

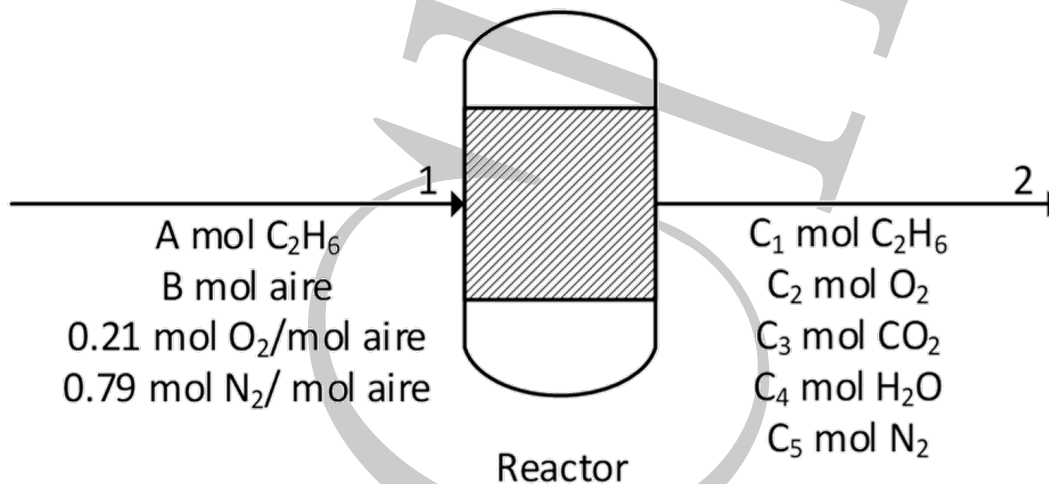
**Problema 19.** Se hace la combustión del etano alimentando  $\text{C}_2\text{H}_6$  (30.08 g/mol) y  $\text{O}_2$  (32 g/mol) en un reactor continuo para obtener  $\text{CO}_2$  (44.01 g/mol) y  $\text{H}_2\text{O}$  (18.02 g/mol). Sabiendo que se añade un exceso de 40 % de oxígeno en la forma de aire (21 % de  $\text{O}_2$  y 79 % de  $\text{N}_2$  en mol) (la masa molecular del  $\text{N}_2$  es 28.01 g/mol) y que la reacción tiene una conversión de 90 %.

- Escriba la reacción balanceada de la combustión del etano.
- Dibuje el diagrama de proceso con todas las especies en las entradas y en la salida, así como los datos pertinentes del problema.
- Presente todos los cálculos de las fracciones y flujos másicos de todos los componentes en todas las corrientes.
- Presente los resultados en una tabla de flujos (masas).

a)



b)



Como es un proceso continuo en estado estacionario reaccionante, entonces la *ecuación general de balance* en el sistema es:

- Reactivos:

$$\text{Entrada} + \text{Generación} - \text{Salida} - \text{Consumo} = \text{Acumulación}$$

$$\text{Entrada} = \text{Salida} + \text{Consumo}$$

- Productos:

$$\text{Entrada} + \text{Generación} - \text{Salida} - \text{Consumo} = \text{Acumulación}$$

$$\text{Entrada} = \text{Salida} - \text{Generación}$$

- Inertes:

$$\text{Entrada} + \text{Generación} - \text{Salida} - \text{Consumo} = \text{Acumulación}$$

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

c) y d) Sea  $\xi$  el grado de avance de la reacción.

Ecuaciones independientes (7):

- Balance de  $\text{C}_2\text{H}_6$ :

$$\text{Corriente 1} = \text{Corriente 2} + \text{Consumo}$$

$$A \text{ mol } \text{C}_2\text{H}_6 = C_1 \text{ mol } \text{C}_2\text{H}_6 + 2\xi \text{ mol } \text{C}_2\text{H}_6$$

- Balance de  $O_2$ :

$$\begin{aligned} \text{Corriente 1} &= \text{Corriente 2} + \text{Consumo} \\ (B \text{ mol aire})(0.21 \text{ mol } O_2/\text{mol aire}) &= C_2 \text{ mol } O_2 + 7\xi \text{ mol } O_2 \end{aligned}$$

- Balance de  $N_2$ :

$$\begin{aligned} \text{Corriente 1} &= \text{Corriente 2} \\ (B \text{ mol aire})(0.79 \text{ mol } N_2/\text{mol aire}) &= C_5 \text{ mol } N_2 \end{aligned}$$

- Balance de  $CO_2$ :

$$\begin{aligned} 0 &= \text{Corriente 2} - \text{Generación} \\ 0 \text{ mol } CO_2 &= C_3 \text{ mol } CO_2 - 4\xi \text{ mol } CO_2 \end{aligned}$$

- Balance de  $H_2O$ :

$$\begin{aligned} 0 &= \text{Corriente 2} - \text{Generación} \\ 0 \text{ mol } H_2O &= C_4 \text{ mol } H_2O - 6\xi \text{ mol } H_2O \end{aligned}$$

- Exceso de oxígeno:

El oxígeno es el reactivo en exceso, por lo que el etano es el limitante. Estequiométricamente,  $A$  moles de etano reaccionan con  $\frac{7}{2}A$  moles de oxígeno, entonces los moles estequiométricos de oxígeno son  $\frac{7}{2}A$ .

$$0.4 = \frac{\text{Moles alimentados} - \text{Moles estequiométricos}}{\text{Moles estequiométricos}} = \frac{(B \text{ mol aire})(0.21 \text{ mol } O_2/\text{mol aire}) - \frac{7}{2}A \text{ mol } O_2}{\frac{7}{2}A \text{ mol } O_2}$$

- Conversión del etano:

$$0.9 = \frac{\text{Consumido}}{\text{Suministrado}} = \frac{A \text{ mol } C_2H_6 - C_1 \text{ mol } C_2H_6}{A \text{ mol } C_2H_6}$$

En donde hay 8 incógnitas =  $\{A, B, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, \xi\}$ . Entonces, el *grado de libertad* es:

$$GL = \# \text{ Incógnitas} - \# \text{ Ecuaciones independientes} = 8 - 7 = 1$$

Por lo que hay que asignar una base de cálculo. Sea  $A = 100$ .

Con la conversión del etano:

$$\begin{aligned} 0.9 &= \frac{100 \text{ mol } C_2H_6 - C_1 \text{ mol } C_2H_6}{100 \text{ mol } C_2H_6} \\ C_1 \text{ mol } C_2H_6 &= 100 \text{ mol } C_2H_6 - (0.9)(100 \text{ mol } C_2H_6) = 10 \text{ mol } C_2H_6 \end{aligned}$$

Con el exceso de oxígeno:

$$\begin{aligned} 0.4 &= \frac{(B \text{ mol aire})(0.21 \text{ mol } O_2/\text{mol aire}) - \frac{7}{2}(100) \text{ mol } O_2}{\frac{7}{2}(100) \text{ mol } O_2} \\ B \text{ mol aire} &= \frac{[0.4][\frac{7}{2}(100) \text{ mol } O_2] + \frac{7}{2}(100) \text{ mol } O_2}{0.21 \text{ mol } O_2/\text{mol aire}} = 2333.3333 \text{ mol aire} \end{aligned}$$

En el balance de  $C_2H_6$ :

$$\begin{aligned} 100 \text{ mol } C_2H_6 &= 10 \text{ mol } C_2H_6 + 2\xi \text{ mol } C_2H_6 \\ \xi \text{ mol } C_2H_6 &= \frac{100 \text{ mol } C_2H_6 - 10 \text{ mol } C_2H_6}{2} = 45 \text{ mol } C_2H_6 \end{aligned}$$

En el balance de  $O_2$ :

$$\begin{aligned} (2333.3333 \text{ mol aire})(0.21 \text{ mol } O_2/\text{mol aire}) &= C_2 \text{ mol } O_2 + 7(45) \text{ mol } O_2 \\ C_2 \text{ mol } O_2 &= (2333.3333 \text{ mol aire})(0.21 \text{ mol } O_2/\text{mol aire}) - 7(45) \text{ mol } O_2 = 175 \text{ mol } O_2 \end{aligned}$$

En el balance de N<sub>2</sub>:

$$(2333.3333 \text{ mol aire})(0.79 \text{ mol N}_2/\text{mol aire}) = C_5 \text{ mol N}_2 = 1843.3333 \text{ mol N}_2$$

En el balance de CO<sub>2</sub>:

$$0 \text{ mol CO}_2 = C_3 \text{ mol CO}_2 - 4(45) \text{ mol CO}_2$$

$$C_3 \text{ mol CO}_2 = 4(45) \text{ mol CO}_2 = 180 \text{ mol CO}_2$$

En el balance de H<sub>2</sub>O:

$$0 \text{ mol H}_2\text{O} = C_4 \text{ mol H}_2\text{O} - 6(45) \text{ mol H}_2\text{O}$$

$$C_4 \text{ mol H}_2\text{O} = 6(45) \text{ mol H}_2\text{O} = 270 \text{ mol H}_2\text{O}$$

Cantidad molar (mol)			Fracción molar		
	1	2		1	2
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	100	10	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.0411	0.00403
O <sub>2</sub>	490	175	O <sub>2</sub>	0.2014	0.07061
N <sub>2</sub>	1843.3333	1843.3333	N <sub>2</sub>	0.7575	0.74378
CO <sub>2</sub>	0	180	CO <sub>2</sub>	0	0.07263
H <sub>2</sub> O	0	270	H <sub>2</sub> O	0	0.10894
Total	2433.3333	2478.3333			

Considerando las masas moleculares dichas en el enunciado del problema:

Cantidad másica (g)			Fracción másica		
	1	2		1	2
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3008	300.8	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.0428	0.00428
O <sub>2</sub>	15680	5600	O <sub>2</sub>	0.2230	0.07964
N <sub>2</sub>	51631.7667	51631.7667	N <sub>2</sub>	0.7342	0.73424
CO <sub>2</sub>	0	7921.8	CO <sub>2</sub>	0	0.11265
H <sub>2</sub> O	0	4865.4	H <sub>2</sub> O	0	0.06919
Total	70319.7667	70319.7667			