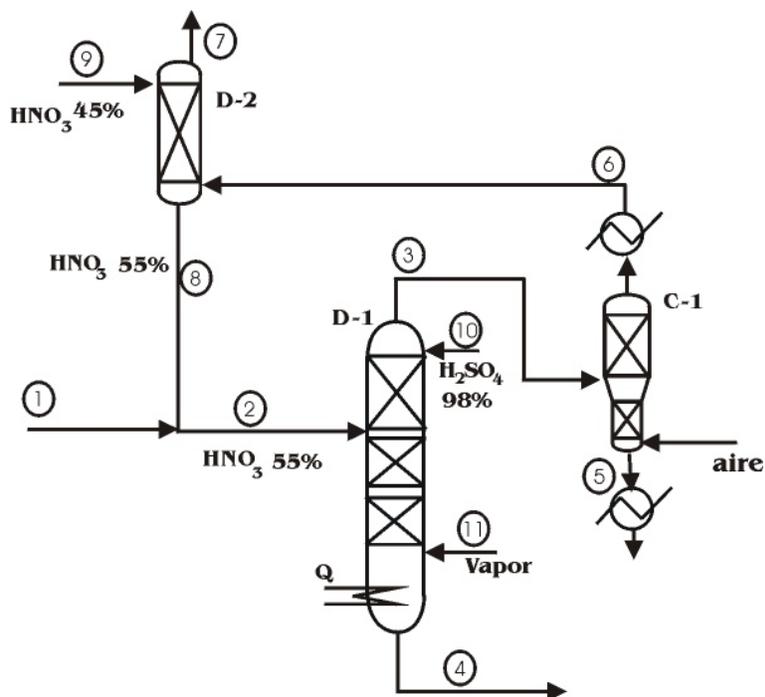
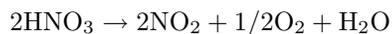


La siguiente figura muestra el proceso de concentración de ácido nítrico empleando ácido sulfúrico. La alimentación fresca ( ① ) se mezcla con la corriente de reciclo ( ⑧ ) para introducirse posteriormente a la columna. La columna es alimentada por cabeza con ácido sulfúrico del 98 %p. La columna utiliza 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 nítrico para reciclarlo a la columna de destilación extractiva (D-1).



Reacción de descomposición del ácido nítrico:



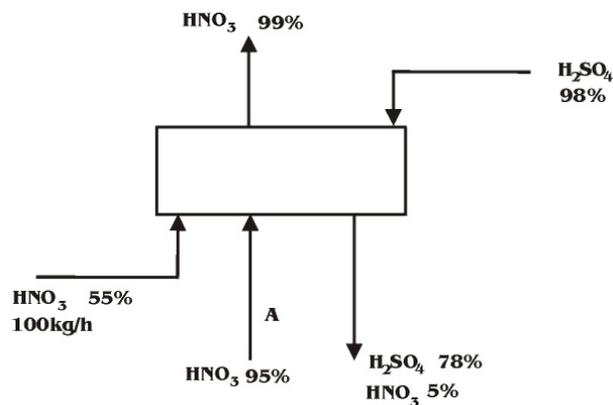
Datos:

- 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 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)
5. Teniendo en cuenta los datos de la siguiente figura (y empleando el diagrama triangular), determinar la cantidad de ác. nítrico que tiene la corriente (A) y la cantidad de ácido sulfúrico necesaria. (2 puntos)

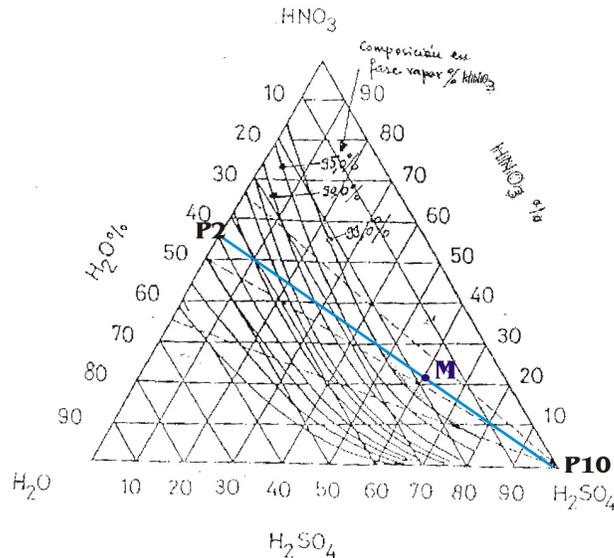


Tiempo 1hora 30minutos

### Solución

En el diagrama triangular se sitúan los puntos de las corrientes (2) y (10) y se traza la línea que los une. Dado que conocemos sus caudales podemos hallar el punto representativo de la mezcla mediante la regla de la palanca.

Sobre este punto y extrapolando obtenemos que la concentración de los vapores que salen de la etapa tienen una concentración de ác. nítrico del 99.5%p.



**La regla de la palanca queda:**

$$\frac{340\text{kg/h nítrico}}{340+650\text{ total}} = 0.34 = \frac{Mp2}{P2p10}$$

$$Mp2 = 0.34 P2p10$$

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.

$$F_{10} \times 10, H_2SO_4 = F_4 \times 4, H_2SO_4 \Rightarrow 0,98 \cdot 650 = 0,68 \cdot F_4 \Rightarrow F_4 = 936,76\text{kg/h}$$

Balance de materia al ácido nítrico:

$$F_2 \times 2, HNO_3 = F_3 \times 3, HNO_3 + F_4 \times 4, HNO_3 \Rightarrow 340 \cdot 0,55 = F_3 \cdot 0,995 + 936,76 \cdot 0,01 \Rightarrow F_3 = 177,6\text{kg/h}$$

Balance de materia global a la columna:

$$F_2 + F_{10} + F_{11} = F_3 + F_4 \Rightarrow F_{11} = 124,36\text{kg/h}$$

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 :  $n_5 = 2,76\text{kmol/h} \Rightarrow 0,949 \cdot 2,76 \cdot 63 + 0,051 \cdot 2,76 \cdot 18 = 167,5\text{kg/h}$  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 oxido nitroso 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:

$$F_{9\text{X}_9,\text{HNO}_3} + \xi = F_{8\text{X}_8,\text{HNO}_3} \Rightarrow 0,45 \cdot F_9 + 11,13 = 0,55F_8$$

$$F_{9\text{X}_9,\text{H}_2\text{O}} = F_{8\text{X}_8,\text{H}_2\text{O}} \Rightarrow 0,55 \cdot F_9 = 0,45 \cdot F_8$$

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:

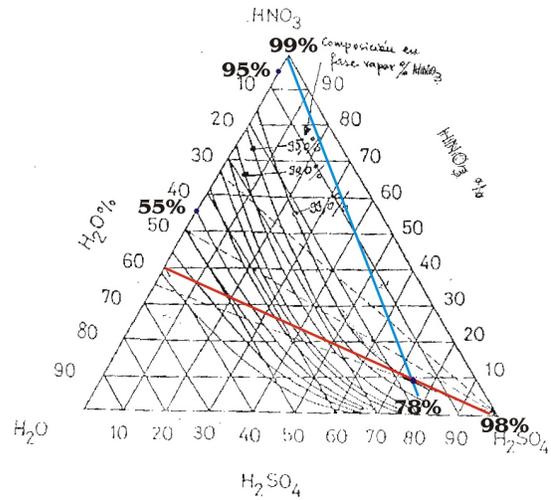
$$Q + \Sigma m_{\text{in}} h_{\text{in}} = \Sigma m_{\text{out}} h_{\text{out}}$$

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

ENTRA	(2)	(10)	(11)
HNO <sub>3</sub>	$187 \cdot 0,4 \cdot 60 = 4428\text{kcal/h}$	—	—
H <sub>2</sub> O	$153 \cdot 1 \cdot 60 = 9180\text{kcal/h}$	$1 \cdot 30 = 390$	$124 \cdot 660 = 81840\text{kcal/h}$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	—	$637 \cdot 0,35 \cdot 30 = 6688,5\text{kcal/h}$	—
Dilución	$340 \cdot 45015300\text{kcal/h}$	$10 \cdot 650 = 6500\text{kcal/h}$	—
TOTAL	$28968\text{kcal/h}$	$13579\text{kcal/h}$	$81840\text{kcal/h}$

SALE	(3)	(4)
HNO <sub>3</sub>	$176,7 \cdot 0,4 \cdot 95 = 6714,6\text{kcal/h}$	$9,36 \cdot 0,4 \cdot 145 = 543$
H <sub>2</sub> O	$1 \cdot 1 \cdot 95 = 95\text{kcal/h}$	$290,4 \cdot 1 \cdot 145 = 42108\text{kcal/h}$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	—	$637 \cdot 0,35 \cdot 145 = 32328\text{kcal/h}$
Dilución	—	$936,7 \cdot 73 = 68379\text{kcal/h}$
TOTAL	$6909,6\text{kcal/h}$	$143360\text{kcal/h}$

$$Q + 28968 + 13579 + 81480 = 6909,6 + 143360 \Rightarrow Q = 25880\text{kcal/h}$$



Conociendo la composición de salida se traza la recta que une el 99% de nítrico con el 78% de sulfúrico. Donde corte a la curva del 99% tenemos el punto mezcla.

Trazamos una recta desde sulfúrico del 98% y que pase por el punto mezcla, donde corte al eje nítrico-agua tenemos el punto representativo de la mezcla del nítrico al 55% con el nítrico al 95% y mediante la palanca obtenemos sus proporciones.

En este caso al estar el punto fuera del tramo que une a estos dos puntos implica que no puede ser punto suma de los mismos sino punto diferencia y por tanto el esquema dibujado no es posible.