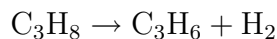


En un proceso de deshidrogenación de propano (C_3H_8) a propileno (C_3H_6) se alimenta al reactor con una corriente ① compuesta por 50kmol/h de propano y 2 kmol/h de butano (C_4H_{10}) (que se considera inerte en el proceso). La reacción que tiene lugar es la siguiente:



La corriente que sale del reactor, ②, se alimenta a un separador. La corriente que sale por cabeza del separador, ③, retiene el 95% de propano, el 10% de propileno, el 0% de hidrógeno y el 100% de butano del que hay en la corriente ② (salida del reactor), saliendo el resto por el fondo del separador, ④. De la corriente ③ se purga un 20% para evitar la acumulación de butano (inerte) en el proceso y después se recicla al reactor. La corriente que sale por fondo del separador se alimenta a una torre de destilación de la que sale por cabeza hidrógeno puro y por fondos el resto de componentes. La conversión del reactor es del 40% molar. Las corrientes que entran al reactor (reciclo más alimentación fresca) están a 550°C y el calor de reacción a 25°C es 29.7kcal/mol. Se pide:

1. Dibujar el diagram de flujo del proceso (1.5 pto)
2. Realizar el análisis de los grados de libertad del proceso.(4.5 ptos.)
3. Calcular el propileno producido y su concentración a la salida del proceso.(3.5 ptos.)
4. Calcular la composición de la corriente que se purga del proceso. (3.5 ptos.)
5. Calcular la temperatura de la corriente de salida del reactor, ②.(3 ptos.)

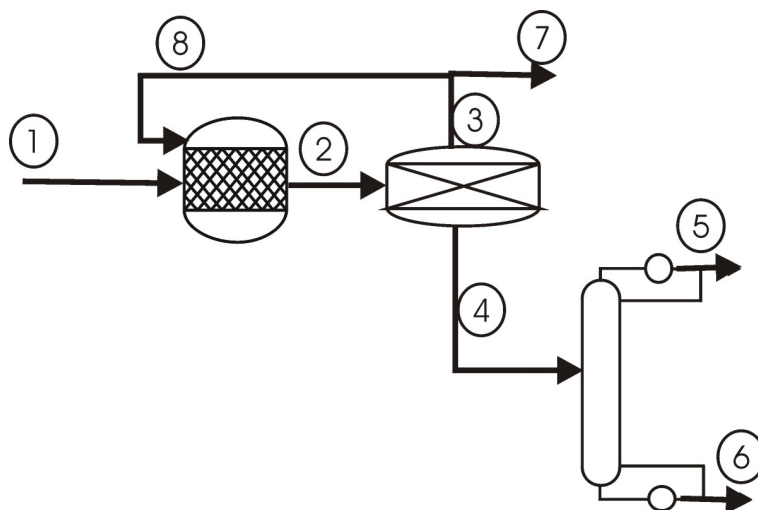
Datos:

- Calor específico del propano 19kcal/kmol°C
- Calor específico del propileno 17kcal/kmol°C
- Calor específico del butano 27kcal/kmol°C
- Calor específico del hidrógeno 7kcal/kmol°C

NOTA: Todos los porcentajes son molares.

Puntuación total del problema 16 ptos.

Tiempo 1h15min.



SOLUCIÓN

Análisis grados de libertad

pp:propano, pl:propileno, b:butano, H:hidrógeno.

	1 kmol/h %	2 kmol/h %	3 kmol/h %	4 kmol/h %	5 kmol/h %	6 kmol/h %	7 kmol/h %	8 kmol/h %
pp	50	?	?	?	0	?	?	?
pl	0	?	?	?	0	?	?	?
b	2	?	?	?	0	?	?	?
H	0	?	?	?	100	?	?	?
TOTAL	52	?	?	?	?	?	?	?

Incógnitas: $30 + 1 \text{ de reacción} = 31$.

Ecuaciones y restricciones:

Balance al reactor: 4

Balance al separador: 4

Balance a la división de purga: 4

Balance a la torre: 4

Sumatorios: 6

Conversión de reacción: 1

Porcentaje de purga (20%): 1

Porcentajes en la separación: 4

Igualdad de composiciones de las corrientes 7 y 8 en la división de purga: 3 (1 está incluida en el sumatorio)

TOTAL: 31

GRADOS DE LIBERTAD = $31 - 31 = 0$. Problema correctamente especificado.

Balances de materia

Balance al Reactor

$$\xi = 0.4(n_{1,pp} + n_{8,pp}) = 0.4(50 + n_{8,pp}) = 20 + 0.4n_{8,pp}$$

$$n_{2,pl} = n_{1,pl} + n_{8,pl} + \xi = n_{8,pl} + 20 + 0.4n_{8,pp}$$

$$n_{2,b} = n_{1,b} + n_{8,b} = 2 + n_{8,b}$$

$$n_{2,pp} = n_{1,pp} + n_{8,pp} - \xi = 50 + n_{8,pp} - 20 - 0.4n_{8,pp} = 30 + 0.6n_{8,pp}$$

$$n_{2,H} = \xi = 20 + 0.4n_{8,pp}$$

Relación en el separador

$$n_{3,pp} = 0.95n_{2,pp} = 0.95(30 + 0.6n_{8,pp})$$

$$n_{3,b} = n_{2,b} = 2 + n_{8,b}$$

$$n_{3,pl} = 0.1n_{2,pl} = 0.1(n_{8,pl} + 20 + 0.4n_{8,pp})$$

$$n_{3,H} = 0$$

Relación de la purga

$$n_{8,pp} = 0.8n_{3,pp} = 0.8 \cdot 0.95(30 + 0.6n_{8,pp}) = 22.8 + 0.456n_{8,pp} \Rightarrow n_{8,pp} = 41.9 \text{ kmol/h}$$

$$n_{8,b} = 0.8n_{3,b} = 0.8 \cdot (2 + n_{8,b}) \Rightarrow n_{8,b} = 8 \text{ kmol/h}$$

$$n_{8,pl} = 0.8n_{3,pl} = 0.8 \cdot 0.1(n_{8,pl} + 20 + 0.4n_{8,pp}) = 0.8 \cdot 0.1(n_{8,pl} + 20 + 0.4 \cdot 41.9) \Rightarrow n_{8,pl} = 3.2 \text{ kmol/h}$$

$$n_{8,H} = 0$$

Sustituyendo en los balances al reactor y al separador obtenemos:

$$\xi = 20 + 0.4n_{8,pp} = 36.7 \text{ kmol/h}$$

$$n_{2,pl} = n_{8,pl} + 20 + 0.4n_{8,pp} = 40 \text{ kmol/h}$$

$$n_{2,b} = 2 + n_{8,b} = 10 \text{ kmol/h}$$

$$n_{2,pp} = 30 + 0.6n_{8,pp} = 55.1 \text{ kmol/h}$$

$$n_{2,H} = \xi = 20 + 0.4n_{8,pp} = 36.7 \text{ kmol/h}$$

$$n_{3,pp} = 0.95(30 + 0.6n_{8,pp}) = 52.4 \text{ kmol/h}$$

$$n_{3,b} = 2 + n_{8,b} = 10 \text{ kmol/h}$$

$$n_{3,pl} = 0.1(n_{8,pl} + 20 + 0.4n_{8,pp}) = 4 \text{ kmol/h}$$

$$n_{3,H} = 0$$

Balance de materia al separador:

$$n_{4,pp} = n_{2,pp} - n_{3,pp} = 55.1 - 52.4 = 2.75 \text{ kmol/h}$$

$$n_{4,b} = n_{2,b} - n_{3,b} = 10 - 10 = 0 \text{ kmol/h}$$

$$n_{4,pl} = n_{2,pl} - n_{3,pl} = 40 - 4 = 36 \text{ kmol/h}$$

$$n_{4,H} = n_{2,H} - n_{3,H} = 36.7 - 0 = 36.7 \text{ kmol/h}$$

Balance de materia a la división de la purga:

$$n_{7,pp} = n_{3,pp} - n_{8,pp} = 52.4 - 41.9 = 10.5 \text{ kmol/h}$$

$$n_{7,b} = n_{3,b} - n_{8,b} = 10 - 8 = 2 \text{ kmol/h}$$

$$n_{7,pl} = n_{3,pl} - n_{8,pl} = 4 - 3.2 = 0.8 \text{ kmol/h}$$

$$n_{7,H} = n_{3,H} - n_{8,H} = 0 - 0 = 0 \text{ kmol/h}$$

Relación torre de destilación:

$$n_{6,pp} = n_{4,pp} = 2.75 \text{ kmol/h}$$

$$n_{6,b} = 0 \text{ kmol/h}$$

$$n_{6,pl} = n_{4,pl} = 36 \text{ kmol/h}$$

$$n_{6,H} = 0$$

Luego el propileno producido es **36 kmol/h** y su concentración : $36/38.75 = \mathbf{92.9\%}$

Balance de materia a la torre de destilación:

$$n_{5,pp} = n_{4,pp} - n_{6,pp} = 2.75 - 2.75 = 0 \text{ kmol/h}$$

$$n_{5,b} = n_{4,b} - n_{6,b} = 0 - 0 = 0 \text{ kmol/h}$$

$$n_{5,pl} = n_{4,pl} - n_{6,pl} = 36 - 36 = 0 \text{ kmol/h}$$

$$n_{5,H} = n_{4,H} - n_{6,H} = 36.7 - 0 = 36.7 \text{ kmol/h}$$

Balance de entalpía

$$\sum m_e H_e = m_r H_r + \sum m_s H_s$$

$$(n_{1,pp} + n_{8,pp}) \cdot C_{p,pp}(T_e - T_{ref}) + (n_{1,b} + n_{8,b}) \cdot C_{p,b}(T_e - T_{ref}) + n_{8,pl} \cdot C_{p,pl}(T_e - T_{ref}) = \xi H_r + [n_{2,pp} \cdot C_{p,pp} + n_{2,b} \cdot C_{p,b} + n_{2,pl} \cdot C_{p,pl} + n_{2,H} \cdot C_{p,H}](T_s - T_{ref})$$

Tomando como temperatura de referencia 25°C :

$$(50 + 41.9) \cdot 19(550 - 25) + 10 \cdot 27(550 - 25) + 3.2 \cdot 17(550 - 25) =$$

$$36.7 \cdot 1000 \cdot 29.7 + [55.1 \cdot 19 + 10 \cdot 27 + 40 \cdot 17 + 36.7 \cdot 7](T_s - 25)$$

$$T_s = 23.7^\circ\text{C}$$