



Pergunta 1 (5,0 valores)

Calcule a temperatura calorimétrica de um combustível gasoso com a composição:

Hidrogénio $H_2=5$

Monóxido De Carbono $CO=9$

Acido sulfídrico $H_2S=2$

Metano $CH_4=28$

Etano $C_2H_6=20$

Propano $C_3H_8=22$

Etileno $C_2H_4=5$

Butano $C_4H_{10}=1$

Pentano $C_5H_{12}=0$

Propileno $C_3H_6=5$

Ciclobutano $C_4H_8=7$

Dióxido De Carbono $CO_2=0$

Nitrogénio $N_2=0$

Oxigénio $O_2=2$

Cinzas=0

Humidade=0

Sabendo ainda que o coeficiente de excesso de ar da queima é 1,3 e o calor específico dos produtos de combustão é de $1,45 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$.

Resolução

Volume Teórico De Ar

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

$$V_{ar}^o = 15,4 \left[\frac{\text{m}^3 N}{\text{m}^3_{\text{comb}}} \right]$$

Volume Teórico dos gases Biatómicos $[\text{m}^3/\text{m}^3]$

$$V_{RO}^o = 0,79 \cdot V_{ar}^o + 0,01 \cdot N_2 \left[\frac{\text{m}^3 N}{\text{m}^3_{\text{comb}}} \right]$$

$$V_{RO}^o = 12,16 \left[\frac{\text{m}^3 N}{\text{m}^3_{\text{comb}}} \right]$$

Volume Teórico dos gases Triatómicos $[\text{m}^3/\text{m}^3]$

$$V_{RO_2}^o = 0,01 \cdot \left[CO_2 + CO + H_2S + \sum (m C_m H_n) \right] \left[\frac{\text{m}^3 N}{\text{m}^3_{\text{comb}}} \right]$$

$$V_{RO_2}^o = 1,98 \left[\frac{\text{m}^3 N}{\text{m}^3_{\text{comb}}} \right]$$

Volume Teórico de água $[\text{m}^3/\text{m}^3]$

$$V_{H_2O}^o = 0,01 \cdot \left\{ H_2S + H_2 + \sum \left[\left(\frac{n}{2} \right) C_m H_n \right] + 0,0124 \cdot W \right\} + 0,0161 \cdot V_{ar}^o \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

$$V_{H_2O}^o = 2,89 \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

Volume real dos gases Biatômicos [m^3/m^3]

$$V_{R_2} = V_{N_2}^o + (\alpha - 1) \cdot V_{ar}^o \cdot 0,79 \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

$$V_{R_2} = 15,81 \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

Volume real dos gases Triatómicos [m^3/m^3]

$$V_{R_{O_2}} = 0,01 \cdot \left[CO_2 + CO + H_2S + \sum (m C_m H_n) \right] \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

$$V_{R_{O_2}} = 1,98 \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

Volume real de água [m^3/m^3]

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

$$V_{H_2O} = 2,96 \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

Volume do oxigénio excedente [m^3/m^3]

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

$$V_{O_2} = 0,97 \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

Volume dos Gases de Combustão [$m^3 N/kg_{comb}$]

$$V_g = V_{R_{O_2}} + V_{R_2} + V_{H_2O} + (\alpha - 1) V_{ar}^o \cdot 0,21$$

$$V_g = 21,73 \left[\frac{m^3 N}{m^3_{comb}} \right]$$

O Poder Calorífico Inferior calcula-se de:

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

$$Q_i^t = 61578 \left[kJ/m^3_{comb} \right]$$

A temperatura calorimétrica determina-se de.

$$T_t = Q_w^t / V_{pc} \cdot c$$

$$T_t = \frac{Q_w^t}{V_{pc} \cdot c}$$

$$T_t = \frac{61578}{21,73 \cdot 1,45} = 1955 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Pergunta 2 (5,0 valores)

Determine o volume da carga cuja temperatura inicial é de 30 °C com superfície de radiação de 1,8 m², que está sendo tratada num forno cuja emissividade do espaço de trabalho é de 0,62 e o consumo de combustível de 4 kg/s.

| | | | |
|----|---|------|---------------------------------|
| 1 | Temperatura da carga após 120 segundos | 450 | °C |
| 2 | Calor específico da carga | 0,78 | J/kg K |
| 3 | Massa específica da carga | 7800 | kg/m ³ |
| 4 | Tempo de permanência da carga | 120 | segundos |
| 5 | Volume dos gases de escape | 8 | m ³ /kg |
| 6 | Calor específico dos gases | 1,5 | J/m ³ ·°C |
| 7 | Temperatura dos gases de combustão | 1780 | °C |
| 8 | Temperatura de saída dos gases | 387 | °C |
| 9 | Rendimento térmico da câmara de combustão | 0,8 | |
| 10 | Coeficiente de Radiação do corpo negro | 5,67 | W/m ² K ⁴ |
| 11 | Coeficiente de Poluição da superfície | 0,6 | |
| 12 | Coeficiente que toma em conta a convecção | 1,1 | |

Temperatura media no forno determina-se de:

$$T_f = \frac{T_{comb} + T_{sg}}{2} = \frac{2053 + 660,2}{2} = 1357 \text{ K}$$

Temperatura na superfície da carga determina-se da igualdade:

$$\beta_o C_o \varepsilon_f H_r \xi \left[\left(\frac{T_f}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{carga}}{100} \right)^4 \right]_{med} = \dot{B} V_g C_{gas} \eta_f (t_{comb} - t_{sg})$$

$$1,1 \cdot 5,67 \cdot 0,62 \cdot 1,8 \cdot 0,6 \left[\left(\frac{1357}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{carga}}{100} \right)^4 \right] = 4 \cdot 8 \cdot 1,5 \cdot 0,8 (2053 - 660,2)$$

$$T_{carga} = 931,6^\circ \text{C ou } 1205 \text{ K}$$

A temperatura inicial da carga determina-se da expressão:

$$\frac{t_{(\tau)} - t_{carga}}{t_{inic} - t_{carga}} = \exp \left(- \frac{B V_g C_g \eta_f}{\rho V C} \right) \tau$$

$$\frac{450 - 931,6}{30 - 931,6} = \exp \left(- \frac{481,50,8}{7800 \cdot 0,78} \right) 120$$

$$V = 1,208 [m^3]$$

Pergunta 3 (5,0 valores)

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 $14,5 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{Comb}}$. O coeficiente de excesso de ar é de 1,3 e as frações volúmicas dos gases de combustão são:

$$r_{\text{RO}_2} = 0,099;$$

$$r_{\text{N}_2} = 0,701;$$

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = 0,150;$$

$$r_{\text{O}_2} = 0,050.$$

Dados:

$$V_g = 14,5 \text{ m}^3 / \text{m}^3_{\text{comb}}$$

$$r_{\text{RO}_2} = 0,099$$

$$r_{\text{N}_2} = 0,701$$

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = 0,150$$

$$r_{\text{O}_2} = 0,050$$

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

$$V_{\text{RO}_2} = r_{\text{RO}_2} \cdot V_g = 0,099 \cdot 14,50 = 1,436 \text{ m}^3 / \text{m}^3_{\text{comb}}$$

$$V_{\text{N}_2} = r_{\text{N}_2} \cdot V_g = 0,701 \cdot 14,5 = 10,165 \text{ m}^3 / \text{m}^3_{\text{comb}}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = r_{\text{H}_2\text{O}} \cdot V_g = 0,150 \cdot 14,5 = 2,175 \text{ m}^3 / \text{m}^3_{\text{comb}}$$

$$V_{\text{O}_2} = r_{\text{O}_2} \cdot V_g = 0,050 \cdot 14,5 = 0,725 \text{ m}^3 / \text{m}^3_{\text{comb}}$$

b) determina-se o volume teórico de ar

$$V_{\text{O}_2} = 0,21(\alpha - 1) \cdot V_{\text{ar}}^0$$

$$V_{\text{ar}}^0 = \frac{V_{\text{O}_2}}{0,21(\alpha - 1)}$$

$$V_{\text{ar}}^0 = \frac{0,725}{0,21(1,3 - 1)} = 11,51 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

c) calculam-se os volumes teóricos dos gases.

Gases Biatômicos

$$V_{\text{R}_2} = V_{\text{N}_2}^0 + (\alpha - 1) \cdot V_{\text{ar}}^0 \cdot 0,79$$

$$V_{\text{N}_2}^0 = V_{\text{R}_2} - (\alpha - 1) \cdot V_{\text{ar}}^0 \cdot 0,79$$

$$V_{\text{N}_2}^0 = 10,16 - (1,3 - 1) \cdot 11,51 \cdot 0,79 = 7,437 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

Gases Triatómicos

$$V_{\text{RO}_2}^0 = V_{\text{RO}_2} = 1,436 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

De água

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

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

$$V_{H_2O}^0 = 2,175 - 0,0161(1,3 - 1) \cdot 11,51 = 2,12 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

Pergunta 4 (5,0 valores)

Calcule o calor específico dos produtos de combustão de um combustível sabendo que a temperatura calorimétrica é de 1872°C e o combustível é dado em massa seca com a seguinte composição:

| | | |
|---|-----------------|----|
| 1 | % de Carbono | 52 |
| 2 | % de Hidrogénio | 24 |
| 3 | % de Nitrogénio | 5 |
| 4 | % de Oxigénio | 10 |
| 5 | % de Enxofre | 6 |
| 6 | % de Cinzas | 3 |
| 7 | % de Humidade | 5 |

Sabendo ainda que o coeficiente de excesso de ar da queima é 1,25.

1. Massa de trabalho do combustível:

$$C^t = C^d \cdot \frac{100 - W^t}{100} = 49,40$$

$$H^t = H^d \cdot \frac{100 - W^t}{100} = 22,80$$

$$N^t = N^d \cdot \frac{100 - W^t}{100} = 4,75$$

$$O^t = O^d \cdot \frac{100 - W^t}{100} = 9,50$$

$$S^t = S^d \cdot \frac{100 - W^t}{100} = 5,7$$

$$A^t = A^d \cdot \frac{100 - W^t}{100} = 2,85$$

$$W^t = 5$$

2. Volume teórico do ar:

$$V_{arNor}^o = 0,0889 \cdot (C^t + 0,375 \cdot S^t) + 0,265 \cdot H^t - 0,0333 \cdot O^t = 10,40 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]$$

3. Volume teórico dos gases biatómicos:

$$V_{RONor}^o = 0,79 \cdot V_{ar}^o + 0,008 \cdot N^t = 8,251 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]$$

4. Volume teórico de água:

$$V_{H_2ONor}^o = 0,1116 \cdot H^t + 0,0124 \cdot W^t + 0,0161 \cdot V_{ar}^o = 2,774 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]$$

5. Volume teórico dos gases triatómicos:

$$V_{R_{O_2}Nor} = 1,867 \cdot (C^t + 0,375 \cdot S^t) / 100 = 0,962 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

6. Volume real dos gases biatómicos:

$$V_{R_2Nor} = V_{N_2}^o + (\alpha - 1) \cdot 0,79 \cdot V_{ar}^o = 10,300 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

7. Volume real de água:

$$V_{H_2ONor} = V_{H_2O}^o + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_{ar}^o = 2,815 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

8. Volume real dos gases triatómicos:

$$V_{R_{O_2}Nor} = 1,867 \cdot (C^t + 0,375 \cdot S^t) / 100 = 0,962 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

9. Volume do oxigénio excedente:

$$V_{O_2Nor} = 0,21 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_{ar}^o = 0,546 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

10. Volume dos gases de combustão:

$$V_{gNor} = V_{R_{O_2}Nor} + V_{RONor} + V_{H_2ONor} + V_{O_2Nor} = 14,63 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

11. O poder calorífico do combustível:

$$Q_w^t = 4,187 \left[81C^t + 300H^t - 26(O^t - S^t) - 6(W^t + 9H^t) \right] = 39699,0 \text{ [kJ/kg]}$$

12. O calor específico do combustível é dado por:

$$T_t = Q_w^t / V_{pc} \cdot c$$

$$c = \frac{Q_w^t}{T_t \cdot V_{pc}} = \frac{39699}{1872 \cdot 14,63} = 1,45 \text{ kJ / (m}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$$

Prof. Doutor Eng^o Jorge Nhambiu

Eng^a Isaura Tobela

Eng^o Vicente Chirime