 \text{ kJ/kgK} \therefore \textcircled{3} \rightarrow \text{vapor superaquecido}$

|        |      |       |
|--------|------|-------|
| 6,5412 | ———— | 300   |
| 6,7266 | ———— | $t_3$ |
| 6,7450 | ———— | 350   |

$$\Rightarrow \frac{t_3 - 300}{350 - 300} = \frac{6,7266 - 6,5412}{6,7450 - 6,5412} \Rightarrow \boxed{t_3 = 345^\circ\text{C}}$$

$s_5 = s_4 = 7,2359 \text{ kJ/kgK}$        $p = 20 \text{ kPa} : s_e = 0,8320 \text{ kJ/kgK}$   
 $s_{ev} = 7,0752 \text{ kJ/kgK}$

$$s_5 = s_e + x_5 s_{ev} \Rightarrow x_5 = \frac{s_5 - s_e}{s_{ev}}$$

$$x_5 = \frac{7,2359 - 0,8320}{7,0752} = 0,9051 \Rightarrow x_5 = 90,5\%$$

$$\boxed{y_5 = 9,5\%}$$

c)  $\dot{Q}_{G.V.} = \dot{m} \cdot [(h_2 + h_4) - (h_3 + h_1)]$

$$\dot{Q}_{G.V.} = \frac{25,2}{3,6} \times [(3399,5 + 3457,2) - (3105,1 + 251,42)] = \boxed{24501,3 \text{ kW}}$$

|        |      |        |
|--------|------|--------|
| 2994,3 | ———— | 6,5412 |
| $h_3$  | ———— | 6,7266 |
| 3116,1 | ———— | 6,7450 |

$$\Rightarrow h_3 = \left[ \frac{6,7266 - 6,5412}{6,7450 - 6,5412} \right] \cdot (3116,1 - 2994,3) + 2994,3$$

$$h_3 = 3105,1 \text{ kJ/kg}$$

$$h_5 = 251,42 + 0,9051 \times 2357,5 = 2385,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = h_6 = h_e(p=20 \text{ kPa}) = 251,42 \text{ kJ/kg}$$



## UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA

MÁQUINAS TÉRMICAS - P1 - 05/04/2010

**1a. QUESTÃO:** Uma usina de potência a vapor d'água opera sob o ciclo de Rankine ideal com reaquecimento. Vapor entra na turbina à 8,0 MPa e 500 °C. Após o 1º. processo de expansão até a pressão de 3,0 MPa, o vapor é reaquecido a pressão constante até 500 °C, retornando à turbina para o 2º. processo de expansão até 20 kPa. A caldeira tem uma produção de 25,2 ton/h de vapor. Considerando-se que a potência de acionamento da bomba e as variações de energia cinética e potencial podem ser consideradas desprezíveis, pede-se:

- a) o diagrama "t x s" do ciclo com todos os valores e estados envolvidos; [ 1,5 ]
- b) a umidade após cada processo de expansão na turbina; [ 1,0 ]
- c) o calor fornecido na caldeira; [ 1,0 ]
- d) a potência fornecida pela turbina; [ 1,0 ]
- e) o rendimento térmico do ciclo; [ 1,0 ]
- f) o calor de reaquecimento do vapor; [ 1,0 ]
- g) o calor rejeitado no condensador; [ 1,0 ]
- h) a vazão de água de refrigeração para um diferencial de temperatura admissível de 23 °C. Dado: ( $c_p = 4,2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ). [ 1,0 ]

**2a. QUESTÃO:** Determinar o consumo de combustível da caldeira da questão anterior em ton/h, sabendo-se que o seu rendimento é de 89% e que o poder calorífico inferior do combustível é de 9200 kJ/kg. [ 1,5 ]

### Formulário:

1ª. Lei da Termodinâmica para um ciclo

$$\oint \delta \dot{Q} = \oint \delta \dot{W} \quad \Rightarrow \quad \dot{Q}_Q - \dot{Q}_F = \dot{W}_T - |\dot{W}_B| = \dot{W}_{\text{útil}}$$

1ª. Lei da Termodinâmica para um volume de controle

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_e \cdot h_e = \sum \dot{m}_s \cdot h_s + \dot{W}_{V.C.}$$

Rendimento do ciclo

$$\eta = \dot{W}_{\text{útil}} / \dot{Q}_{G.V.} \quad \text{onde:} \quad \dot{W}_{\text{útil}} = \dot{W}_T - |\dot{W}_B|$$

Rendimento da caldeira

$$\eta_{\text{CALD}} = \dot{Q}_{\text{útil}} / \dot{Q}_{\text{comb}} \quad \text{onde:} \quad \dot{Q}_{\text{útil}} = \dot{Q}_{G.V.}$$

Região de Saturação

$$h = h_l + x \cdot h_{lv}; \quad s = s_l + x \cdot s_{lv}$$



$$d) \dot{W}_T = \dot{m} \times [(h_2 + h_4) - (h_3 + h_5)] = \frac{25,2}{3,6} \times [(3399,5 + 3457,2) - (3105,1 + 2385,2)]$$

$$\boxed{\dot{W}_T = 9564,8 \text{ kW}}$$

$$e) \eta = \frac{\dot{W}_T}{\dot{Q}_{G.V.}} = \frac{9564,8}{24501,26} = 0,3904 \Rightarrow \boxed{\eta = 39,04\%}$$

$$f) \dot{Q}_{REQ} = \dot{m}(h_4 - h_3) = \frac{25,2}{3,6} \times (3457,2 - 3105,1)$$

$$\boxed{\dot{Q}_{REQ} = 2464,7 \text{ kW}}$$

$$g) \dot{Q}_{COND} = \dot{m}(h_6 - h_5) = \frac{25,2}{3,6} \times (251,42 - 2385,2)$$

$$\boxed{\dot{Q}_{COND} = -14936,46 \text{ kW}}$$

$$h) \dot{Q}_{COND} = \dot{m}_{H_2O} \times C_p \times \Delta t \Rightarrow \dot{m}_{H_2O} = \frac{\dot{Q}_{COND}}{C_p \times \Delta t} = \frac{14936,46}{4,2 \times 23}$$

$$\boxed{\dot{m}_{H_2O} = 154,62 \text{ kg/s}} \Rightarrow \boxed{\dot{V}_{H_2O} \approx 556 \text{ m}^3/\text{h}}$$

2ª QUESTÃO

$$\dot{Q}_{comb} = \dot{m}_{comb} \times pci$$

$$\eta_{CALD} = \frac{\dot{Q}_{G.V.}}{\dot{Q}_{comb}}$$

$$\dot{m}_{comb} = \frac{\dot{Q}_{G.V.}}{\eta_{CALD} \times pci} = \frac{24501,26}{0,89 \times 9200} = 2,99 \text{ kg/s}$$

$$\boxed{\dot{m}_{comb} = 10,8 \text{ ton/h}}$$