

PROBLEMA N° 1 (Valor: 35 ptos)

A una cámara de combustión isobárica operando a 100 kPa entran un combustible gaseoso compuesto de 60% etano (C_2H_6) y 40% propano (C_3H_8) en volumen a 400 K y aire a 500 K . En el proceso se usa 150% de aire teórico. El 80% del carbono se quema hasta CO_2 y el remanente se oxida a CO . Asuma que todos los componentes tienen comportamiento de gas ideal, y que los calores específicos del combustible, pueden considerarse constantes con la temperatura.

Si los productos de la combustión salen de la cámara a 1000 K , determínese:

- a) Relación aire-combustible.
- b) Temperatura de rocío de los productos.
- c) Masa de agua que se condensará por kg de combustible si la temperatura de los productos es $30 \text{ }^\circ\text{C}$.
- d) Calor transferido por $kmol$ de combustible.
- e) **ESCRIBA SUS RESULTADOS EN LA SIGUIENTE TABLA**

a) A/C	kg/kg	ptos
b) $T_{rocío}$	$^\circ\text{C}$	ptos
c) m_f/m_{comb}	kg/kg	ptos
d) $PC_{s,Comb}$	kJ/kg	ptos
e.1) $\%CO_2$	$\%$	ptos
e.2) $\%CO$	$\%$	ptos
e.3) $\%O_2$	$\%$	ptos
f) \bar{q}	$kJ/kmol$	ptos

- f) El poder calorífico superior del combustible.
- g) Los resultados que indicaría un ensayo Orsat de los productos.

Solución Problema

Datos:

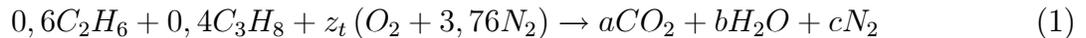
Combustible: 60% etano (C_2H_6) y 40% propano (C_3H_8) en volumen. $P_e = 100 \text{ kPa}$ y $T_e = 400 \text{ K}$

Aire atmosférico: $P_e = 100 \text{ kPa}$, $T_e = 500 \text{ K}$

Aire teórico: 150%.

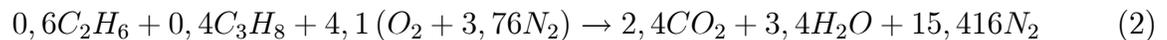
Productos: $T_s = 1000 \text{ K}$. 80% CO_2 y 20% CO

Ecuación Teórica:

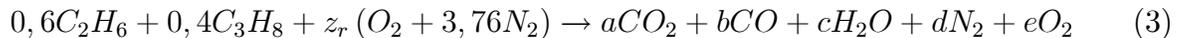


Balanceando:

C	: $0,6 \cdot 2 + 0,4 \cdot 3 = a$	$a = 2,4$
H	: $0,6 \cdot 6 + 0,4 \cdot 8 = 2b$	$b = 3,4$
O	: $2z_t = 2a + b$	$z_t = 4,1$
N_2	: $3,76z_t = c$	$c = 15,416$



Ecuación Real:

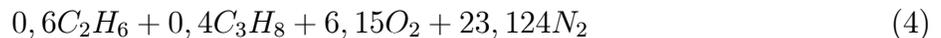


$$z_r = 1,5 \cdot z_t = 6,15 \frac{\text{kmol}_{O_2}}{\text{kmol}_{comb}}$$

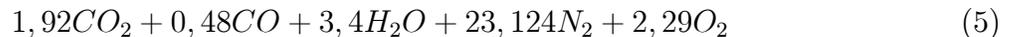
Balanceando:

C	: $a = 0,8a_t$, $b = 0,2a_t$	$a = 1,92$, $b = 0,48$
H	: $0,6 \cdot 6 + 0,4 \cdot 8 = 2c$	$c = 3,4$
N_2	: $3,76 \cdot 6,15 = d$	$d = 23,124$
O	: $2 \cdot 6,15 = 2a + b + c + 2e$	$e = 2,29$

Reactivos:



Productos:



a) Relación Aire/Combustible:

$$M_{comb} = \sum_{k=1}^n y_i M_i = 0,6(30,070)_{C_2H_6} + 0,4(44,097)_{C_3H_8} = 35,6808 \quad (6)$$

$$R_{ac} = \frac{z_r 137,8972}{M_{comb}} = \frac{6,15 \cdot 137,8972}{35,6808} = 23,76818 \quad (7)$$

b) Temperatura de rocío de los productos:

$$\begin{aligned}\phi &= 1 \\ n_v &= n_{H_2O} = c = 3,4 \\ n_{ps} &= a + b + d + e = 27,914 \\ y_v &= \frac{n_v}{n_v + n_{ps}} = \frac{3,4}{3,4 + 27,914} = 0.108577 \\ P_g &= P_v = y_v P_m = 10,8577 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$T_{\text{rocío}} = T_{\text{sat}}(10,8577 \text{ kPa}) = 47,34 \text{ }^\circ\text{C}$$

c) Masa de agua condensada si los productos están a 30 °C:

$$\begin{aligned}\phi &= 1 \\ P_v &= P_g = P_{\text{sat}}(30 \text{ }^\circ\text{C}) = 4,246 \text{ kPa} \\ y_v &= \frac{P_v}{P_m} = \frac{4,246}{100} = 0,04246 \\ n_v &= \frac{y_v n_{ps}}{1 - y_v} = 1,2377848 \\ n_f &= c - n_v = 2,1622152\end{aligned}$$

$$\frac{m_f}{m_{\text{comb}}} = \frac{n_f M_{H_2O}}{n_{\text{comb}} M_{\text{comb}}} = \frac{2,1622152 \cdot 18,015}{1 \cdot 35,6808} = 1,09168816 \text{ kg/kg}$$

d) Calor transferido por kmol de combustible (temperatura de los productos es 1000 K):

$$\bar{q} = \sum n_p (\bar{h}_p) - \sum n_r (\bar{h}_r) \quad (8)$$

PRODUCTOS	CO ₂	CO	H ₂ O	N ₂	O ₂	Σ
n_i	1,92	0,48	3,4	23,124	2,29	
h_f°	-393520	-110530	-241820	0	0	
Δh_{1000K}	33405	21686	25978	21460	22707	
$n_i h_f^\circ$	-755558,4	-53054,4	-822188	0	0	
$n_i \Delta h_{1000K}$	64137,6	10409,28	88325,2	496241,04	51999,03	
$n_i (h_f^\circ + \Delta h_{1000K})$	-691420,8	-42645,12	-733862,8	496241,04	51999,03	-919688,65

Reactivos

COMBUSTIBLE	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	Σ
$n_i = y_i$	0,6	0,4	
M_i	30,070	44,097	
$C_{p,i}$	1,7662	1,6794	
$C_{p,i}$	53,1096	74,0565	
h_f°	-84.680	-103.850	
$\Delta h_{400} = C_p (T - T_{ref})$	5417,1792	7553,763	
$h_f^\circ + \Delta h_{400K}$	-79262,82	-96296,237	
$n_i (h_f^\circ + \Delta h_{400K})$	-47557,692	-38518,485	-86076,177

AIRE	N_2	O_2	Σ
n_i	23,124	6,15	
h_f°	0	0	
Δh_{500K}	5912	6088	
$h_f^\circ + \Delta h_{500K}$	5912	6088	
$n_i (h_f^\circ + \Delta h_{500K})$	136709,09	37441,20	174150,29

Calor transferido:

$$\bar{q} = -919688,65 - (-86076,177 + 174150,29)$$

$$\bar{q} = -1007762,763 \text{ kJ/kmol}_{comb}$$

e) Poder calorífico superior:

$$\bar{q} = \sum n_p \bar{h}_p - \sum n_r \bar{h}_r$$

$$\bar{q} = a \cdot \bar{h}_{f,CO_2}^\circ + b \cdot \bar{h}_{f,CO}^\circ + c \cdot \bar{h}_{f,H_2O,l}^\circ - 0,6 \bar{h}_{f,C_2H_6}^\circ - 0,4 \bar{h}_{f,C_3H_8}^\circ$$

$$\bar{q}_p = 1,92(-393520) + 0,48(-110530) + 3,4(-285830) = -1780434,8$$

$$\bar{q}_r = 0,6(-84680) + 0,4(-103850) = -92348$$

$$\bar{q} = \bar{q}_p - \bar{q}_r = 1688086,8$$

$$PC_s = -\frac{q}{M_{comb}} = \frac{1688086,8}{35,6808} = 47310,789 \text{ kJ/kg}$$

f) Ensayo Orsat de los productos:

$$\%CO_2 = \frac{a}{n_{ps}} 100 = \frac{1,92}{27,914} 100 = 6,88\% \quad (9)$$

$$\%CO = \frac{b}{n_{ps}} 100 = \frac{0,48}{27,914} 100 = 1,72\% \quad (10)$$

$$\%O_2 = \frac{e}{n_{ps}} 100 = \frac{2,29}{27,914} 100 = 8,20\% \quad (11)$$