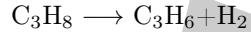


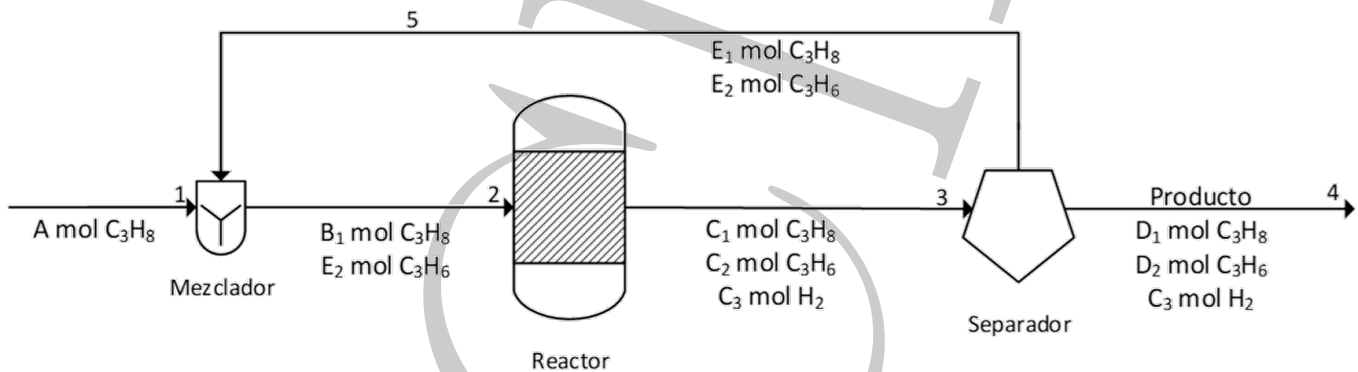
Problema 18. En un reactor se deshidrogena propano para dar propileno:



El proceso se va a diseñar para una conversión total de 95 % del propano. Los productos de reacción son alimentados a una unidad de separación donde se originan dos corrientes. La primera, el producto, contiene H_2 , C_3H_6 y 0.555 % (mol) del C_3H_8 que sale del reactor. La segunda corriente contiene el balance del C_3H_8 sin reaccionar y 5 % del C_3H_6 de la primera corriente, se recircula al reactor.

- Presenta el diagrama de flujo del proceso con corrientes, equipos y todos los datos e incógnitas.
- Presenta explícitamente los cálculos relevantes para la determinación de los grados de libertad del reactor. ¿Qué puedes concluir?
- Calcule:
 - La composición del producto.
 - La relación (moles recirculados) / (moles de alimentación fresca).
 - Conversión en un paso.
- Presentar una tabla de flujos molares en todas las corrientes de todos los compuestos.

a)



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

○ Sistema general y Reactor:

● Reactivos:

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

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

● Productos:

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

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

○ Separador y Mezclador:

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

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

b) Sea ξ el grado de avance de la reacción.

○ Sistema general:

Ecuaciones independientes (4):

● Balance de C_3H_8 :

$$\text{Corriente 1} = \text{Corriente 4} + \text{Consumo}$$

$$A \text{ mol C}_3\text{H}_8 = D_1 \text{ mol C}_3\text{H}_8 + \xi \text{ mol C}_3\text{H}_8$$

- Balance de H_2 :

$$0 = \text{Corriente 4} - \text{Generación}$$

$$0 \text{ mol } H_2 = C_3 \text{ mol } H_2 - \xi \text{ mol } H_2$$

- Balance de C_3H_6 :

$$0 = \text{Corriente 4} - \text{Generación}$$

$$0 \text{ mol } C_3H_6 = D_2 \text{ mol } C_3H_6 - \xi \text{ mol } C_3H_6$$

- Conversión del propano:

$$0.95 = \frac{\text{Consumido}}{\text{Suministrado}} = \frac{A \text{ mol } C_3H_8 - D_1 \text{ mol } C_3H_8}{A \text{ mol } C_3H_8}$$

En donde hay 5 incógnitas = $\{A, D_1, D_2, C_3, \xi\}$. Entonces, el *grado de libertad* es:

$$GL = \# \text{ Incógnitas} - \# \text{ Ecuaciones independientes} = 5 - 4 = 1$$

- Reactor:

Ecuaciones independientes (3):

- Balance de C_3H_8 :

$$\text{Corriente 2} = \text{Corriente 3} + \text{Consumo}$$

$$B_3 \text{ mol } C_3H_8 = C_1 \text{ mol } C_3H_8 + \xi \text{ mol } C_3H_8$$

- Balance de H_2 :

$$0 = \text{Corriente 3} - \text{Generación}$$

$$0 \text{ mol } H_2 = C_3 \text{ mol } H_2 - \xi \text{ mol } H_2$$

- Balance de C_3H_6 :

$$\text{Corriente 2} = \text{Corriente 3} - \text{Generación}$$

$$E_2 \text{ mol } C_3H_6 = C_2 \text{ mol } C_3H_6 - \xi \text{ mol } C_3H_6$$

En donde hay 6 incógnitas = $\{B_3, C_1, C_2, C_3, E_2, \xi\}$. Entonces, el *grado de libertad* es:

$$GL = \# \text{ Incógnitas} - \# \text{ Ecuaciones independientes} = 6 - 3 = 3$$

- Separador:

$$\text{Corriente 3} = \text{Corriente 4} + \text{Corriente 5}$$

Ecuaciones independientes (4):

- Balance de C_3H_8 : $C_1 \text{ mol } C_3H_8 = D_1 \text{ mol } C_3H_8 + E_1 \text{ mol } C_3H_8$
- Balance de C_3H_6 : $C_2 \text{ mol } C_3H_6 = D_2 \text{ mol } C_3H_6 + E_2 \text{ mol } C_3H_6$
- Relación de C_3H_8 : $(0.00555)(C_1 \text{ mol } C_3H_8) = D_1 \text{ mol } C_3H_8$
- Relación de C_3H_6 : $(0.05)(D_2 \text{ mol } C_3H_6) = E_2 \text{ mol } C_3H_6$

En donde hay 6 incógnitas = $\{C_1, C_2, D_1, D_2, E_1, E_2\}$. Entonces, el *grado de libertad* es:

$$GL = \# \text{ Incógnitas} - \# \text{ Ecuaciones independientes} = 6 - 4 = 2$$

- Mezclador:

$$\text{Corriente 1} + \text{Corriente 5} = \text{Corriente 2}$$

Ecuaciones independientes (1):

- Balance de C_3H_8 : $A \text{ mol } C_3H_8 + E_1 \text{ mol } C_3H_8 = B_1 \text{ mol } C_3H_8$

En donde hay 3 incógnitas = $\{A, E_1, B_1\}$. Entonces, el *grado de libertad* es:

$$GL = \# \text{ Incógnitas} - \# \text{ Ecuaciones independientes} = 3 - 1 = 2$$

Con los cálculos de grados de libertad anteriores podemos ver que primero hay que asignar una base de cálculo. Sea $A = 100$. Así el Sistema general tiene $GL = 0$ y se halla D_1, D_2, C_3, ξ , de aquí el Separador tiene $GL = 0$ y se calcula C_1, C_2, E_1, E_2 y finalmente el Mezclador tiene $GL = 0$ y se obtiene B_1 .

c) y d)

◦ Sistema general:

Con la conversión del propano:

$$0.95 = \frac{100 \text{ mol } C_3H_8 - D_1 \text{ mol } C_3H_8}{100 \text{ mol } C_3H_8}$$

$$D_1 \text{ mol } C_3H_8 = 100 \text{ mol } C_3H_8 - (0.95)(100 \text{ mol } C_3H_8) = 5 \text{ mol } C_3H_8$$

En el balance de C_3H_8 :

$$100 \text{ mol } C_3H_8 = 5 \text{ mol } C_3H_8 + \xi \text{ mol } C_3H_8$$

$$\xi \text{ mol } C_3H_8 = 100 \text{ mol } C_3H_8 - 5 \text{ mol } C_3H_8 = 95 \text{ mol } C_3H_8$$

En el balance de H_2 :

$$0 \text{ mol } H_2 = C_3 \text{ mol } H_2 - 95 \text{ mol } H_2$$

$$C_3 \text{ mol } H_2 = 95 \text{ mol } H_2$$

En el balance de C_3H_6 :

$$0 \text{ mol } C_3H_6 = D_2 \text{ mol } C_3H_6 - 95 \text{ mol } C_3H_6$$

$$D_2 \text{ mol } C_3H_6 = 95 \text{ mol } C_3H_6$$

◦ Separador:

Con la relación de C_3H_6 :

$$(0.05)(95 \text{ mol } C_3H_6) = E_2 \text{ mol } C_3H_6 = 4.75 \text{ mol } C_3H_6$$

En el balance de C_3H_6 :

$$C_2 \text{ mol } C_3H_6 = 95 \text{ mol } C_3H_6 + 4.75 \text{ mol } C_3H_6 = 99.75 \text{ mol } C_3H_6$$

Con la relación de C_3H_8 :

$$(0.00555)(C_1 \text{ mol } C_3H_8) = 5 \text{ mol } C_3H_8$$

$$C_1 \text{ mol } C_3H_8 = \frac{5 \text{ mol } C_3H_8}{0.00555} = 900.9009 \text{ mol } C_3H_8$$

En el balance de C_3H_8 :

$$900.9009 \text{ mol } C_3H_8 = 5 \text{ mol } C_3H_8 + E_1 \text{ mol } C_3H_8$$

$$E_1 \text{ mol } C_3H_8 = 900.9009 \text{ mol } C_3H_8 - 5 \text{ mol } C_3H_8 = 895.9009 \text{ mol } C_3H_8$$

◦ Mezclador:

En el balance de C_3H_8 :

$$100 \text{ mol } C_3H_8 + 895.9009 \text{ mol } C_3H_8 = B_1 \text{ mol } C_3H_8 = 995.9009 \text{ mol } C_3H_8$$

i) El producto es la Corriente 4:

| Cantidad molar (mol) | | | | | | Fracción molar | | | | | |
|-------------------------------|-----|-----------|-----------|-----|----------|-------------------------------|---|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| C ₃ H ₈ | 100 | 995.9009 | 900.9009 | 5 | 895.9009 | C ₃ H ₈ | 1 | 0.9953 | 0.8223 | 0.0256 | 0.9947 |
| C ₃ H ₆ | 0 | 4.75 | 99.75 | 95 | 4.75 | C ₃ H ₆ | 0 | 0.0047 | 0.0910 | 0.4872 | 0.0053 |
| H ₂ | 0 | 0 | 95 | 95 | 0 | H ₂ | 0 | 0 | 0.0867 | 0.4872 | 0 |
| Total | 100 | 1000.6509 | 1095.6509 | 195 | 900.6509 | | | | | | |

ii) Los moles recirculados son la Corriente 5 y los moles de alimentación fresca son la Corriente 1.

$$\frac{\text{Moles recirculados}}{\text{Moles de alimentación fresca}} = \frac{900.6509 \text{ mol}}{100 \text{ mol}} = 9.007$$

iii)

$$\text{Conversión en un paso} = \frac{\text{Reactivo consumido}}{\text{Reactivo suministrado}} \times 100\% = \frac{95 \text{ mol}}{995.9009 \text{ mol}} \times 100\% = 9.5391\%$$