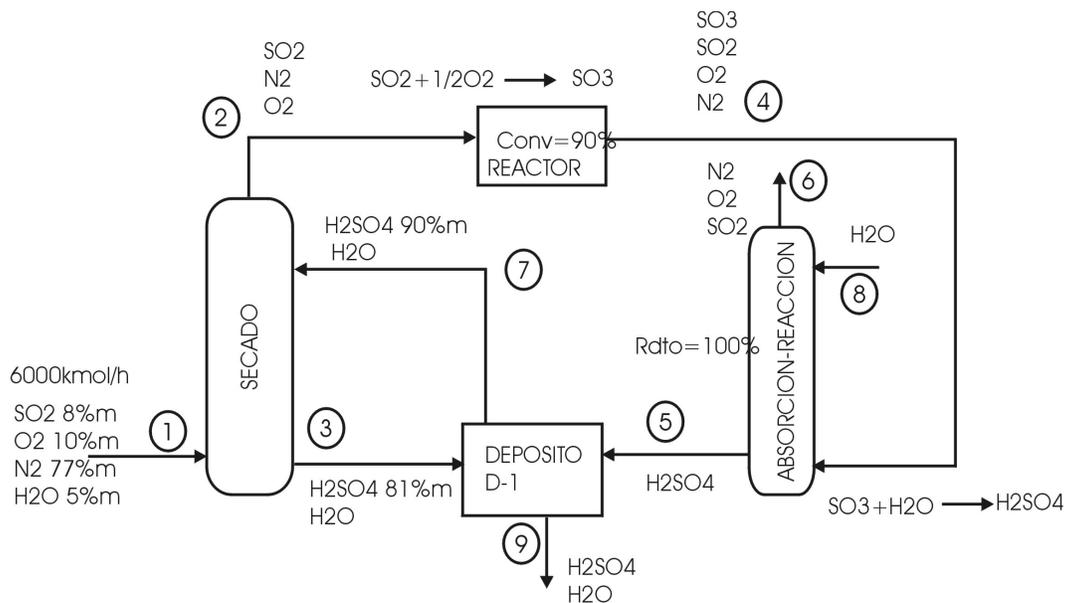


La figura inferior muestra una sección del proceso de fabricación de ácido sulfúrico. La alimentación son los gases procedentes de tostación con una composición molar de : SO<sub>2</sub> 8%, O<sub>2</sub> 10%, N<sub>2</sub> 77% y agua 5% y un caudal de 6000 kmol/h. Esta alimentación entra a una torre donde se seca completamente el gas empleando para ello ácido sulfúrico del 90% m (90% sulfúrico y 10% agua) procedente de un depósito D-1. Por cabeza de la torre salen los gases secos y por el fondo sale un sulfúrico con una concentración del 81% m que se alimenta al depósito D-1. Los gases secos entran en un reactor donde se convierte el 90% del SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub>. Los gases salientes del reactor se introducen en una torre de absorción donde reacciona el SO<sub>3</sub> con agua que se alimenta a la cabeza de la misma produciendo ácido sulfúrico. El rendimiento de la reacción es del 100%. Por la parte superior de la torre salen todos los gases y por la parte inferior el ácido sulfúrico producido con una concentración del 100% (es decir es una corriente de ácido puro, sin agua). Éste se introduce en el depósito D-1. Finalmente se extrae el producto (ácido sulfúrico y agua) de ese mismo depósito.

Reacción de oxidación en el reactor:  $SO_2 + 1/2O_2 \rightarrow SO_3$ .

Reacción en la torre de absorción:  $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$

- Analizar los grados de libertad del proceso.(4ptos)
- Calcular todas las corrientes del proceso.(4.5ptos)
- ¿La composición obtenida de la corriente ⑨ es igual a la de la corriente ⑦? ¿Debería ser igual?(1.5puntos)



Puntuación total del problema 10 puntos.

Duración del ejercicio 1h30min.

## Solución

### GRADOS DE LIBERTAD

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SO <sub>2</sub>	8	?	0	?	0	?	0	0	0
O <sub>2</sub>	10	?	0	?	0	?	0	0	0
N <sub>2</sub>	77	?	0	?	0	?	0	0	0
H <sub>2</sub> O	5	0	19	0	0	0	10	100	?
SO <sub>3</sub>	0	0	0	?	0	?	0	0	0
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	0	81	0	100	0	90	0	?
TOTAL	6000	?	?	?	?	?	?	?	?

Número de incógnitas (composición y caudales) 21

Número de reacciones 2

Número total de incógnitas 21+2=23

Número de ecuaciones:

Balances de materia

Secado 5

Reactor 4

Absorbedor 6

Depósito 2

Restricciones:

Sumatorios 4

Conversión 1

Rendimiento 1

TOTAL ecuaciones y restricciones: 5+4+6+2+4+1+1=23

Grados de libertad= 23 - 23 = 0. Problema correctamente especificado.

### BALANCES DE MATERIA AL PROCESO

#### Secado

Balances:

$$\text{H}_2\text{SO}_4 : 0,9F_7 = 0,81F_3$$

$$\text{H}_2\text{O} : 0,05 * 6000 + 0,1F_7 = 0,19F_3$$

De estas dos ecuaciones se obtiene  $F_7 = 3000\text{kmol/h}$  y  $F_3 = 2700\text{kmol/h}$

$$\text{SO}_2 : n_{1,\text{SO}_2} = n_{2,\text{SO}_2} \Rightarrow n_{2,\text{SO}_2} = 0,08 * 6000 = 480\text{kmol/h}$$

$$\text{O}_2 : n_{1,\text{O}_2} = n_{2,\text{O}_2} \Rightarrow n_{2,\text{O}_2} = 0,1 * 6000 = 600\text{kmol/h}$$

$$\text{N}_2 : n_{1,\text{N}_2} = n_{2,\text{N}_2} \Rightarrow n_{2,\text{N}_2} = 0,77 * 6000 = 4620\text{kmol/h}$$

$$F_2 = \sum n_{2,i} = 5700\text{kmol/h}$$

## Reactor

$$\text{Conversión, } \alpha = \frac{n_{2,\text{SO}_2} - n_{4,\text{SO}_2}}{n_{2,\text{SO}_2}} = 0,9 \Rightarrow$$

$$n_{4,\text{SO}_2} = (1 - 0,9)n_{2,\text{SO}_2} = 0,1 * 480 = 48\text{kmol/h}$$

Balances:

$$\text{SO}_2 : n_{2,\text{SO}_2} - \xi = n_{4,\text{SO}_2} \Rightarrow \xi = 480 - 48 = 432\text{kmol/h}$$

$$\text{O}_2 : n_{4,\text{O}_2} = n_{2,\text{O}_2} - 1/2\xi = 600 - 1/2 * 432 = 384\text{kmol/h}$$

$$\text{N}_2 : n_{4,\text{N}_2} = n_{2,\text{N}_2} = 4620\text{kmol/h}$$

$$F_4 = \sum n_{4,i} = 5484\text{kmol/h}$$

## Absorbedor

Rendimiento:

$$\eta = \frac{n_{5,\text{H}_2\text{SO}_4}}{n_{4,\text{SO}_3}} = 1$$

$$\text{Luego } n_{5,\text{H}_2\text{SO}_4} = n_{4,\text{SO}_3} = 432\text{kmol/h}$$

Balances:

$$\text{SO}_2 : n_{6,\text{SO}_2} = n_{4,\text{SO}_2} = 48\text{kmol/h}$$

$$\text{O}_2 : n_{6,\text{O}_2} = n_{4,\text{O}_2} = 384\text{kmol/h}$$

$$\text{N}_2 : n_{6,\text{N}_2} = n_{4,\text{N}_2} = 4620\text{kmol/h}$$

$$F_6 = \sum n_{6,i} = 5052\text{kmol/h}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 : \xi_2 = n_{5,\text{H}_2\text{SO}_4} = 432$$

$$\text{SO}_3 : n_{4,\text{SO}_3} = n_{6,\text{SO}_3} + \xi_2 \Rightarrow n_{6,\text{SO}_3} = 432 - 432 = 0\text{kmol/h}$$

$$\text{H}_2\text{O} : n_{8,\text{H}_2\text{O}} - \xi_2 = 0 \Rightarrow n_{8,\text{H}_2\text{O}} = \xi_2 = 432\text{kmol/h}$$

## Depósito

Balances:

$$\text{H}_2\text{SO}_4 : 0,81F_3 + F_5 = 0,9F_7 + n_{9,\text{H}_2\text{SO}_4}$$

$$n_{9,\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,81 * 3000 + 432 - 0,9 * 2700 = 432\text{kmol/h}$$

$$F_9 + F - 7 = F_3 + F_5 \Rightarrow F_9 = 3000 + 432 - 2700 = 732\text{kmol/h}$$

$$\text{Luego el caudal de agua será: } n_{9,\text{H}_2\text{O}} = 732 - 432 = 300\text{kmol/h}$$

Las composiciones de las corrientes 7 y 9 son diferentes. Esto en un proceso estacionario como el que estamos considerando no tiene sentido. El depósito contendrá una mezcla de composición homogénea. La razón es que realmente el problema está sobreespecificado pues precisamente una restricción más a añadir en los grados de libertad sería la igualdad de las composiciones de las corrientes 7 y 9. Con lo cual quedaría 23 incógnitas y 24 ecuaciones. El problema sería por tanto resoluble eliminando un dato del enunciado.