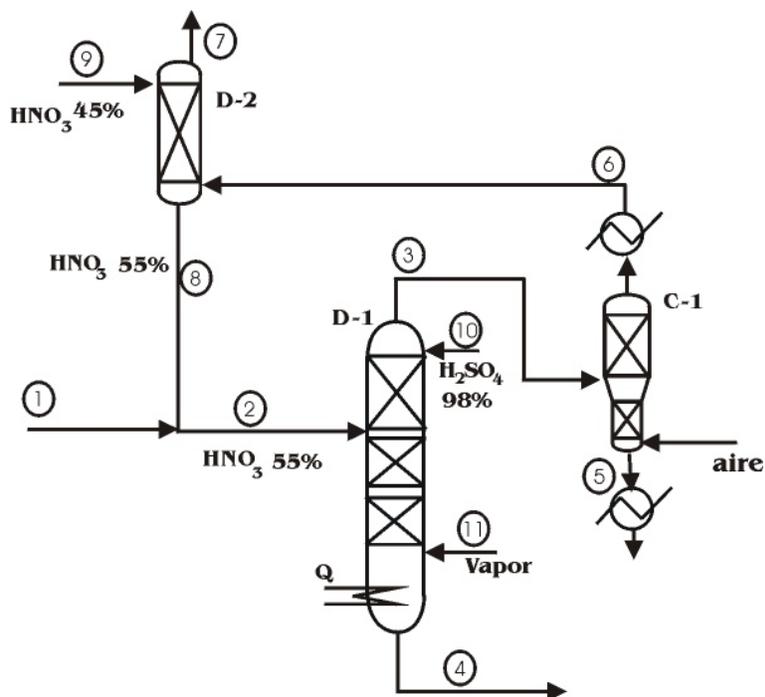
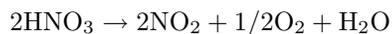


La siguiente figura muestra el proceso de concentración de ácido nítrico empleando ácido sulfúrico. La alimentación fresca (①) se mezcla con la corriente de reciclo (⑧) para introducirse posteriormente a la columna. La columna es alimentada por cabeza con ácido sulfúrico del 98 %p. La columna utiliza vapor como medio calefactor, disponiendo de un cambiador adicional. El ácido nítrico concentrado que sale por cabeza de la columna pasa a un condensador (C-1) y de ahí se obtiene una corriente producto y una corriente gas que va a la columna de absorción (D-2). La corriente gas está formada por gases que se producen por la descomposición de una parte del ácido nítrico. La columna de absorción recupera el óxido nitroso para reciclarlo a la columna de destilación extractiva (D-1).



Reacción de descomposición del ácido nítrico:



Datos:

- Caudal y composición de la corriente (②): 340kg/h de ácido nítrico al 55 %p.
- Caudal y composición de la corriente (⑩): 650 kg/h de ácido sulfúrico al 98 %p.
- La corriente (④) tiene un 1 %p de ácido nítrico y la concentración de ácido sulfúrico es la mínima posible sin que pierda su poder deshidratante.
- La composición de los vapores entrantes a la etapa superior de la columna es de 57 %de nítrico y el resto agua.
- La composición de la corriente (⑤) es ácido nítrico del 98,5 %p.
- La composición de la corriente (⑨) es ácido nítrico al 45 %p.
- Rendimiento de la absorción (columna D-2) es del 95 %.
- Temperaturas (°C) de las corrientes que entran y salen de la columna (②): 60, (③) 95 , (⑩) 30, (⑪) vapor saturado a 170 , (④) 145.
- Calores específicos (Cp (kcal/kg°C)) del ácido nítrico 0,4 y del ácido sulfúrico 0,35

- Diagrama de Mollier de entalpía del vapor de agua.
- Diagrama de calores de dilución ácido nítrico-ácido sulfúrico-agua
- Diagrama triangular ácido nítrico-ácido sulfúrico-agua

Se pide:

1. Composición y caudal de la corriente (3) y cantidad de vapor máxima a añadir.(2 puntos)
2. Caudal de la corriente (5) y % de ácido nítrico que se descompone (considérese despreciable la cantidad de agua que sale por cabeza del condensador C-1). (2 puntos)
3. Caudal a aportar en (9) y composición en (7) (2 puntos)
4. Calcular si hace falta suministrar calor (Q) con el cambiador y determinar, en caso afirmativo, su cuantía.(2 puntos)

Tiempo 1hora 30minutos

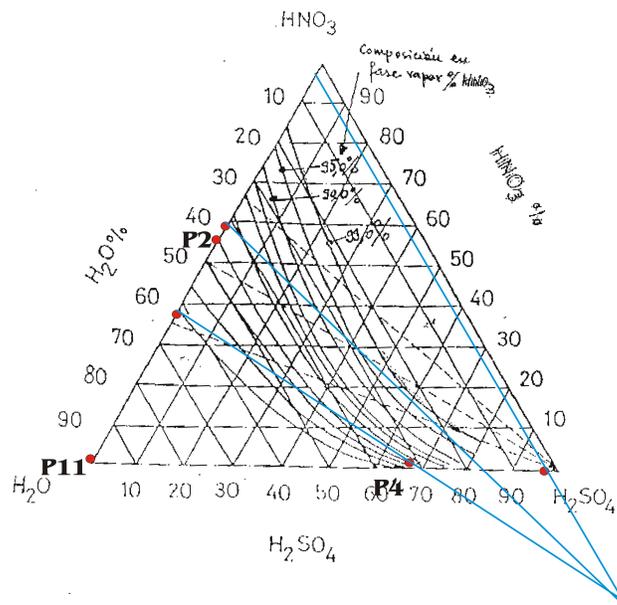
Solución

Dado que tenemos más incógnitas (cuatro, caudal y composición de ③, caudal de ④ y caudal de ①) que balances podemos plantear (tres balances, uno por componente) es necesario utilizar el dato del diagrama ternario, el dato de la composición de los vapores de entrada a la etapa superior.

El procedimiento es el siguiente:

- 1) Se supone una cantidad de vapor y se sitúa el punto suma del vapor y el nítrico.
- 2) Este punto suma se une con el punto 4, de salida de fondo de la columna. Tendremos en esta recta el punto diferencia.
- 3) Sabiendo las cantidades totales de los dos puntos de la recta anterior, se puede situar el punto resta (regla de la palanca)
- 4) Ahora, este punto también es el punto diferencia de las corrientes 3 y 10 por un lado y de los puntos de entrada y salida a la etapa superior de la columna. Unimos el punto diferencia con el punto 10 y obtenemos una composición para el punto 3.
- 5) Unimos el punto diferencia con el punto dado de composición de los vapores y viendo a qué curva es tangente obtenemos otra composición para el punto 3.
- 6) Comparamos las dos composiciones obtenidas para la corriente 3, si son iguales la suposición del caudal de vapor es correcta, si no se itera.
- 7) Se hallan por balance el resto de variables.

Para empezar el procedimiento (ilustrado en la figura) es necesario inicialmente plantear un balance al ácido sulfúrico para conocer su caudal.





Haciendo un balance de materia al sulfúrico (y dado que no se vaporiza nada) podemos hallar el caudal de la corriente (4) que sale por el fondo de la columna. Sabemos que la concentración mínima que puede tener la corriente (4) es de 68 %p para que el ác. sulfúrico no pierda su poder deshidratante.

$$F_{10} \times 10, \text{H}_2\text{SO}_4 = F_4 \times 4, \text{H}_2\text{SO}_4 \Rightarrow 0,98 \cdot 650 = 0,68 \cdot F_4 \Rightarrow F_4 = 936,76 \text{kg/h}$$

El caudal de vapor que sale aproximadamente es de 126kg/h. La composición del ácido alrededor del 99 %.

Balance de materia al ácido nítrico:

$$F_2 \times 2, \text{HNO}_3 = F_3 \times 3, \text{HNO}_3 + F_4 \times 4, \text{HNO}_3 \Rightarrow F_3 = 177,6 \text{kg/h}$$

Transformamos el %p de la corriente (5) a %m.

$$\frac{98,5/63}{98,5/63 + 1,5/18} = 94,9 \%$$

Balance de materia (en moles) al ácido nítrico:

$$n_{3, \text{HNO}_3} = n_{5, \text{HNO}_3} + \xi \Rightarrow 177,6 \cdot 0,995/63 = 0,949 \cdot n_5 + \xi$$

Balance de materia (en moles) al agua (teniendo en cuenta que es despreciable el agua que se va con la corriente (6)):

$$n_{3, \text{H}_2\text{O}} = n_{5, \text{H}_2\text{O}} - 1/2\xi \Rightarrow 177,6 \cdot 0,005/18 = 0,051n_5 - 0,5\xi$$

Resolviendo estas dos ecuaciones se obtiene : $n_5 = 2,76 \text{kmol/h} \Rightarrow 0,949 * 2,76 * 63 + 0,051 * 2,76 * 18 = 167,5 \text{kg/h}$ y $\xi = 0,186 \text{kmol/h}$

Luego lo que se descompone es : $0,186 \text{kmol/h}$ de $177,6 \cdot 0,995/63 = 2,805 \text{kmol/h}$ que entran al condensador, $0,186/2,805 = 6,6 \%$

El óxido nítrico que entra a la columna de absorción son los $0,186 \text{kmol/h}$, dado que se absorbe un 95 % tenemos que se forma:

$$\xi = 0,95 \cdot 0,186 = 0,1767 \text{kmol/h} \Rightarrow 0,1767 \cdot 63 = 11,13 \text{kg/h}$$

La cantidad necesaria a aportar en (9) es:

Balances al ác. nítrico y al agua:

$$F_9 \times 9, \text{HNO}_3 + \xi = F_8 \times 8, \text{HNO}_3 \Rightarrow 0,45 \cdot F_9 + 11,13 = 0,55 F_8$$

$$F_9 \times 9, \text{H}_2\text{O} = F_8 \times 8, \text{H}_2\text{O} \Rightarrow 0,55 \cdot F_9 = 0,45 \cdot F_8$$

Se obtiene: $F_8 = 61,22 \text{kg/h}$ y $F_9 = 50,09 \text{kg/h}$

La composición de (7) queda:

$$\text{NO}_2 = 0,186 - 0,1767 = 0,01 \text{kmol/h}$$

$$\text{O}_2 = 0,186/4 = 0,046 \text{kmol/h}$$

Balance de entalpía:

$$Q + \sum m_{\text{in}} h_{\text{in}} = \sum m_{\text{out}} h_{\text{out}}$$

Los valores de los calores de dilución se leen del diagrama triangular proporcionado. La entalpía del vapor se lee del diagrama de Mollier proporcionado.

$$Q = 25880 \text{kcal/h}$$