



# UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

## Departamento de Engenharia Mecânica

Correcção do 2º Teste de Sistemas Energéticos

15 de Novembro de 2023

120 minutos

### Pergunta 1 (5,0 valores)

Qual a temperatura de saída dos gases de escape pela chaminé, de um gerador de vapor que queima coque com a seguinte composição em percentagem, dada em massa seca:

Carbono	69
Hidrogénio	2
Nitrogénio	7
Oxigénio	10
Enxofre	7
Cinzas	5
Humidade	7

Sabendo ainda que as perdas com gases de efluentes são de 3,8%, as perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão são de 3,5% e a temperatura do ar ambiente é  $t_a = 30^\circ\text{C}$ .

$$T_a = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m_{H_2O} = 7\%$$

$$q_3 = 3,8 \%$$

$$P_{gc} = 3,5 \%$$

$$C^t = C^d (100 - W) / 100$$

$$H^t = H^d (100 - W) / 100$$

$$N^t = N^d (100 - W) / 100$$

$$O^t = O^d (100 - W) / 100$$

$$S^t = S^d (100 - W) / 100$$

$$A^t = A^d (100 - W) / 100$$

$$W^t = W$$

$$C^t = 69(100 - 7) / 100 = 64,17\%$$

$$H^t = 2(100 - 7) / 100 = 1,86\%$$

$$N^t = 7(100 - 7) / 100 = 6,51\%$$

$$O^t = 10(100 - 7) / 100 = 9,3\%$$

$$S^t = 7(100 - 7) / 100 = 6,51\%$$

$$A^t = 5(100 - 7) / 100 = 4,65\%$$

$$W^t = 7\%$$

$$q_3 = P_{gc} + P_{H_2O} \quad [\%]$$

$$P_{H_2O} = q_3 - P_{gc}$$

$$P_{H_2O} = 3,8 - 3,5 = 0,3\%$$

$$Q'_i = 4,187 \left[ (81 \cdot C^t + 300H^t - 26(O^t - S^t) - 6(W^t + 9H^t)) \right] = 23199 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\text{comb}}} \right]$$

$$P_{H_2O} = \frac{(m_{H_2O} + 9H) \cdot [210 - 4,2 \cdot T_a + 2,1 \cdot T_g]}{Q_i}$$

$$0,3 = \frac{(7 + 9 \cdot 1,86) \cdot [210 - 4,2 \cdot 30 + 2,1 \cdot T_g]}{23199}$$

$$T_g = 99,6^\circ C$$

### Pergunta 2 (5,0 valores)

Determine o consumo de combustível de um gerador de vapor aquatubular que produz 35000 kg/h de vapor sendo as entalpias do vapor saturado e da água saturada de 2923 kJ/kg e 742 kJ/kg respectivamente. A caldeira tem grelha de cadeia de percurso directo com o mínimo de perdas de calor devido ao combustível não queimado e queima carvão mineral com a seguinte composição dada em massa de combustível: Carbono 65%, Hidrogénio 16%, Nitrogénio 6%, Oxigénio 8%, Enxofre 5%, Cinzas 2% e Humidade de 2%, sabendo ainda que as perdas com gases de efluentes são de 3,8% e que a temperatura do ar ambiente é de 30°C

**Dados:**

$$G = 35000 \text{ kg / h}$$

$$\dot{B} = ?$$

$$h_g = 2923 \text{ kJ / kg}$$

$$h_f = 742 \text{ kJ / kg}$$

$$q_2 = 3,8$$

$$q_3 = 1,5$$

$$q_4 = 3$$

$$q_5 = 1,08$$

$$q_6 = 0$$

**Massa de trabalho do combustível**

$$C^t = C^c \frac{100 - (A^t + W^t)}{100} = 62,4\%$$

$$H^t = H^c \frac{100 - (A^t + W^t)}{100} = 15,35\%$$

$$N^t = N^c \frac{100 - (A^t + W^t)}{100} = 5,76\%$$

$$O^t = O^c \frac{100 - (A^t + W^t)}{100} = 7,68\%$$

$$S^t = S^c \frac{100 - (A^t + W^t)}{100} = 4,8\%$$

$$A^t = 2\%$$

$$W^t = 2\%$$

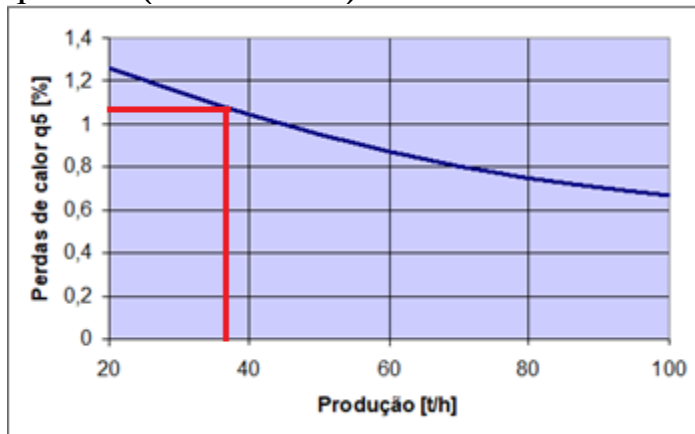
**O poder calorífico inferior determina-se de:**

$$Q'_i = 4,187 \left[ 81C^t + 300H^t - 26(O^t - S^t) - 6(W^t + 9H^t) \right] = 36620 \text{ [kJ/kg]}$$

As perdas determinam-se de:

$q_3 = 1,5\%$  (da tabela 14.1)

$q_4 = 3\%$  (da tabela 14.1)



$q_5 = 1,08\%$  (do ábaco)

$q_6 = 0\%$  (valor de cinzas muito reduzido)

O rendimento da caldeira determina-se de:

$$\eta_b = 100 \frac{Q_1}{Q_{disp}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6)$$

$$\eta_b = 100 - (3,8 + 1,5 + 3 + 1,08 + 0)$$

$$\eta_b = 90,62$$

O consumo de combustível do gerador determina-se de

$$\dot{B} = \frac{\dot{G}(h_g - h_f)}{\eta_b \cdot Q_i}$$

$$B = \frac{\dot{G} \cdot (h_g - h_f)}{\eta_b \cdot Q_i} = \frac{35000(2923 - 742)}{\frac{90,6}{100} \cdot 36620} = 2300 \text{ [kg/h]} \quad \text{ou} \quad 0,639 \text{ [kg/s]}$$

### Pergunta 3 (5,0 valores)

Escolher um queimador compacto para uma fornalha que funciona com um combustível gasoso sabendo que a pressão na conduta de alimentação de gás é de 60 mbar, a contrapressão dentro da fornalha de 18 mbar, a potência da fornalha é de 2000 kW e o seu rendimento térmico de 85%. Fazer também a selecção da válvula de gás.

A composição do combustível em massa de trabalho apresenta-se a seguir em percentagem:  $H_2=3,5$ ,  $CO=4$ ,  $H_2S=3$ ,  $CH_4=60$ ,  $C_2H_6=3$ ,  $C_3H_8=2$ ,  $C_2H_4=3$ ,  $C_4H_{10}=2$ ,  $C_5H_{12}=3$ ,  $C_3H_6=3$ ,  $C_4H_8=3$ ,  $CO_2=4,49$ ,  $N_2=4$ ,  $O_2=2$ ,  $A=0$ ,  $W=0,01$

$H_2=3,5\%$

$CO=4\%$

$H_2S=3\%$

$CH_4=60\%$

$C_2H_6=3\%$

$C_3H_8=2\%$

$C_2H_4=3\%$

$C_4H_{10} = 3 \%$   
 $C_5H_{12} = 3 \%$   
 $C_3H_6 = 3 \%$   
 $C_4H_8 = 3$   
 $CO_2 = 3 \%$   
 $N_2 = 4,49 \%$   
 $O_2 = 2 \%$   
 $A = 2 \%$   
 $W = 0,01 \%$

$$\begin{aligned}
 Q_i' &= 108,3 \cdot H_2 + 126,8 \cdot CO + 234,6 \cdot H_2S + 359,3 \cdot CH_4 \\
 &+ 639,5 \cdot C_2H_6 + 915,4 \cdot C_3H_8 + 592,5 \cdot C_2H_4 + 1190,2 \cdot C_4H_{10} \\
 &+ 1465,4 \cdot C_5H_{12} + 862,7 \cdot C_3H_6 + 1138,7 \cdot C_4H_8 \quad [kJ/m^3_{comb}]
 \end{aligned}$$

$$Q_i' = 41708 [kJ/m^3_{comb}]$$

$$C_{queim} = \frac{P}{\eta_f} [kW]$$

$$C_{queim} = \frac{2000}{0,85} = 2353 [kW]$$

$$\dot{B}_{comb} = \frac{C_{queim} \cdot 3,6}{Q_i} \left[ \frac{m^3 N}{h} \right]$$

$$\dot{B}_{comb} = \frac{2328 \cdot 3,6}{41708} = 203,1 \left[ \frac{m^3 N}{h} \right] \quad \text{ou} \quad 0,05641 [m^3 / s]$$

O queimador escolhido é o GP-300M ou o GP-300M-II

Como o valor da pressão de entrada de gás é de 60 mbar, a contrapressão da fornalha de 18 mbar, a capacidade requerida do queimador de 2328 kW, então a pressão efectiva é de 60 mbar - 18 mbar = 42 mbar. A válvula escolhida é a DMV-D 50

#### Pergunta 4 (5,0 valores)

Uma turbina eólica de duas pás com diâmetro de 12 metros é colocada num subúrbio arborizado a altura de 60 metros, onde a pressão atmosférica é de 101,1 kpa, a temperatura de 25°C, sabendo ainda que a altura de 10 metros o vento tem a velocidade de 6 m/s. Calcule para esta turbina:

- A potência disponível do vento;
- A potência máxima extraída;
- A potência possível da turbina;
- A velocidade de rotação da turbina em RPM;
- O torque a que a turbina está sujeita

Dados:

$$v = 15 \text{ m/s}$$

$$P = 101300 \text{ Pa}$$

$$d = 15 \text{ m}$$

$$T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R = 287 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$C_{p_{\max}} = 0,592$$

$$V_h = V_{10} \left( \frac{h}{10} \right)^\alpha$$

$$V_{60} = 6 \times \left( \frac{60}{10} \right)^{0,45} = 13,44 \text{ [m/s]}$$

$$PV = MRT \Rightarrow \frac{M}{V} = \frac{P}{RT}$$

$$\rho = \frac{P}{RT} = \frac{101100}{287 \times (25 + 273,15)} = 1,182 \text{ [kg / m}^3\text{]}$$

a) A potência disponível do vento determina-se de:

$$P_{disp} = \frac{1}{2} \rho A V_{mc}^3$$

$$P_{disp} = \frac{1}{2} \rho A V_{60}^3 = \frac{1}{2} \rho \frac{\pi d^2}{4} V_{60}^3$$

$$P_{disp} = \rho \frac{\pi d^2}{8} V_{60}^3 = 1,182 \frac{\pi 12^2}{8} 13,44^3$$

$$P_{disp} = 162112 \text{ [W]}$$

b) A potência máxima extraída determina-se de:

$$P_{ext} = \frac{1}{2} C_p \rho A V_{vent}^3 = C_{p_{\text{Beltz}}} \times P_{vent}$$

$$P_{ext} = 0,593 \times 162112 = 96132 \text{ [W]}$$

c) A potência possível da turbina determina-se de

$$P_{poss} = \frac{1}{2} C_{p_{turbina}} \rho A V_{vent}^3 = C_{p_{turbina}} \times P_{vent}$$

$$P_{poss} = 0,45 \times 162112 = 72950 \text{ [W]}$$

O rendimento aerodinâmico retira-se da figura 26.2 para  $\Omega=11$  com duas pás  $C_{p_{turbina}}=0,45$

d) A velocidade de rotação da turbina em RPM

Para este tipo de turbinas, a velocidade periférica específica é de 11 (ver gráfico 26.9) e resulta que:

$$\Omega = \frac{r\omega}{V_{vent}} = 11$$

$$\omega = \frac{\Omega \cdot V_{vent}}{r} = \frac{\Omega \cdot V_{60} \cdot 2}{d}$$

$$\omega = \frac{11 \cdot 13,44 \cdot 2}{12} = 24,64 \text{ [1/s]}$$

e) O torque a que a turbina está sujeita será

$$\tau = \frac{P_{poss}}{\omega} = \frac{72950}{24,6} = 2961 \text{ [N}\cdot\text{m]}$$

Prof. Doutor Eng° Jorge Nhambiu  
Engª Isaura Tobela & Eng° Vicente Chirime