

CAP. 9 PROPELANTES

OBJETIVO: OBTER T_0 , P_p , γ , R ,

EXEMPLOS:

- 1) ZINCO/ENXOFRE (MICROGRAIN): 67% Zn + 33% S ~~tr~~ ~~PSI~~ [pouco usado]
- 2) SALITRE/SACAROSE: 65% KNO_3 + 35% $C_{12}H_{22}O_{11}$ ~~tr~~ [muito usado ^{-em} MFE] ~~PSI~~
- 3) PÓLVORA NEGRA: 72% KNO_3 + 14% S + 14% C ~~tr~~ [ester; ^{apogee} espagum.]
muito usado ^{em} \rightarrow

4) COMPOSITOS:

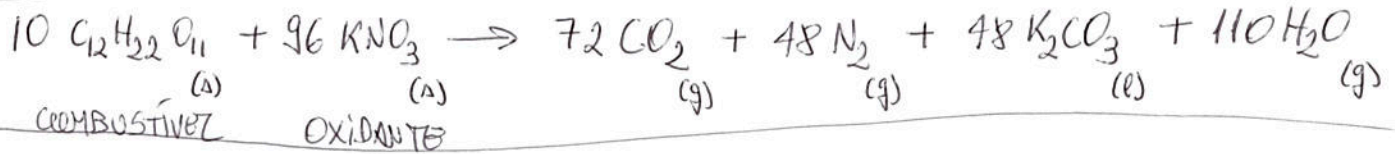
- \rightarrow COMBUSTÍVEL: Al
- \rightarrow OXIDANTE: NH_4ClO_4 , NH_4NO_3 , $KClO_4$
(Perclorato de amônia) (nitrato de amônia) (Perclorato de potássio)
- \rightarrow AGLOMERANTE: CTPB (Polibutadieno carbonilado)
PU (poliuretano)
PVC (cloreto de polivinil ~~cloro~~)

Esparçador de alta energia e MFE e foguetes de grande porte

EXEMPLO

COMPOSIÇÃO ESTEQUIOMÉTRICA SEM DISSOCIAÇÃO

FONTE: Trabalho de graduação NAKKA (1984)



M = MASSA MOLECULAR (g/mol):

H = 1.00794

O = 15.99940

C = 12.01100

N = 14.00674

K = 39.09830

$C_{12}H_{22}O_{11} = 342.30008$

$KNO_3 = 101.10324$

$CO_2 = 44.00980$

$N_2 = 28.01348$

$K_2CO_3 = 138.20580$

$H_2O = 18.01528$

REAGENTES	(ÁTOMOS)	PRODUTOS
H = 220		H = 220
O = 398	—	O = 398
C = 120	—	C = 120
N = 96	—	N = 96
K = 96		K = 96

~~M_R~~ ^{massa de 1 mol}
~~M_R~~ ^{de reagente (reagentes)} = m_R

$$m_R = 10 M_{C_{12}H_{22}O_{11}} + 96 M_{KNO_3} = 13128.91184 \text{ g/mol}$$

COMPOSIÇÃO: ^{em fração mássica} % $C_{12}H_{22}O_{11} = \frac{(10 M_{C_{12}H_{22}O_{11}})100}{m_R} = 26.0722354$

$$\% KNO_3 = \frac{(96 M_{KNO_3})100}{m_R} = 73.9277646$$

RAZÃO OXIDANTE/COMBUSTÍVEL EM MASSA (O/F):

$$O/F = \frac{\text{massa } KNO_3}{\text{massa } C_{12}H_{22}O_{11}} = \frac{96 M_{KNO_3}}{10 M_{C_{12}H_{22}O_{11}}} = 2.835497742$$

n = NÚMERO DE MOLES

REAGENTES: $n_R = 10 + 96 = 106 \text{ mol}$

PRODUTOS: $n_P = 72 + 48 + 48 + 110 = 278 \text{ mol}$

MASSA MOLECULAR DOS PRODUTOS (M_P)

~~Exercício~~

$$M_P = \frac{1}{n_P} \sum_{i=1}^N (n_i M_i) = \frac{1}{278} (72 \times M_{\text{CO}_2} + 48 M_{\text{H}_2} + 48 M_{\text{K}_2\text{CO}_3} + 110 M_{\text{H}_2\text{O}}) = 47.22630158 \text{ g/mol}$$

$$= \sum (X_i M_i)$$

CONSTANTE DA MISTURA DE GASES DOS PRODUTOS: R_g

$$R_g = 1000 \frac{R_u}{M_P} \quad [\text{J/kg.K}]$$

$$R_g = 176.0567676 \text{ J/kg.K}$$

onde $R_u = 8.314510 \text{ J/mol.K}$

FRAÇÃO MOLAR

$$X_i = \frac{n_i}{n} \quad [\text{ADIM.}]$$

~~MISTURA~~

$$X_{\text{CO}_2} = 0.259 \quad X_{\text{K}_2\text{CO}_3} = 0.173$$

$$X_{\text{H}_2} = 0.173 \quad X_{\text{H}_2\text{O}} = 0.400$$

FRAÇÃO MÁSSICA

$$Y_i = X_i \frac{M_i}{M} \quad [\text{ADIM.}]$$

MASSA ESPECÍFICA TOTAL DA MISTURA:

$$\rho = \frac{p_0}{R_g T_0} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Ex: $p_0 = 68 \times 10^5 \text{ Pa}$

$T_0 = 2052 \text{ K}$

$\rho = 18,8 \text{ kg/m}^3$

CALOR ESPECÍFICO À PRESSÃO CONSTANTE MÉDIO:

$$\bar{c}_p = \sum_{i=1}^N (Y_i c_{p,i}) \quad [\text{J/kg.K}]$$

RAZÃO DE CALORES ESPECÍFICOS

$$\gamma = \frac{\bar{c}_p}{(\bar{c}_p - R)} \quad [\text{ADIM.}]$$

ENTALPIA TOTAL DA MISTURA

$$H = \sum_{i=1}^N (n_i h_i) \quad [\text{J}]$$

onde h [J/mol]

TEMPERATURA DE COMBUSTÃO OU T ADIABÁTICA DE CHAMA

$$H_p(T_0) = H_R(T_R)$$

↑
INCÓGNITA

MASSA ESPECÍFICA DO PROPELENTE (REAGENTES) (ρ_p)TEÓRICA:

$$\rho_p = \frac{1}{\frac{Y_F}{\rho_F} + \frac{Y_O}{\rho_O}}$$

Y = fração mássica

F = combustível ($C_{12}H_{22}O_{11}$)

O = oxidante (KNO_3)

~~$$\rho_p = 1350 \text{ kg/m}^3$$~~

\Rightarrow

$$Y_F = 0.35, \quad \rho_F = 1581 \text{ kg/m}^3$$

$$Y_O = 0.65, \quad \rho_O = 2109 \text{ "}$$

$$\rho_p = 1888 \text{ kg/m}^3$$

REAL:

$$\rho_p = \frac{m_{\text{grão-propelente}}}{V_{\text{grão-propelente}}}$$

NAKKA: $\rho_p \approx 1800 \text{ kg/m}^3$
(FUNDIDO)

MARCHI: $\rho_p \approx 1300 \text{ kg/m}^3$
(ACOTONA)

RESULTADOS DO GUIPAP (COM DISSOCIAÇÃO)

[COMENTÁ-LO]
 → MAPA: NAKKA
 → DOWNLOAD ↗

$T_0 = 2052 \text{ K}$ a $p_0 \approx 68 \text{ atm}$

OUTROS PRODUTOS: KOH, CO, H₂, K, K₂H₂O₂, OH, NO, H,
 O₂, KO, KH, K₂

