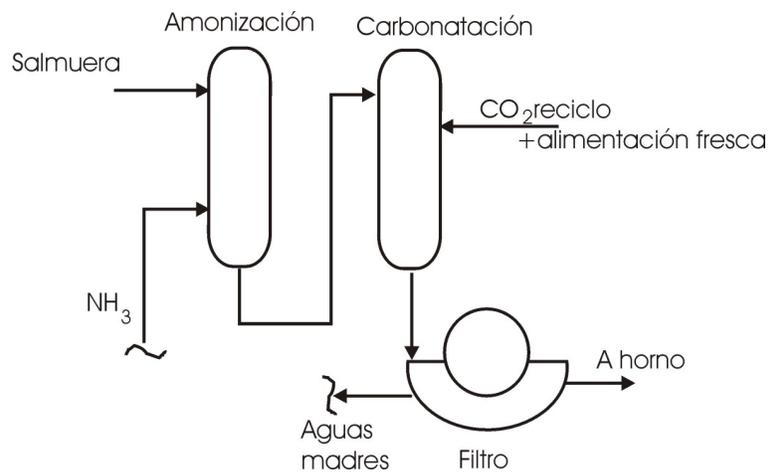


Una planta de producción de carbonato sódico por el proceso Solvay (de la que se ilustra una sección en la figura 1) es alimentada por $25\text{m}^3/\text{h}$ de una salmuera saturada de cloruro sódico ($36\text{g NaCl}/100\text{g}$ de agua). Conociendo que la relación molar $\text{NH}_4\text{HCO}_3 : \text{NaCl}$ en la torre de carbonatación es de 1:1.09 se pide:

- Calcular el caudal y la composición de las aguas madres que salen de la torre de carbonatación. (3.5ptos)
- El rendimiento en sodio y la producción de carbonato sódico si el rendimiento del horno es del 98%. (2.5ptos)
- La cantidad de CO_2 fresco que hay que alimentar a la planta. (1.5ptos)
- El calor que hay que eliminar en la sección amonización-carbonatación para que la corriente de salida de esta última esté a 20°C . (2.5ptos)



Datos:

- Diagrama de Jaenecke en las condiciones de operación.
- Densidad de la salmuera $1.2\text{kg}/\text{l}$
- Pesos atómicos: $\text{Na}=23$, $\text{Cl}=35.5$, $\text{N}=14$, $\text{H}=1$, $\text{O}=16$, $\text{C}=12$.
- Calores de formación en kJ/mol (a 25°C): $\text{NaCl}=-411$, $\text{NH}_3 = -43$, $\text{CO}_2 = -393.5$, $\text{H}_2\text{O} = -285.8$, $\text{NaHCO}_3 = -945$, $\text{NH}_4\text{Cl} = -300$.
- Calor específico medio ($\text{kcal}/\text{kmol}^\circ\text{C}$): aguas madres=6, bicarbonato sódico=15.
- Las corrientes de salmuera, amoníaco y dióxido de carbono entran a 25°C .
- Considérense despreciables los calores de dilución.

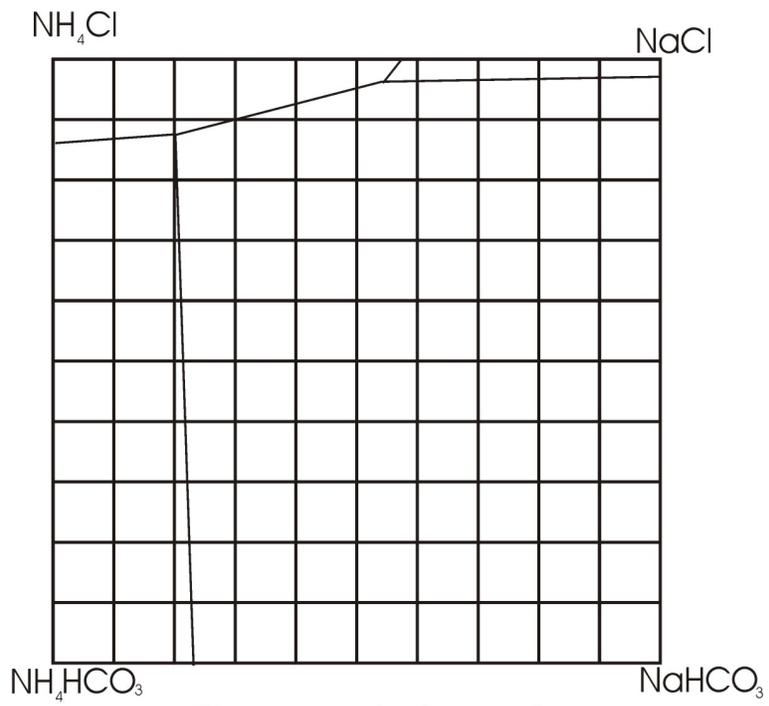


Diagrama de Jaenecke

SOLUCIÓN

Se sitúa el punto de alimentación (E) en el diagrama de Jaenecke teniendo en cuenta la relación :

$$\frac{1.09}{2.09} = \frac{\overline{\text{NH}_4\text{HCO}_3\text{E}}}{11.4\text{cm}} \Rightarrow \overline{\text{NH}_4\text{HCO}_3\text{E}} = 5.94\text{cm}$$

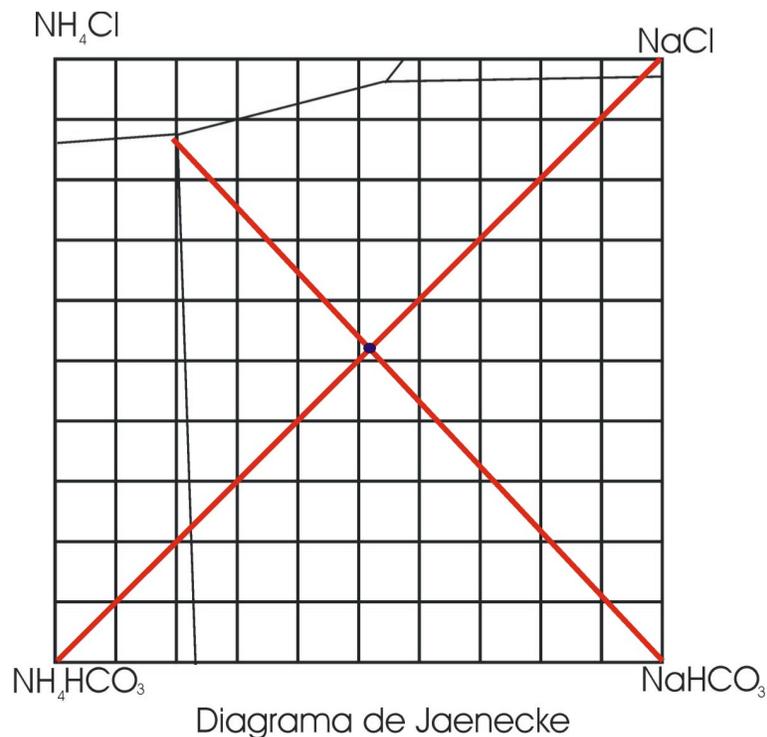
Uniendo NaHCO_3 con el punto E se obtiene el punto de las aguas madres (I).

$$\text{NH}_4^+ = 0.81$$

$$\text{Na}^+ = 0.19$$

$$\text{Cl}^- = 0.88$$

$$\text{HCO}_3^- = 0.12$$



La salmuera alimentada:

$$25\text{m}^3/\text{h} * 1200\text{kg}/\text{m}^3 = 30000\text{kg}/\text{h}$$

$$\text{NaCl}_{\text{alim}} = 30000 * 36(100 + 36) = 7941\text{kg}/\text{h} \Rightarrow 135.74\text{kmol}/\text{h}$$

$$\text{H}_2\text{O}_{\text{alim}} = 30000 - 7941 = 22059\text{kg}/\text{h}$$

Como no hay pérdidas de Cloro todo está en las aguas madres luego sabemos $\text{Cl}^- = 135.74\text{kmol}/\text{h}$ en aguas madres.

El total de aniones ($\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-$):

$$0.88 = \text{Cl}^- / \text{total}_{\text{aniones}} = 135.74 / \text{total}_{\text{aniones}} \Rightarrow \text{total}_{\text{aniones}} = 154.25\text{kmol}/\text{h}$$

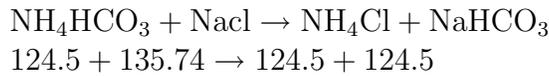
Luego este es el caudal de las aguas madres (dada la relación molar 1:1 de todos los compuestos), $154.25\text{kmol}/\text{h}$.

Las aguas madres quedan con la siguiente composición:

$$\begin{aligned} \text{NH}_4^+ &= 0.81 * 154.25 = 124.9 \text{ kmol/h} \\ \text{Na}^+ &= 0.19 * 154.25 = 29.7 \text{ kmol/h} \\ \text{Cl}^- &= 135.74 \text{ kmol/h} \\ \text{HCO}_3^- &= 0.12 * 154.25 = 18.51 \text{ kmol/h} \end{aligned}$$

Siendo los compuestos que la forman:

$$\begin{aligned} \text{NH}_4\text{Cl} &= 124.5 \text{ kmol/h} \\ \text{NaCl} &= 11.21 \text{ kmol/h} \\ \text{NaHCO}_3 &= 18.51 \text{ kmol/h} \end{aligned}$$



Como se observa en la reacción anterior el bicarbonato amónico es el reactivo limitante estando el exceso de NaCl en las aguas madres.

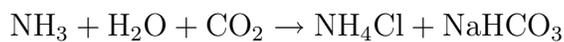
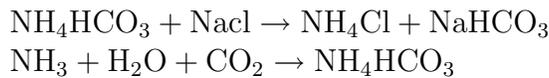
El rendimiento en sodio:

$$\eta = (135.7 - 29.7) / 135.7 = 78.12\%$$

La producción de carbonato es $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 0.98 * 1/2(135.7 - 29.7) = 0.98 * 1/2(124.5 - 18.5) = 51.9 \text{ kmol/h}$

El CO_2 a alimentar será el necesario para la reacción (124.5) menos el reciclado. El reciclado es el procedente de la descomposición del bicarbonato, 51.9 kmol/h (teniendo en cuenta el 2% de pérdidas).

Luego el dióxido fresco que es necesario alimentar es: $124.5 - 51.9 = 72.6 \text{ kmol/h}$.



El calor de reacción de la global será:

$$\text{Hf}(\text{prod}) - \text{Hf}(\text{react}) = -300 - 945 - (-411 - 43 - 393.5 - 285.8) = -112.2 \text{ kJ/mol} = -26 \text{ kcal/mol}$$

El balance de entalpía a ambas columnas del proceso:

$$\begin{aligned} \sum m_e H_e + Q &= m_r H_r + \sum m_s H_s \\ Q &= 154.25 * 6 * (20 - 25) + 106 * 15 * (20 - 25) + (-26) * 124.5 * 10^3 = -3249600 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

que se deben eliminar del proceso.