

Ejercicio 1

Un proceso industrial utiliza un fuel oil como combustible para alimentar dos procesos que requieren vapor saturado a 11bar_a (Figura 1). El proceso A consume 2000kg/h de vapor saturado, retornando al tanque de alimentación de la caldera una mezcla bifásica a 4bar_a con una calidad de 8,25%. En el proceso B se inyectan 1000kg/h de vapor saturado y no hay retorno de condensado.

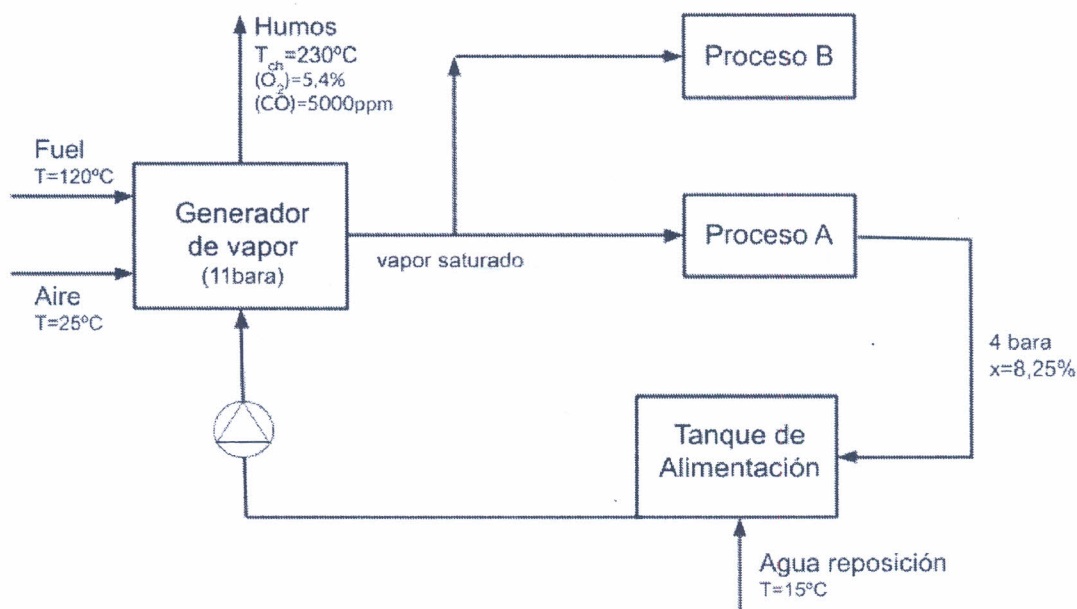
Para determinar las propiedades del fuel oil se realiza un análisis de poder calorífico dando como resultado que el Q_p^s a 25°C es de 43500 kJ/kg. Adicionalmente, a partir de la quema experimental del combustible con aire en laboratorio se obtiene el siguiente análisis de Orsat: $(O_2)=3,09\%$, $(CO_2)=11,84\%$ y $(CO)=3000\text{ppm}$.

- a) Determinar la composición elemental del combustible si se sabe que solo se compone de C y H y no contiene agua.

Si el combustible ingresa a la caldera a 120°C y a partir de un análisis de humo en la chimenea se obtiene una temperatura de 230°C y una composición de humos secos con $(O_2)=5,4\%$ y $(CO)=5000\text{ppm}$, determinar:

- b) el exceso de aire y la composición de los humos húmedos en base húmeda.
 c) la temperatura a la que ingresa el agua al generador de vapor teniendo en cuenta que el agua de reposición ingresa a 15°C. Se puede asumir que el tanque de alimentación es adiabático y despreciar el trabajo de la bomba.
 d) el consumo de combustible y el rendimiento del generador de vapor respecto al Q_p^s .

Dato: $C_{pFO}=2\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$



Ejercicio 2

Se desea evaluar una planta incineradora de residuos sólidos urbanos (RSU) esquematizada en la figura adjunta. La planta debe incinerar 950 kg/h de RSU (base total) para lo cual se utiliza propano como combustible auxiliar en un quemador que trabaja con un exceso de 40%. Por sobre la parrilla del RSU se cuenta con el ingreso de aire secundario a fin de mejorar la combustión.

Con la finalidad de mejorar el desempeño de la planta, la misma cuenta con un precalentador de aire, el cual aumenta su temperatura (aire primario y secundario) a 150°C utilizando los gases de la salida del hogar. Se asume que la combustión es completa y se obtiene una medición de (O_2) de 5,2%, con una sonda ubicada previo al precalentador de aire, cuando el consumo de propano es de 160 Nm³/h.

Se sabe que debido a las altas temperaturas del hogar las pérdidas de calor son 4500kW y que las cenizas se extraen del sistema a 1200°C.

RSU:

C=42%, H=5%; O=36%, S=2%, Cenizas=15%

H₂O=90% (b.s.)

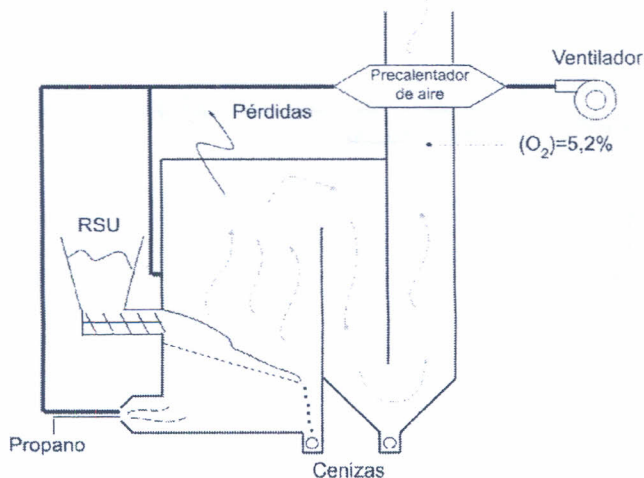
$Q_p^s = 16400 \text{ kJ/kg}_{(FS)}$

$C_{p_{Cenizas}} = 0,9 \text{ kJ/kg.K}$

- Calcular el exceso global del sistema y los flujos de aire primario y secundario.
- Determinar la temperatura de los humos justo antes del precalentador de aire.

Se estima que en algún punto de la llama se forma SO₃, a partir del equilibrio químico representado por la reacción $SO_3 \leftrightarrow SO_2 + \frac{1}{2}O_2$, a una temperatura de 1200°C con $K_p(1200^\circ C) = 23,39$

- Calcular la fracción de SO₃ (en ppm) que puede encontrarse en los humos.



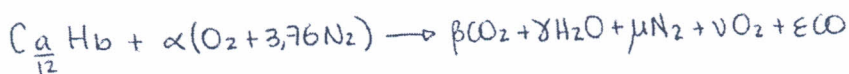
EJERCICIO 1 - Examen Julio 2022 - E1 y Combustión



- Fuel: Fuel Oil, $Q_{P\&S}^S = 43500 \text{ kJ/kg}$ → En laboratorio se obtiene de la quema con aire
 - $(O_2) = 3,09\%$
 - $(CO_2) = 11,84\%$
 - $(CO) = 3000 \text{ ppm}$
 - $\hookrightarrow 0,003$
- Dos procesos A y B / $\dot{m}_{v,A} = 2000 \text{ kg/h}$
 $\dot{m}_{v,B} = 1000 \text{ kg/h}$
 vapor saturado a $p = 11 \text{ bara}$

a) Composición elemental del fuel si tiene solo C y H, y $(H_2O) = 0$.

Comb. de 1 kg fbs en condiciones de laboratorio



$$C] \frac{a}{12} = \beta + \epsilon \quad * 0,0309 = \frac{\nu}{\beta + \mu + \nu + \epsilon}$$

$$H] b = 2\gamma$$

$$O] 2\alpha = 2\beta + \gamma + 2\nu + \epsilon \quad * 0,1184 = \frac{\beta}{\beta + \mu + \nu + \epsilon}$$

$$N] 3,76 \cdot \alpha = \mu \quad * 0,003 = \frac{\epsilon}{\beta + \mu + \nu + \epsilon}$$

$$* a + b = 1$$

8 incógnitas y 8 ecuaciones $\Rightarrow$ $a = 0,8299$
 $b = 0,1701$

$$\alpha = 0,1284$$

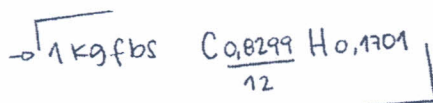
$$\beta = 0,0674$$

$$\gamma = 0,0851$$

$$\mu = 0,4829$$

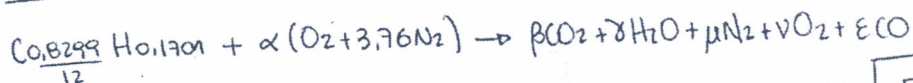
$$\nu = 0,0176$$

$$\epsilon = 0,0017$$



b) $T_{fuel} = 120^\circ C$ y en chimenea: $T_m = 230^\circ C$, $(O_2) = 5,4\%$ y $(CO) = 5000 \text{ ppm}$
 Determinar E y composición de humos en bh

Comb. de 1 kg fbs con aire



$$C] \frac{0,8299}{12} = \beta + \epsilon$$

$$H] 0,1701 = 2\gamma$$

$$O] 2\alpha = 2\beta + \gamma + 2\nu + \epsilon$$

$$N] 3,76\alpha = \mu$$

$$* 0,054 = \frac{\nu}{\beta + \mu + \nu + \epsilon} ; 0,005 = \frac{\epsilon}{\beta + \mu + \nu + \epsilon}$$

6 incog. 6 ecs $\Rightarrow$

$$\alpha = 0,1452 \quad [CO_2] = 8,97\%$$

$$\beta = 0,0659 \quad [H_2O] = 11,57\%$$

$$\gamma = 0,0851 \quad [N_2] = 74,25\%$$

$$\mu = 0,5458 \quad [O_2] = 4,77\%$$

$$\nu = 0,0351 \quad [CO] = 0,44\%$$

$$\epsilon = 0,0033$$



Estado/Punto	p [bara]	T [°C]	h [kJ/kg H ₂ O]	x	$\dot{m}$ [kg/h]
1	11	129	541,8	-	3000
2	11	184,07	2780,67	1	3000
3	4	143,613	780,72	0,0825	2000
4	4	15	62,98	-	1000

$$\bullet h_3 = 0,0825 \cdot \frac{h_{f@4\text{bara}}}{2133,337 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} + \frac{h_{f@4\text{bara}}}{604,723 \text{ kJ/kg}}$$

- $h_2 = h_g @ 1 \text{ bar}$

$$\therefore h_A = h_f @ 15^\circ\text{C}$$

- $\dot{m}_4 = \dot{m}_{v,B}$, se repone lo que se pierde por el ramal del proceso B. Se puede ver haciendo el balance de masa al VC.

- En el proceso A hay una "pérdida de calor" (se pasa de T_2 a T_3) que debe considerarse como una salida del VC.

B. de energia em VC de A $\rightarrow \dot{Q}_A = \underbrace{\dot{m}}_{2000 \text{ kg/h}} \cdot A \cdot (h_2 - h_3) = 3999.893,4 \text{ kJ/h}$

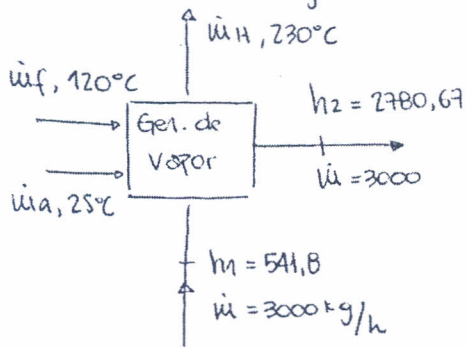
⇒ B. de energía al VC considerado

$$\dot{m}_2 \cdot h_2 + \dot{m}_4 \cdot h_4 = \dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{Q}_A + \dot{m}_{v,8}'' \cdot h_z \rightarrow \overline{h}_1 = 541,48 \text{ kJ/kg}$$

$$\rightarrow T_1 / h_f @ T_1 = h_1$$

d) consumo de combustible y rendimiento del generador de vapor ref. al Q_p

$$* Q_{p,FO} = 2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$



Balace de energia el generador con origen 25°C

$$\dot{m}_f \cdot (Q_p^S + Q_{p,FO}(120-25)) + \dot{m}_{agua} \cdot h_1 = \dot{m}_f \cdot h_H(230^\circ\text{C}) + \dot{m}_{agua} \cdot h_2$$

$h_H(230^\circ\text{C})$

Entalpia sensible

$$\rightarrow h_{s,CO_2} = 8447,6 \text{ kJ/kmolCO}_2$$

$$\rightarrow h_{s,H_2O} = 7035,7$$

$$\rightarrow h_{s,N_2} = 6003,9$$

$$\rightarrow h_{s,O_2} = 6183,5$$

$$\rightarrow h_{s,CO} = 6024,7$$

Entalpia latente

$$\rightarrow h_{l,H_2O} = 18.2442$$

$$= 43956 \text{ kJ/kmol H}_2\text{O}$$

Entalpia quimica

$$\rightarrow h_{q,CO} = Q_{p,CO} = 283.178,82 \frac{\text{kJ}}{\text{kmolCO}}$$

$$\Rightarrow h_H = \beta \cdot h_{s,CO_2} + \delta \cdot \left(h_{s,H_2O} + h_{l,H_2O} \right) + \mu \cdot h_{s,N_2} + \nu \cdot h_{s,O_2} + \epsilon \cdot (h_{s,CO} + h_{q,CO})$$

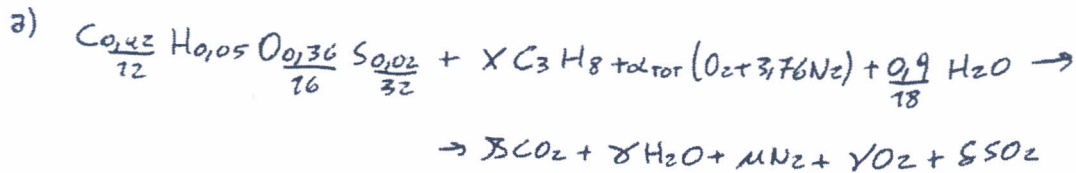
$$= 8841,54 \text{ kJ/kgf}$$

$\dot{Q}_{\text{util}}$

$$\Rightarrow \text{con el balace : } \dot{m}_{fbs} = \frac{\dot{m}_{agua} \cdot (h_2 - h_1)}{Q_p(120-25) + Q_p^S - h_H} = 192,77 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Rendimiento

$$\eta = \frac{\text{lo que obtengo}}{\text{lo que gasto}} = \frac{\dot{m}_{agua}(h_2 - h_1)}{\dot{m}_f \cdot Q_p^S} = 80,11\%$$



$\dot{V}_{prop} = \frac{\dot{m}_{prop} \cdot R \cdot 273,15 K}{101,325 Pa} \Rightarrow \boxed{\dot{V}_{prop} = 7,137 \frac{Kmol CH_4}{h}}$

$\dot{m}_{ESU} = 950 \text{ Kg/h} = \dot{m}_{RSU_{bs}} + \dot{m}_{RSU_{H_2O}} = 1,9 \text{ mRSU}_{bs} \Rightarrow \boxed{\dot{m}_{RSU_{bs}} = 500 \text{ Kg FS/h}}$

$X = \frac{\dot{V}_{prop}}{\dot{m}_{ESU}} \Rightarrow \boxed{X = 0,0143 \frac{Kmol C_3 H_8}{Kg FS}}$

balance especies:

C] $\frac{0,42}{12} + 3X = B$

H] $0,05 + 8X + 2 \cdot \frac{0,9}{18} = 2\gamma$

O] $\frac{0,36}{16} + \frac{0,9}{18} + 2\alpha = 2B + \gamma + \nu + 2\delta$

N] $3,76\alpha = \mu$

S] $\frac{0,02}{32} = \delta$

O_{rsot} $\Rightarrow 0,052 = \frac{\nu}{B + \delta + \mu + \delta}$

$B = 0,0778 \frac{Kmol CO_2}{Kg FS}$

$\gamma = 0,132 \frac{Kmol H_2 O}{Kg FS}$

$\mu = 0,533 \frac{Kmol N_2}{Kg FS}$

$\nu = 0,0335 \frac{Kmol O_2}{Kg FS}$

$\delta = 0,000625 \frac{Kmol SO_2}{Kg FS}$

$\alpha = 0,1413 \frac{Kmol O_{2+3,76 N_2}}{Kg FS}$

$\alpha_q = 0,102245 \frac{Kmol O_{2+3,76 N_2}}{Kg FS}$

$E = \frac{\alpha - \alpha_q}{\alpha_q} \Rightarrow \boxed{E = 31\%}$

$\dot{m}_{aire total} = \dot{m}_{FS} \cdot 138\alpha \Rightarrow \boxed{\dot{m}_{aire total} = 9783,7 \text{ Kg/h}}$

combustión propano



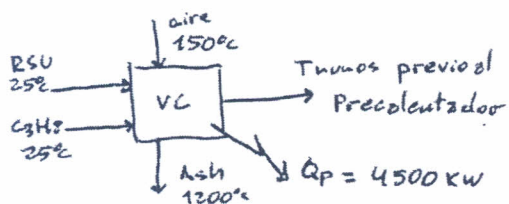
$\alpha_q = 5 \frac{Kmol O_2}{Kmol C_3 H_8} \Rightarrow \alpha' = 7 \frac{Kmol O_2}{Kmol C_3 H_8}$

$E' = 40\% \Rightarrow$

$\dot{m}_{aire 1} = \dot{V}_{prop} \cdot 138\alpha' \Rightarrow \boxed{\dot{m}_{aire 1} = 6844,4 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{FS}}}$

$\dot{m}_{aire 2} = \dot{m}_{aire total} - \dot{m}_{aire 1} \Rightarrow \boxed{\dot{m}_{aire 2} = 2889,3 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{FS}}}$

b) Thomos antes del precalentador de aire



origen 25°C
H2O líquido

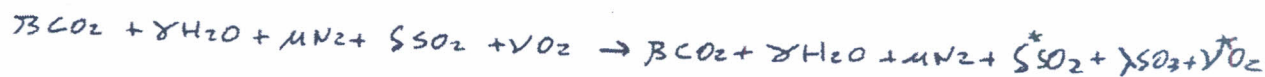


$$\begin{aligned} \dot{m}_{RSU} Q_{P_{RSU}}^s + \dot{m}_{C_3H_8} Q_{P_{C_3H_8}}^s + \dot{m}_{aire} h_{aire}(150^\circ C) + \dot{m}_{H_2O} (h_g + h_s + h_f) + \dot{m}_{ASH} \cdot C_p (T_{in} - T_{ref}) = \\ = \dot{m}_{RSU} \cdot h_H (T_H) + \dot{Q}_{perdido} + \dot{m}_{ASH} \cdot C_{pASH} (1200 - T_{ref}) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow h_H (T_H) = 17991 \text{ KJ/KgFS}$$

$$h_H = B h_{HCO_2} + \gamma (h_{H_2O} + P M_{H_2O} - h_{fg}(25^\circ C)) + \mu h_{H_2} + \nu h_{SO_2} + S h_{H_2SO_4}$$

iterando $\Rightarrow T_H = 507^\circ C$



$$S^* = S - \lambda$$

$$\nu^* = \nu - 0,5 \lambda$$

$$K_P = \frac{X_{SO_2} (X_{O_2})^{1/2}}{X_{SO_3}} = 23,39$$

$$X_{SO_2} = \frac{S^*}{B + \gamma + \mu + S^* + \lambda + \nu^*}$$

$$X_{SO_3} = \frac{\lambda}{B + \gamma + \mu + S^* + \lambda + \nu^*}$$

$$X_{O_2} = \frac{\nu^*}{B + \gamma + \mu + S^* + \lambda + \nu^*}$$

$$\Rightarrow \lambda = 0,00051 \frac{\text{kmol } SO_3}{\text{kgFS}}$$

$$S^* = 0,000544 \frac{\text{kmol } SO_2}{\text{kgFS}}$$

$$\nu^* = 0,03352 \frac{\text{kmol } O_2}{\text{kgFS}}$$

$$X_{SO_3} = 65,6 \text{ ppm}$$