

## **COMBUSTÃO:**

Combustão: é uma oxidação rápida de uma substância, acompanhada da transformação da energia química em energia molecular e de um aumento substancial da temperatura das substâncias na reação. É um fenômeno exotérmico.

Os elementos combustíveis dos combustíveis são em sua maior parte Carbono e hidrogênio. O conteúdo de enxofre, não é tomado em consideração para os cálculos de combustão.

### **Composição do ar.**

O ar atmosférico tem uma composição volumétrica de 20,99 % de oxigênio, 78,03% de nitrogênio, pouco menos de 1 % de argônio e pequenas quantidades de outros gases inertes como vapor de água, dióxido de carbono, Hélio, hidrogênio e néon.

Para os cálculos em engenharia, são usados com aproximações suficientemente exatas, incluir todos os gases inertes na composição do nitrogênio e usar a análise com a seguinte composição:

21% de Oxigênio; 79% de Nitrogênio em volume.

Assim pois, em 100 kmol de ar, existe aproximadamente 21 kmol de Oxigênio e 79 kmol de Nitrogênio ou seja:

$$79/21 = 3,76 \text{ kmol de N}_2 / \text{kmol O}_2 \quad \text{ou} \quad 3,76 \text{ m}^3 \text{ de N}_2 / \text{m}^3 \text{ de O}_2.$$

Este número deve ser memorizado para os processos de combustão.

### **Equações Químicas**

Ar estequiométrico(ar ideal): É a quantidade exata necessária de ar, que fornece o oxigênio preciso para a combustão teórica completa.

Uma reação estequiométrica compreende justo a quantidade exata de cada um dos reativos para que todos os que intervenham reajam.

Os engenheiros denotam também uma equação estequiométrica como uma equação com ar ideal, ou ar ao 100 %, indicando-se um excesso ou uma deficiência por outro número de porcentagens. Ex ar ao 150% ( é uma equação com 50 % de ar em excesso) e ar ao 80% significa uma equação com 20% de ar em defeito.

As substâncias de uma mistura antes da reação chamam-se reagentes. Depois da reação chamam-se produtos.

### **Pesos atômicos:**

Oxigênio – 16 kg /kmol

Nitrogênio – 12 kg / kmol

Hidrogênio – 1 kg / kmol

Carbono – 14 kg / kmol

## Porcentagens dos elementos que compõem um combustível:

Sim é conhecido a fórmula química do hidrocarboneto (combustível), pode-se calcular a porcentagem de carbono e de hidrogênio no combustível.

Assim pois 1 kmol de  $C_8H_{18}$  tem uma massa de :

$$(8 \text{ kmol} \times 12 \text{ kg / kmol}) + (18 \text{ kmol} \times 1 \text{ kg/kmol}) = 114 \text{ kg.}$$

Onde:

$$8 \times 12 = 96 \text{ kg são de Carbono}$$

$$18 \times 1 = 18 \text{ kg são de Hidrogênio}$$

Então:

$$96/114 = 84,2 \% \text{ de Carbono; } 18/114 = 15,8 \% \text{ de Hidrogênio.}$$

O objetivo central de este curso de combustão é que o estudante sairá implementar as equações de combustão para ar ideal (ar ao 100 % ou equação estequiométrica), combustão com excesso (queima do combustível com porcentagem acima de 100) e combustão em defeito ( combustão com ar abaixo de 100%).

Também que os estudantes calculem a relação ar/combustível, em outras palavras quanto de ar deve ser introduzido na caldeira para queimar o combustível. Calcular o volume de ar na combustão e o volume de gases formado durante a combustão assim como os fluxos de ar e gases que devem conduzir os ventiladores de tiro forçado e induzido da caldeira.

## Formulas para cálculo:

### **Relação ar combustível**

$R_{a/c} = [(\text{peso molecular equivalente do ar}) \times (\text{número de moles dos componentes do ar})]/\text{massa de combustível.}$

$$R_{a/c} = \frac{29 \times n_a}{M_C}$$

Onde:

29 kg/kmol (peso molecular equivalente do ar)

$n_a$  - kmol ( número de moles dos componentes do ar)

$M_C$  – Massa de combustível em kg.

### **Volume de ar na reação:**

$$V_a = \frac{R \times n_a \times T_a}{P_a \times M_C} \quad \text{ou} \quad V_a = \frac{R_{a/c} \times R_a \times T_a}{P_a \times M_C} \quad (\text{m}^3 / \text{kg de combustível})$$

Onde:  $V_a$  – Volume de ar para a combustão (  $\text{m}^3/\text{kg}$  de Combustível)

$R$  – 848 (kgf – m)/(kmol – k)

$R_a$  – 29,3 (kgf – m) / (kg<sub>m</sub> – k)

$R_{a/c}$  – Relação ar/combustível (kg de ar/kg de combustível)

$n_a$  – número de moles dos componentes do ar (kmol)

$T_a$  – Temperatura absoluta do ar na combustão (k)

$P_a$  – Pressão absoluta do ar (kgf/m<sup>2</sup>).

$M_C$  – Massa de combustível em kg

### **Volume de gases gerado durante a combustão:**

$$V_p = \frac{R \times n_p \times T_p}{P_p \times M_C} \quad (\text{m}^3 / \text{kg de combustível})$$

Onde:  $V_p$  – Volume de gases formados durante a combustão por kg de combustível  $\text{m}^3/\text{kg}$  de Comb)

$R$  – 848 (kgf – m)/(kmol – k)

$n_p$  – número de moles dos componentes dos produtos (kmol)

$T_p$  – Temperatura absoluta dos gases formados na combustão (k)

$P_p$  – Pressão absoluta dos gases (kgf/m<sup>2</sup>).

$M_C$  – Massa de combustível em kg

**Fluxo dos Ventiladores de tiro Induzido** (extrai os gases de dentro da caldeira), e **fluxo do ventilador de tiro forçado** ( fornece ar pré-aquecido para o interior da caldeira).

$$G_{VTF} = V_a^* \times m_C^* \quad G_{VTI} = V_p^* \times m_C^*$$

Onde

$G_{VTF}$  – Fluxo do Ventilador de Tiro Forçado ( $\text{m}^3 / \text{s}$  ;  $\text{m}^3 / \text{hr}$ );

$G_{VTI}$  - Fluxo do Ventilador de Tiro Induzido( $\text{m}^3 / \text{s}$  ;  $\text{m}^3 / \text{hr}$ );

$V_a$  – Volume de ar por kg de combustível ( $\text{m}^3 / \text{kg}$  de combust);

$V_p$  – Volume de gases formado por kg de combustível(  $\text{m}^3 / \text{kg}$  de combustível).

$m_C$  – Fluxo de combustível queimado na caldeira (  $\text{m}^3 / \text{s}$  ;  $\text{m}^3 / \text{hr}$ ).

### **Fração Volumétrica dos produtos:**

$$\%B_x = \frac{N_x}{\sum N_p}$$

Onde:  $B_x$  – Fração volumétrica di produto X

$N_x$  – Numero de moles do produto X

$\sum N_p$  – Suma total do numero de moles de cada uno dos produtos formados na combustão(só em estado gasoso).

### **Exercícios**

Num centro de pesquisas de combustão estão sendo testados os siguientes combustíveis

$C_8 H_{18}$  ;  $C_{12} H_{26}$  ;  $C_2 H_6$  ;  $CH_4$  ;  $C_4 H_{10}$ . Para a queima com 50% de ar em excesso e para 10% em defeito. Determine para cada uns destes combustíveis, tanto para o excesso como para o defeito

- Relação ar/combustível
- Volume de ar necessário para a combustão em  $m^3 / kg$  de combustível.
- Fluxo do ventilador de tiro forçado em  $m^3/hr$ ;
- Volume de gases formado durante a combustão em  $m^3 / kg$  de combustível
- Fluxo do ventilador de tiro Induzido em  $m^3/hr$ ;
- Fração volumétrica dos produtos em %.

O fluxo de combustível é de 12 kg/s. O ar entra na caldeira a temperatura de 45°C e a pressão de 2,6 kgf/cm<sup>2</sup>. Os gases saem com a temperatura de 260°C e com pressão de 1,8 kgf/cm<sup>2</sup>.

$R = 848 \text{ kgf-m/kmol-k}$

$10^4 \text{ cm}^2/\text{m}^2$

Peso molecular equivalente do ar 29 kg/kmol

Pesos atômicos: C=12, H=1; O=16; N=14

$TK = T^\circ C + 273$ .