

# GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

## Fundamentos de Ingeniería Química

### Hoja 3. Balances de Materia

- 1.- Una planta industrial produce nitrógeno y oxígeno por rectificación criogénica de aire. La riqueza de los productos obtenidos es del 99,8% para el nitrógeno y del 99,5% para el oxígeno. El aire, una vez licuado, se alimenta a una primera columna de rectificación, de la que se extrae por cabeza una corriente con 99% de  $N_2$  y por cola otra con 40% de  $O_2$ . Ambas corrientes se alimentan a una segunda columna, de la que se extraen el nitrógeno y el oxígeno productos de las riquezas antes indicadas. Determínese:
- El rendimiento en oxígeno del proceso y los caudales de las dos corrientes que abandonan la primera columna, para una producción de  $2.240 \text{ m}^3/\text{h}$  de oxígeno (c.n.).
  - La producción de nitrógeno en las mismas condiciones.

**Sol.:** a) Rto.  $O_2$ : 99,5%;  $233 \text{ kmol/h}$  99 %  $N_2$ ;  $245 \text{ kmol/h}$  40 %  $O_2$  b)  $378 \text{ kmol/h}$  de  $N_2$

- 2.- Un quemador de gases utiliza propano industrial de la siguiente composición porcentual en volumen: 75%  $C_3H_8$ , 22%  $C_4H_{10}$ , 1%  $CH_4$ , 2%  $CO_2$ . La combustión se lleva a cabo con un exceso de aire del 25% y se supone completa. Determínese:
- La composición de los gases de combustión en base seca y húmeda y la cantidad de aire empleada por cada  $1.000 \text{ m}^3$  (c.n.) de gas combustible.
  - ¿Cuál sería la composición de los gases de combustión, en base húmeda y en base seca, si se utilizase en la misma oxígeno puro y en la proporción estequiométrica?

**Sol.:** a) Base Húmeda:  $O_2$ : 4 %;  $CO_2$ : 9,5 %;  $H_2O$ : 12,5 %;  $N_2$ : 74 %  
Base Seca:  $O_2$ : 4,5%;  $CO_2$ : 10,9 %;  $N_2$ : 84,6 %  
 $1380 \text{ kmol}$  de aire/ $1000 \text{ m}^3$  combustible  
b) Base Húmeda:  $CO_2$ : 43,4 %;  $H_2O$ : 56,6 %; Base Seca:  $CO_2$ : 100 %

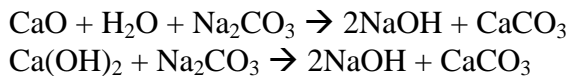
- 3.- Una instalación industrial produce óxido de etileno por oxidación catalítica de etileno con aire. La conversión del etileno es sólo parcial y además parte del mismo se quema. La corriente de salida del reactor se trata por absorción para separar el óxido de etileno, siendo la composición de los gases que abandonan la torre de absorción (en volumen y en base seca) la siguiente: 6,4% de  $C_2H_4$ ; 9,6% de  $CO_2$ ; 3% de  $O_2$  y 81% de  $N_2$ .  
Determínese: a) Conversión porcentual de etileno para la producción de óxido de etileno; b) Relación entre los caudales de etileno y aire alimentados al reactor; c) Exceso de aire empleado.

**Sol.:** a) 42,3%; b)  $0,19 \text{ kmol } C_2H_4 / \text{kmol aire}$ ; c) 121% exceso  $O_2$

- 4.- Una planta de producción de ácido sulfúrico por el método de contacto emplea azufre como materia prima, que quema con aire. Los gases resultantes se alimentan a un convertidor catalítico de dos etapas para la oxidación del  $SO_2$  a  $SO_3$ . A la salida de la primera etapa los gases contienen un 2,2% de  $SO_2$  en volumen y tras la segunda etapa presentan un 0,1% de  $SO_2$  y un 9,3% de  $O_2$ .  
Determínese: a) La conversión porcentual de  $SO_2$  en cada etapa; b) El exceso de aire empleado en la combustión del azufre.

**Sol.:** a) Conversión: 1ª Etapa: 73,5%; 2ª Etapa: 25,4%; b) 160,5% exceso

- 5.- Una disolución con un 14,9% de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y 0,6% de  $\text{NaOH}$  se caustifica por adición de una cal comercial parcialmente apagada (compuesta por  $\text{CaO}$  y  $\text{Ca(OH)}_2$ ) a la que acompaña  $\text{CaCO}_3$  como impureza, produciéndose las siguientes reacciones:

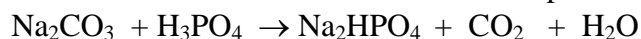


La lejía caustificada arroja el siguiente análisis: 10,4 % de  $\text{NaOH}$ ; 13,5% de  $\text{CaCO}_3$ ; 0,6% de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; 0,3% de  $\text{Ca(OH)}_2$ .

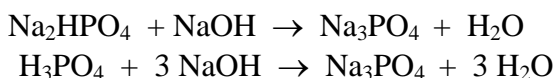
Determinése: a) Cantidad de cal empleada por cada 100 kg de disolución cáustica final; b) Composición de la cal empleada; c) Reactivo en exceso y en qué proporción; d) Rendimiento de la caustificación.

**Sol.:** a) 8,5 kg cal/100 kg lejía caustificada; b)  $\text{CaO}$ : 77%;  $\text{Ca(OH)}_2$ : 8,8%;  $\text{CaCO}_3$ : 14,2%  
c)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ : 1,6% exceso; d) Rto.: 97%

- 6.- Una instalación industrial produce 100 t/d de fosfato trisódico de la siguiente composición: 83% de  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ; 1,6% de  $\text{NaOH}$  y un 15,4% de humedad. Como materia de partida se utiliza  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  que se bombea en disolución acuosa a un primer tanque al que se alimenta también  $\text{H}_3\text{PO}_4$  del 85%, empleándose un exceso del mismo del 10%. La reacción en esta primera etapa es:



La disolución resultante se desgasifica para eliminar el  $\text{CO}_2$  y se alimenta a un segundo tanque de neutralización, en el que se emplea una disolución de  $\text{NaOH}$  del 50%, formándose  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , de acuerdo con las reacciones:



La disolución obtenida, con un 25% de  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , pasa a un cristizador, en el que se separa parte del producto sólido, en tanto que el líquido sobrenadante se deseca por pulverización, uniéndose el sólido resultante al separado en el cristizador, para obtener de esta forma el producto final, de la composición antes indicada. Determinése: a) los caudales máxicos de las disoluciones de  $\text{NaOH}$  y de  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ; b) la concentración de la disolución de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  empleada.

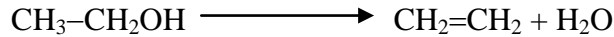
**Sol.:** a)  $\text{NaOH}$ : 51 t/día;  $\text{H}_3\text{PO}_4$ : 58,4 t/día; b) 0,2 t  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ /t disol.

- 7.- El reactor de una planta de producción de óxido de etileno al que se alimenta una mezcla de etileno y aire en la que la proporción del primero es del 5% en volumen, opera con una conversión del 25%. Con el fin de mejorar el rendimiento se introduce una modificación consistente en recircular al reactor un 60% de la corriente de salida, una vez separado todo el óxido de etileno. Suponiendo que la conversión permanece inalterada, determinése:

- a) Composición de la alimentación al reactor con el cambio introducido.  
b) Composición de los gases a la salida del reactor.  
c) Mejora del rendimiento de transformación del etileno.

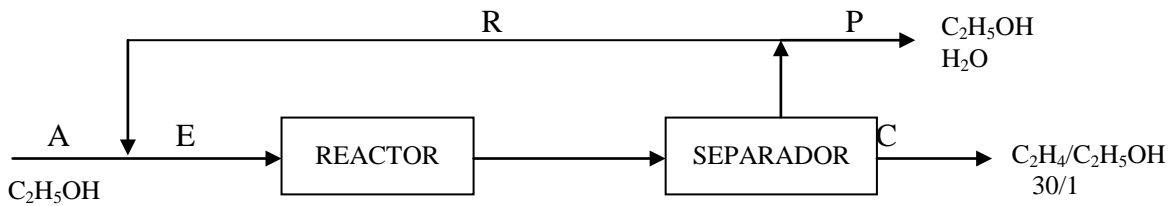
**Sol.:** a)  $\text{C}_2\text{H}_4$ : 3,7%;  $\text{O}_2$ : 19,7%;  $\text{N}_2$ : 76,6%; b)  $\text{C}_2\text{H}_4$ : 2,8%;  $\text{O}_2$ : 19,3%;  $\text{N}_2$ : 77,0%;  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ : 0,9%  
d)  $\text{Rto}_1$ : 0,25 kmol  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ /kmol  $\text{C}_2\text{H}_4$  fresco;  $\text{Rto}_2$ : 0,45 kmol  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ /kmol  $\text{C}_2\text{H}_4$  fresco; Mejora: 80%

8.- El etileno puede producirse por deshidratación catalítica de etanol, según la reacción:



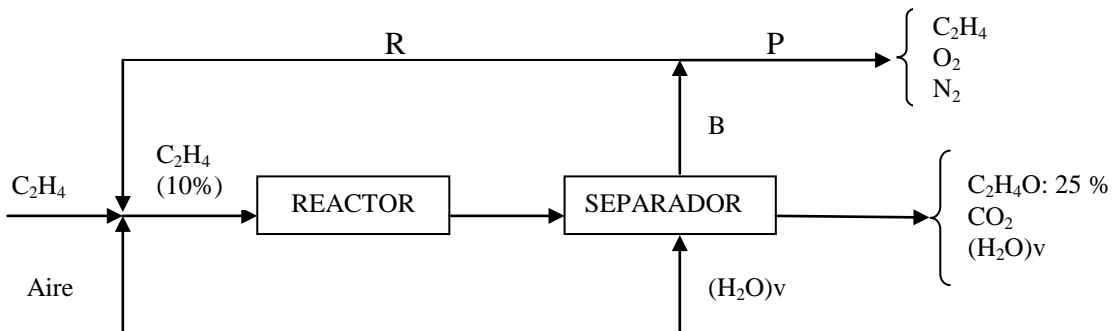
Se desea producir 11.000 m<sup>3</sup>/h de etileno (medidos a 25°C y 1 atm) en una instalación como la esquematizada en la Figura. La alimentación fresca está compuesta por etanol puro. La conversión en el reactor es del 55% y la separación del etileno y el etanol no es completa, por lo que abandonan la instalación mezclados en una proporción molar etileno/etanol 30/1. El etanol separado y el agua producto se devuelven al reactor. Para evitar la acumulación de agua en el reactor se purga parte de la corriente de recirculación de forma que la fracción molar de agua a la entrada del reactor no supere el 25%. Calcúlese:

- Caudales molares y composición de las corrientes de recirculación y purga.
- Caudal y composición a la entrada y a la salida del reactor.
- Rendimiento de transformación del etanol a etileno.



**Sol.:** a) R: 406,0 kmol/h; P: 670,3 kmol/h; C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH: 32,8%; H<sub>2</sub>O: 67,2%;  
 b) Ent.: 1.091,4 kmol/h (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH: 75,0%; H<sub>2</sub>O: 25,0%); Sal.: 1.541,6 kmol/h  
 (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH: 23,9%; H<sub>2</sub>O: 46,9%; C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>: 29,2%); c) Rto.: 65,7%

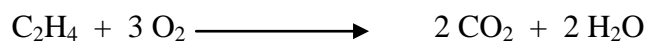
9.- El óxido de etileno se produce industrialmente por oxidación parcial de etileno con exceso de aire, utilizando un catalizador de plata en una instalación como la esquematizada en la Figura.



La reacción principal es la siguiente:



La alimentación al reactor se obtiene mezclando una corriente de etileno puro con una corriente de aire y con la corriente de reciclo del separador, y contiene un 10% de etileno. En el reactor parte del etileno se oxida a dióxido de carbono y agua.



En las condiciones de trabajo de la planta, se obtiene una conversión del 25% del etileno y la selectividad (moles de  $C_2H_4$  que se transforman en  $C_2H_4O$ /moles totales de  $C_2H_4$  que reaccionan), es del 80%.

A la salida del reactor, el producto de reacción pasa a un separador al que se alimenta vapor de agua, obteniéndose una corriente C (con 25% de óxido de etileno) y otro B de la que se purga un 20% recirculándose el resto de la corriente B. Calcúlese:

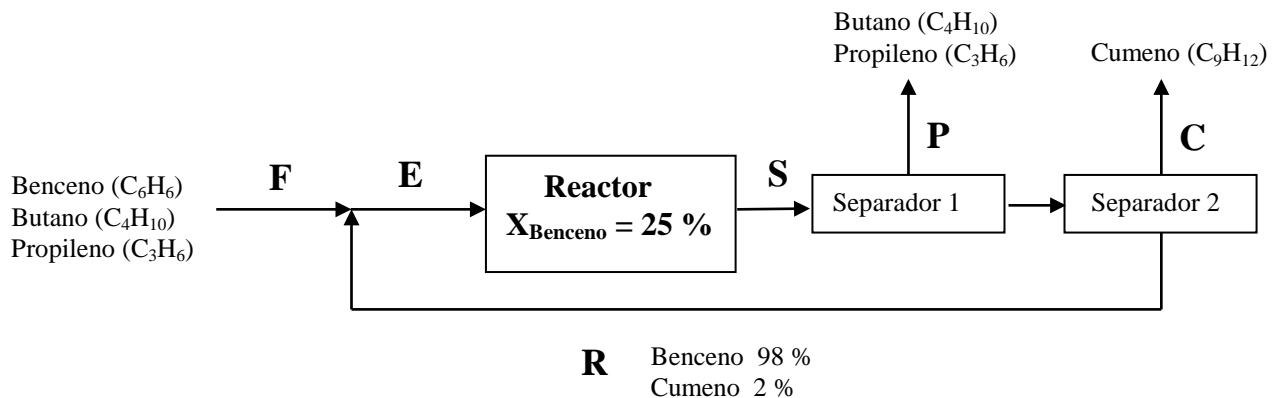
a) Exceso de aire utilizado.

b) La composición de la corriente de purga.

c) Los moles de vapor de agua alimentados al separador por mol de óxido de etileno producido.

**Sol.:** a) 110% exceso; b)  $C_2H_4$ : 7,9%;  $O_2$ : 8,9%;  $N_2$ : 83,2%; c) 2 kmol  $H_2O$ /kmol  $C_2H_4O$

- 10.- El cumeno ( $C_6H_5C_3H_7$ ) se puede producir en un reactor catalítico a partir de benceno ( $C_6H_6$ ) y propileno ( $C_3H_6$ ), de acuerdo al siguiente esquema de reacción:  $C_6H_6 + C_3H_6 \longrightarrow C_6H_5C_3H_7$ . En una instalación como la esquematizada en la figura se desea obtener 2.400 kg/h de cumeno. La alimentación fresca está compuesta por benceno, butano y propileno, siendo la concentración de propileno 3 veces superior a la del butano. La conversión del benceno en el reactor es del 25 %, los productos de reacción son separados en unas columnas de rectificación. En la primera columna se separa el propileno y el butano, obteniéndose 34 kmol de esta mezcla por cada 100 kmol de alimentación fresca. En la segunda columna se separa el cumeno de una mezcla de benceno (98 %) y cumeno (2 %) que se recircula a la entrada del reactor. Calcular, para producir 2.400 kg/h de cumeno:



a) Caudal y composición de la alimentación fresca

b) Caudal y composición de la corriente que sale del reactor

c) Caudal de benceno recirculado

**Sol.:** a) 60,6 kmol/h;  $C_6H_6$ : 33%;  $C_4H_{10}$ : 16,75%;  $C_3H_6$ : 50,25%    b) 101,82 kmol/h;  $C_6H_6$ : 58,93%;  $C_4H_{10}$ : 9,97%;  $C_3H_6$ : 10,26%;  $C_9H_{12}$ : 20,84%    c) 60 kmol/h.