



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE MECÂNICA**

Instalações Térmicas

1º Teste – Correção

120 minutos

29 de Agosto de 2013

**Pergunta 1 (2.0 valor)**

Compare a temperatura obtida de uma mistura ar-combustível estequiométrica e pobre (controlada) e comente.

A temperatura obtida de uma mistura pobre controlada é maior que a obtida da mistura estequiométrica, pois, para se garantir a combustão completa recorre-se a uma quantidade adicional de ar além do estequiométrico, garantindo desse modo que as moléculas de combustível encontrem o número apropriado de moléculas de oxigénio para completar a combustão. A2-S22.

Se utilizar-se somente o "ar teórico", há grande probabilidade do combustível não queimar totalmente (haverá formação de CO ao invés de CO<sub>2</sub>) e conseqüentemente a quantidade de calor libertada será menor. A2-S19.

**Pergunta 2 (1.5 valor)**

Diga quais as vantagens do pré-aquecimento do ar nos fornos e geradores de vapor.

Além da vantagem do aumento de rendimento térmico por diminuição das perdas nos gases de exaustão, o ar pré-aquecido melhora o funcionamento e rendimento dos queimadores ou da fornalha. O ar pré-aquecido aumenta a estabilidade de chama, a temperatura interna da câmara de combustão, aumentando portanto a troca de calor por radiação, permitindo a utilização de menor excesso de ar..

**Pergunta 3 (3.0 valor)**

A velocidade na boca de um queimador de duas vias que funciona com um combustível gasoso com poder calorífico de 5400 kJ/m<sup>3</sup> é de 40 m/s. Determine o caudal do combustível que passa pelo queimador, sabendo que o diâmetro do queimador deve ser o mínimo admissível.

Dados:

$$P_{CI} = 5400 \text{ kJ} / \text{m}^3$$

$$v = 40 \text{ m} / \text{s}$$

Da tabela dos diâmetros normalizados lê-se:

d <sub>q</sub>	D	D <sub>1</sub>	d <sub>t</sub> (")	h	h <sub>1</sub>	Massa (kg)	d <sub>q</sub>	D	D <sub>1</sub>	d <sub>t</sub> (")	h	h <sub>1</sub>	Massa (kg)
15	60	25	½	220	195	5,10	65	140	70	¾	700	600	33,5
18	60	30	½	250	225	5,30	75	140	80	¾	800	700	35,2
21	60	30	½	275	250	5,60	86	220	90	1	960	185	58,7
24	80	35	½	300	260	8,80	100	260	100	1	1095	255	81,0
28	80	40	½	335	295	9,00	116	200	115	1¼	1240	290	107,0
32	80	40	½	375	335	9,80	134	350	130	1¼	1420	380	151,0
37	100	45	½	440	385	14,30	154	410	145	1½	1615	435	216,0
42	100	50	½	490	435	14,80	178	470	165	1½	1840	550	240,0
48	120	55	½	545	475	21,00	205	490	190	2	2130	640	342,0
56	120	60	¾	625	555	26,00	235	510	215	2	2400	805	401,0

$$D_{\min} = 15 \text{ mm} = d_c$$

O caudal de combustível determina-se de:

$$\dot{B} = A \cdot v = \frac{\pi d_c^2}{4} v \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\dot{B} = \frac{3,14 \cdot 0,015^2}{4} \cdot 40 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\dot{B} = 0,007 \text{ m}^3 / \text{s}$$

#### Pergunta 4 (3.5 valor)

Determine os volumes teóricos dos produtos de combustão e o volume de ar necessário para a combustão de um combustível gasoso que na sua queima produz um volume de gases de combustão de  $13,97 \text{ m}^3 / \text{m}^3_{\text{Comb}}$ . O coeficiente de excesso de ar é de 1,2 e as fracções volúmicas dos gases de combustão são:

$$r_{RO_2} = 0,096; \quad r_{N_2} = 0,720; \quad r_{H_2O} = 0,152; \quad r_{O_2} = 0,032$$

Dados:

$$V_g = 13,97 \text{ m}^3 / \text{m}^3_{\text{comb}}$$

$$r_{RO_2} = 0,096$$

$$r_{N_2} = 0,720$$

$$r_{H_2O} = 0,152$$

$$r_{O_2} = 0,032$$



a) Determina-se o volume real dos gases de escape

$$V_{RO_2} = r_{RO_2} \cdot V_g = 0,096 \cdot 13,97 = 1,341 \text{ m}^3 / \text{m}_{comb}^3$$

$$V_{N_2} = r_{N_2} \cdot V_g = 0,72 \cdot 13,97 = 10,058 \text{ m}^3 / \text{m}_{comb}^3$$

$$V_{H_2O} = r_{H_2O} \cdot V_g = 0,152 \cdot 13,97 = 2,123 \text{ m}^3 / \text{m}_{comb}^3$$

$$V_{O_2} = r_{O_2} \cdot V_g = 0,032 \cdot 13,97 = 0,447 \text{ m}^3 / \text{m}_{comb}^3$$

b) determina-se o volume teórico de ar

$$V_{O_2} = 0,21(\alpha - 1) \cdot V_{ar}^0$$

$$V_{ar}^0 = \frac{V_{O_2}}{0,21(\alpha - 1)}$$

$$V_{ar}^0 = \frac{0,447}{0,21(1,2 - 1)} = 10,64 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

c) calculam-se os volumes teóricos dos gases.

Gases Biatómicos

$$V_{R_2} = V_{N_2}^0 + (\alpha - 1) \cdot V_{ar}^0 \cdot 0,79$$

$$V_{N_2}^0 = V_{R_2} - (\alpha - 1) \cdot V_{ar}^0 \cdot 0,79$$

$$V_{N_2}^0 = 10,058 - (1,2 - 1) \cdot 10,64 \cdot 0,79 = 8,38 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

Gases Triatómicos

$$V_{RO_2}^0 = V_{RO_2} = 0,135 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

De água

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161(\alpha - 1) \cdot V_{ar}^0$$

$$V_{H_2O}^0 = V_{H_2O} - 0,0161(\alpha - 1) \cdot V_{ar}^0$$

$$V_{H_2O}^0 = 2,123 - 0,0161(1,2 - 1) \cdot 10,64 = 2,09 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

### Pergunta 5 (5 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 16 mbar, a potência da fornalha é de 6500 kW e o seu rendimento térmico de 85%. Fazer também a seleção da válvula de gás.

A composição do combustível e massa de trabalho apresenta-se a seguir:

Hidrogénio H<sub>2</sub> 3,5%

Monóxido de carbono CO 4%

Ácido Sulfídrico H<sub>2</sub>S 3%

Metano CH<sub>4</sub> 65%

Etano C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 1%

Propano C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 2%

Etileno C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 3%

Butano C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> 1%

Pentano C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> 1%

Propileno C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> 3%

Ciclobutano C<sub>4</sub>H<sub>8</sub> 3%

Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub> 4,49%

Nitrogénio N<sub>2</sub> 4%

Oxigénio O<sub>2</sub> 2%

Cinzas 0%

Humidade 0,01%

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

$$Q_i^j = 108,3 \cdot 3,5 + 126,8 \cdot 4 + 234,6 \cdot 3 + 359,3 \cdot 65 \\ + 639,5 \cdot 1 + 915,4 \cdot 2 + 592,5 \cdot 3 + 1190,2 \cdot 1 \\ + 1465,4 \cdot 1 + 862,7 \cdot 3 + 1138,7 \cdot 3 = 38104,95 \quad \left[ \text{kJ/m}^3_{comb} \right]$$

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

$$C_{queim} = \frac{6500}{0,85} = 7647,06 [kW]$$

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



$$\dot{B}_{comb} = \frac{7647,06 \cdot 3,6}{38,104} = 722,48 \left[ \frac{m^3 N}{h} \right]$$

O queimador escolhido é o GP-700M

Como o valor da pressão de entrada de gás é de 60 mbar, a contrapressão da fornalha de 16 mbar, a capacidade requerida do queimador de 7647,06 kW, então a pressão efectiva é de 60 mbar - 16 mbar = 44 mbar. A válvula escolhida é a DMV 125

### Pergunta 6 (5 valores)

Calcular a entalpia dos gases de escape a temperatura de 1500 °C para um combustível líquido com a seguinte composição, dada em massa de combustível: Carbono 60%, Hidrogénio 13%, Nitrogénio 6%, Oxigénio 16%, Enxofre 5%, Cinzas 2% e Humidade de 2% e com excesso de ar de 20%

$$C^t = C^c \frac{100 - (A^t + W^t)}{100} = 57,6\%$$

$$H^t = H^c \frac{100 - (A^t + W^t)}{100} = 12,48\%$$

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

$$O^t = O^c \frac{100 - (A^t + W^t)}{100} = 15,36\%$$

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

$$A^t = 2\%$$

$$W^t = 2\%$$

### Determinação do Volume Teórico do Ar

A quantidade de ar seco teórico necessário para a combustão completa (sob  $\alpha = 1$ ), para um 1 kg de combustível sólido, o volume teórico de ar é:

$$V_{ar}^o = 0,0889 \cdot (C^r + 0,75 \cdot S_v^r) + 0,265 \cdot H^r - 0,0333 \cdot O^r = 8,076 \text{ [m}^3\text{N/kg}_{comb}]$$

Volumes teóricos dos produtos de combustão

1. Volume teórico dos gases biatómicos

$$V_{R_2}^o = 0,79 \cdot V_{ar}^o + 0,008 \cdot N^r = 6,426 \text{ [m}^3\text{N/kg}_{comb}]$$

2. Volume teórico do vapor de água

$$V_{H_2O}^o = 0,1116 \cdot H^r + 0,0124 \cdot W^r + 0,0161 \cdot V_{ar}^o = 1,548 \text{ [m}^3\text{N/kg}_{comb}]$$

3. Volume dos gases triatómicos

$$V_{R_{O_2}} = 1,867 \cdot (C^r + 0,375 \cdot S_v^r) / 100 = 1,109 \text{ [m}^3\text{N/kg}_{\text{comb}}\text{]}$$

Volumes reais dos produtos de combustão

4. Volume de oxigénio excedente

$$V_{O_2} = (\alpha - 1) \cdot 0,21 \cdot V_{ar}^o = 0,339 \text{ [m}^3\text{N/kg}_{\text{comb}}\text{]}$$

5. Volume real dos gases biatómicos

$$V_{R_2} = V_{N_2}^o + (\alpha - 1) \cdot V_{ar}^o = 1,109 \text{ [m}^3\text{N/kg}_{\text{comb}}\text{]}$$

6. Volume real do vapor de água

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^o + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_{ar}^o = 1,574 \text{ [m}^3\text{N/kg}_{\text{comb}}\text{]}$$

7. Volume dos gases de combustão

$$V_g = V_{R_{O_2}} + V_{R_2} + V_{H_2O} + V_{O_2} = 10,724 \text{ [m}^3\text{N/kg}_{\text{comb}}\text{]}$$

Fracção volúmica dos gases triatómicos secos nos gases de combustão

$$r_{R_{O_2}} = \frac{V_{R_{O_2}}}{V_g} = 0,103$$

Fracção volúmica do vapor de água nos gases de combustão

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_g} = 0,147$$

Fracção volúmica dos gases biatómicos secos nos gases de combustão

$$r_{R_2} = \frac{V_{R_2}}{V_g} = 0,718$$

Fracção volumétrica de oxigénio nos gases de combustão

$$r_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_g} = 0,032$$

Fracção Somatória

$$r_s = r_{H_2O} + r_{R_{O_2}} + r_{R_2} + r_{O_2} = 1$$

### Cálculo da Entalpia dos gases de combustão

entalpia somatoria dos gases (produtos) de combustão

$$I_g = I_{R_{O_2}} + I_{R_2} + I_{O_2} + I_{H_2O} = 375,588 + 1552,128 + 72,318 + 411,782 = 2339,498 \text{ [kJ/m}^3\text{]}$$

Bom Trabalho!

Eng<sup>o</sup> Vicente Chirime & Prof. Doutor Eng<sup>o</sup> Jorge Nhambiu