



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE MECÂNICA

Instalações Térmicas

3º Teste

120 minutos

14 de Novembro de 2013

Pergunta 1 (1,5 valores)

O que acontecesse quando a temperatura de saída dos gases na fornalha das caldeiras flamotubulares ultrapassa os 1100 °C?

Aumenta as tensões de cisalhamento no espelho traseiro e na câmara de reversão, devido a maior variação de temperatura entre as faces de suas paredes;

Aumenta a velocidade do fluxo dos gases na entrada dos tubos da 2ª passagem;

Aumenta a troca de calor por radiação no início do feixe de tubos;. Aula 27 – Slide 22

Pergunta 2 (1,5 valores)

Como se consegue a diminuição das perdas com o calor sensível?

A queda da temperatura de saída dos gases consegue-se com a introdução de economizadores (Figura 27.6) ou pré-aquecedores de ar. Aula 27-Slide 44

Pergunta 3 (1,5 valores)

O que é o ponto triplo?

É o ponto onde se encontram:

A linha de sublimação que separa as regiões de sólido e de vapor;

A linha de vaporização que separa as regiões líquido e de vapor;

A linha de fusão que separa as regiões de sólido e de líquido.. Aula 23 – Slide 34

Pergunta 4 (1,5 valores)

Em que parte do ciclo frigorífico se encontra líquido resfriado a alta pressão?

Entre o condensador e o dispositivo de expansão. Diapositivo 11 do eLearningFull Ponto 3

Pergunta 5 (1,5 valores)

No sistema Electrolux, o que acontece no tubo bomba?

Por meio de aquecimento do tubo bomba (central e externo), a solução de amónia e água começa a subir,

Na parte mais alta do tubo central a água retorna pelo tubo externo, ao tanque de absorção, A amónia na fase de vapor, a 150°C, caminha para o pré-condensador onde é resfriada pela troca de calor com o ambiente (tem-se líquido e vapor).

Aula 29-Slide 54

Pergunta 6 (6,0 valores)

Determine o calor necessário para produzir 30000 kg/h de vapor saturado a partir de água saturada, sabendo que o gerador é aquatubular e consome 0,978 kg de combustível por segundo. O volume dos gases de escape é de 8,136 m³/kg_{comb}, a sua temperatura de 150°C e o seu calor específico de 1,374 kJ/kgK. O ar exterior encontra-se à temperatura de 26°C. A caldeira tem grelha fixa e alimentador

pneumático e funciona com lenhite. O poder calorífico inferior do combustível é de 20542,259 kJ/kg_{comb}, o volume teórico do ar insuflado é de 5,334 m³/kg_{comb} e a sua temperatura de 200°C, com o coeficiente de excesso de ar, perdas devido à combustão incompleta e perdas devido ao combustível não queimado. mínimos para este tipo de câmara. O calor específico do ar e do combustível são 1,304 kJ/kgK e 1,35 kJ/kgK respectivamente.

Dados:

$$\alpha = 1,4$$

$$\dot{B} = 0,978 \text{ kg / s}$$

$$V_g = 8,136 \text{ m}^3 / \text{kg}_{comb}$$

$$C_{pgas} = 1,374 \text{ kJ / kgK}$$

$$V_{ar}^0 = 5,334 \text{ m}^3 / \text{kg}_{comb}$$

$$C_{par} = 1,304 \text{ kJ / kgK}$$

a) As perdas com gases efluentes determinam-se de (0,5 val)

$$Q_2 = V_g C_{pgw} (T_{wg} - T_{amb}) \left[\frac{kJ}{h} \right]$$

$$Q_2 = 8,136 \cdot 1,374 (150 - 26) = 1386,18 \left[\frac{kJ}{h} \right]$$

b) Calor físico do ar pré-aquecido determina-se de: (0,5 val)

$$Q_{ar} = C_{par} \cdot t_{ar} \cdot \alpha \cdot V_{ar}^0$$

$$Q_{ar} = 1,304 \cdot 200 \cdot 1,4 \cdot 5,334$$

$$Q_{ar} = 1947,55 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

c) As perdas de calor com os gases efluentes (1,0 val)

$$q_2 = \frac{V_g C_{pgw} (T_{wg} - T_{amb})}{Q_{disp}} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$q_2 = \frac{V_g C_{pgw} (T_{wg} - T_{amb})}{Q_i + Q_{ar} + Q_{comb}} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$q_2 = \frac{1386,18}{20542,259 + 1947,55} \cdot 100 = 6,16 [\%]$$

d) As perdas devido a combustão incompleta q₃ determina-se da Tabela 25.1: (0,5val)

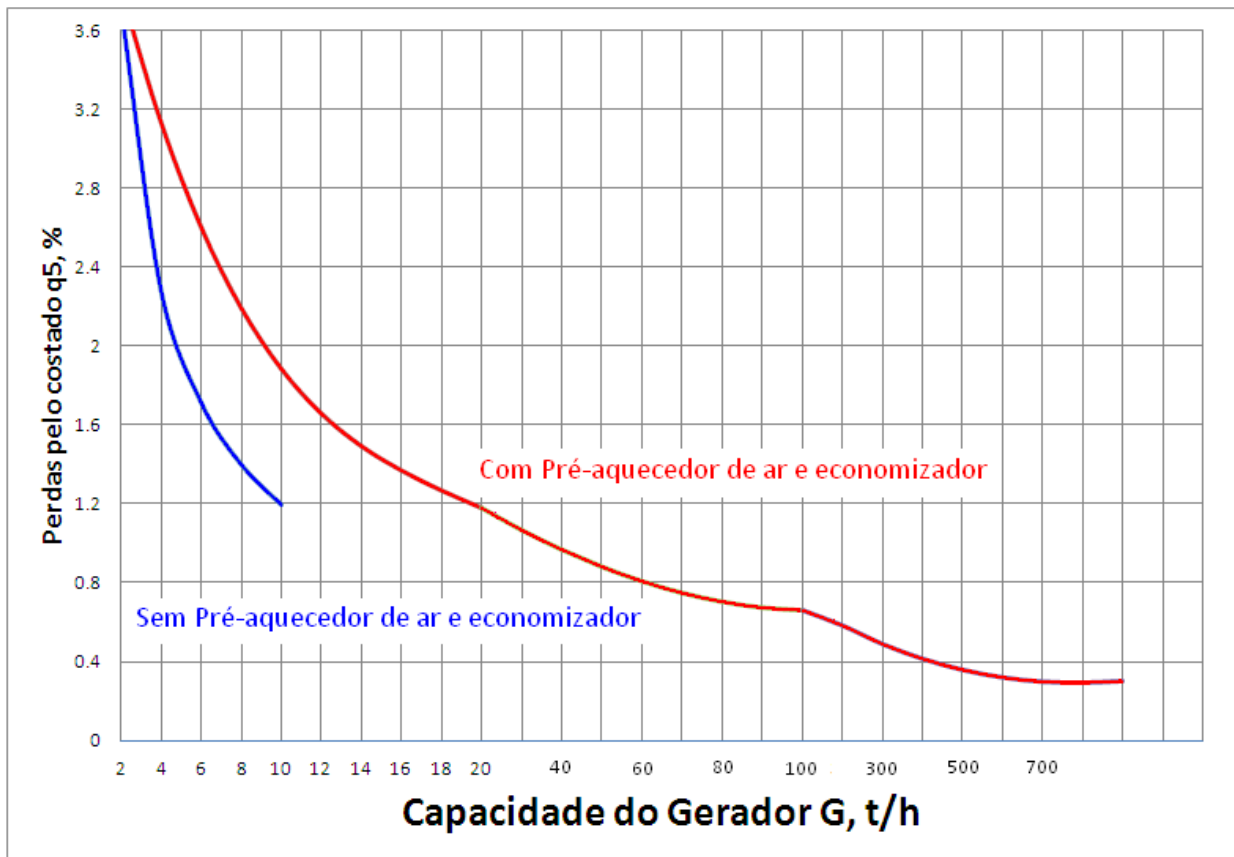
$$q_3 = 0,5 [\%]$$

e) As perdas devido ao combustível não queimado q₄ determina-se da Tabela 25.1 (0,5val)

$$q_4 = 5 [\%]$$



f) Perdas de energia pelo costado q_5 determinam-se do gráfico. (0,5 val)



$$q_5 = 1,14 \text{ [%]}$$

g) As perdas devido a entalpia da escória q_6 são consideradas nulas. (0,5 val)

$$q_6 = 0 \text{ [%]}$$

h) O rendimento térmico do gerador será: (1,0 val)

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

$$\eta_b = 100 \frac{Q_1}{Q_{disp}} = 100 - (6,16 + 0,5 + 5 + 1,14 + 0)$$

$$\eta_b = 87,20 \text{ %}$$

i) O calor necessário para a vaporização determina-se de: (1,0 val)

$$\dot{B} = \frac{\dot{G}(h_g - h_f)}{\eta_b \cdot Q_{disp}} = \frac{Q_1}{\eta_b \cdot Q_{disp}}$$

$$Q_1 = \dot{B} \cdot \eta_b \cdot Q_{disp} = 0,978 \cdot 0,872 \cdot (20542,259 + 1947,55) = 19,179 [MW]$$

Pergunta 7 (6,5 valores)

Determinar o rendimento térmico, o consumo de combustível e o calor perdido de um gerador de vapor flamotubular que fornece vapor saturado, funcionando com combustível gasoso, com três passes de tubos. Com os seguintes dados restantes:

Capacidade de trabalho 4000 kg/h

Calor específico do ar 1,035 kJ/kgK

Temperatura do ar pré aquecido 120 °C

Temperatura do ar ambiente 30 °C

Tipo de combustível GPL

Coefficiente de excesso de ar $\alpha=1,05$

Entalpia de vapor saturado 2795.5 kJ/kg

Entalpia da água de alimentação 104.9 kJ/kg

Massa específica do ar 1,29 kg/m³

E com a seguinte composição do combustível:

1	Hidrogénio	H	5
2	Monóxido de carbono	CO	0
3	Acido Sulfídrico	H ₂ S	0
4	Metano	CH ₄	28
5	Etano	C ₂ H ₆	28
6	Propano	C ₃ H ₈	22
7	Etileno	C ₂ H ₄	7
8	Butano	C ₄ H ₁₀	0
9	Pentano	C ₅ H ₁₂	0
10	Propileno	C ₃ H ₆	3
11	Ciclobutano	C ₄ H ₈	7
12	Dióxido de carbono	CO ₂	0
13	Nitrogénio	N ₂	0
14	Oxigénio	O ₂	0
15	Cinzas	A	0
16	Humidade	W	0

a) Volume Teórico De Ar (0,15 val)

$$V_{ar}^o = 0,0476 \left[0,5 \cdot CO + 0,5 \cdot H_2 + 1,5 \cdot H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) \cdot C_m H_n - O_2 \right] \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

$$V_{ar}^o = 16,327 \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$



b) Volume Real De Ar (0,15 val)

$$V_{ar} = \alpha V_{ar}^o \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

$$V_{ar} = 17,143 \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

c) Volume Teórico Dos Gases Biatómicos (0,15 val)

$$V_{RO}^o = 0,79 \cdot V_{ar}^o + 0,01 \cdot N^t \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

$$V_{RO}^o = 12,898 \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

d) Volume Real Dos Gases Biatómicos (0,15 val)

$$V_{RO} = 0,79 \cdot V_{RO}^o + (\alpha - 1) \cdot 0,79 \cdot V_{ar}^o \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

$$V_{RO} = 13,543 \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

e) Volume Teórico Dos Gases Triatómicos (0,15 val)

$$V_{RO2}^o = 0,01 \left[CO_2 + CO + H_2S + \sum m(C_m H_n) \right] \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

$$V_{RO2}^o = 2,01 \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

f) Volume Teórico Do Vapor De Agua (0,15 val)

$$V_{H_2O}^o = 0,01 \cdot \left\{ H_2S + H_2 + \sum \left[\left(\frac{n}{2} \right) C_m H_n \right] + 0,012 \cdot W^t \right\} + 0,0161 \cdot V_{ar}^o \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

$$V_{H_2O}^o = 3,103 \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

g) Volume Real Do Vapor De Água (0,15 val)

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^o + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_{ar}^o \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

$$V_{H_2O} = 3,116 \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

h) Volume Do Oxigénio Excedente (0,15 val)

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_{ar} \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

$$V_{O_2} = 0,171 \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

i) Volume Total Dos Gases De Escape (0,15 val)

$$V_g = V_{RO} + V_{RO_2} + V_{H_2O} + V_{O_2}$$

$$V_g = 18,841 \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

j) Fracção Volúmica Dos Gases Triatómicos (0,15 val)

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_g}$$

$$r_{RO_2} = 0,107$$

k) Fracção Volúmica Real Dos Gases Biatómicos (0,15 val)

$$r_{R_2} = \frac{V_{R_2}}{V_g}$$

$$r_{R_2} = 0,719$$

l) Fracção Volúmica Da Água (0,15 val)

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_g}$$

$$r_{H_2O} = 0,165$$

m) Fracção Volúmica Do Oxigénio Excedente (0,15 val)

$$r_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_g}$$

$$r_{O_2} = 0,009$$

n) Soma Das Fracções

$$\sum r = r_{R_2} + r_{RO_2} + r_{H_2O} + r_{O_2}$$

$$\sum r = 1$$

o) Poder Calorífico Inferior (0,15 val)

$$Q_i^l = 108,3H_2 + 126,8CO + 234,6H_2S + 359,3CH_4 + 639,5C_2H_6 + 915,4C_3H_8 + 592,5C_2H_4$$

$$+ 1190,2C_4H_{10} + 1465,4C_5H_{12} + 862,7C_3H_6 + 1138,7C_4H_8 \left[\frac{kJ}{m^3_{comb}} \right]$$

$$Q_i^l = 63353,20 \left[\frac{kJ}{m^3_{comb}} \right]$$



p) Determinação de calor disponível. (0,15 val)

$$Q_{ar} = V_{ar} \cdot c_{par} \cdot t_{ar} = 2129,78 \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$Q_{disp} = Q_i + Q_{ar} = 65353,20 + 2129,78 = 65482,38 kJ / m^3 \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

q) q₂ - Perdas de calor com as cinzas (0,15 val)

$$q_2 = P_{cv} + P_{cf} \quad [\%]$$

Em que:

P_{cv} – são as perdas associadas ao combustível nas cinzas volantes;

P_{cf} – são as perdas associadas ao combustível nas cinzas de fundo.

$$P_{cv} = \frac{A \cdot F_{cv} \cdot C_{cv} \cdot 33820 \cdot 100}{(1 - C_{cv}) \cdot Q_i}$$

$$P_{cv} = 0$$

É uma perda ocasional que determina-se estabelecendo o peso do combustível arrastado com as cinzas e só é aplicável a combustíveis sólidos

$$P_{cf} = \frac{A \cdot F_{cf} \cdot C_{cf} \cdot 33820 \cdot 100}{(1 - C_{cf}) \cdot Q_i}$$

$$P_{cf} = 0$$

É também uma perda ocasional que determina-se estabelecendo o peso do combustível arrastado com as cinzas de fundo e só é aplicável a combustíveis sólidos.

$$q_2 = 0 \quad [\%]$$

r) q₃ - perdas com gases de efluentes (0,15 val)

As perdas de calor sensível estão associadas aos gases secos que saem pela chaminé, como também ao vapor de água que se encontra nesses gases. Estas perdas são avaliadas da seguinte relação:

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

$$P_{gc} = \frac{k_1 \cdot (T_g - T_a) \cdot [1 - (P_{cc} + P_{cf}) / 100]}{CO_2}$$

P_{gc} - perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustao

Como o combustível dado é o GPL tem-se: $k_1 = 0,45$

$$CO_2 = \left(1 - \frac{O_2}{21}\right) x CO_2 t$$

$$CO_2 = 10,70$$

$$P_{gc} = 6,96 \%$$

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

$$P_{H_2O} = 0,414 \%$$

$$q_3 = 7,38 \text{ [%]}$$

s) q₄ - Perdas de calor associadas à combustão incompleta mecânica (0,15 val)

De acordo com a tabela o valor das perdas de calor associadas à combustão incompleta mecânica toma o valor q₄ = 2,5%

t) q₅ - Perdas de calor associadas à combustão incompleta química (0,15 val)

$$P_{CO} = \frac{k_2 \cdot CO \cdot [1 - 0,01 \cdot (P_{cv} + P_{cf})]}{CO + CO_2}$$

$$q_5 = 0 \%$$

u) q₆ - Perdas de calor ao meio ambiente (0,15 val)

Atendendo o facto de a caldeira ser flamotubular e os valores variarem de 1,5 a 2,5% toma-se o valor intermédio de 2%. Deste modo q₆ = 2 %

v) q₇ - Perdas associadas às purgas (0,15 val)

$$q_7 = 0 \text{ [%]}$$

w) O rendimento térmico calcula-se de: (1,15 val)

$$\eta_v = 100 \frac{Q_1}{Q_{disp}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7)$$

$$\eta_v = 100 - \sum q_{perdas} = 88,13\%$$

x) O consumo de combustível determina-se de: (1,0 val)

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

$$B = \frac{4000(2795,5 - 104,9)}{0,881 \cdot 65482,38} = 186,56 \left[\frac{m^3}{h} \right] \text{ ou } 0,052 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

y) O calor perdido determina-se de: (1,2 val)

$$Q_{perd} = B \cdot Q_{disp} \cdot (1 - \eta_b)$$

$$Q_{perd} = 0,052 \cdot 65482,38 \cdot (1 - 0,881) = 405,204 \text{ [kW]}$$

Bom Trabalho!

Eng^o Vicente Chirime &

Prof. Doutor Eng^o Jorge Nhambiu