

Tema 2

BALANCES MACROSCÓPICOS DE MATERIA

*2.1. Balances de materia en sistemas multicomponente.
Sin reacción química.
Con reacción química.*

Este material se publica bajo licencia: Creative Commons BY-NC-SA 4.0



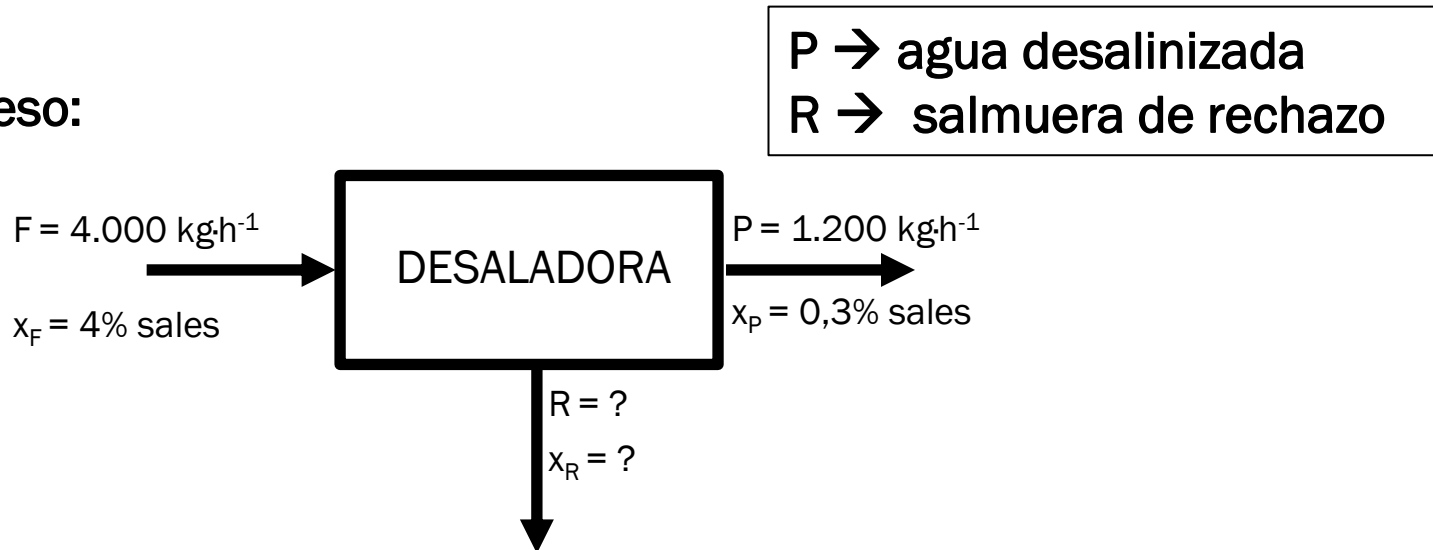
Balances de materia a un equipo (I)

En una planta de desalinización por ósmosis inversa se tratan $4000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ de una disolución salina con un 4% en peso de sal, obteniéndose dos corrientes: i) $1200 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ de agua desalinizada con un 0,3% en peso de sales; ii) una corriente de salmuera de rechazo. Calcular el % de sal y el caudal volumétrico de esta salmuera de rechazo.

Balances de materia a un equipo (I)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en la desaladora:

$$F = P + R$$

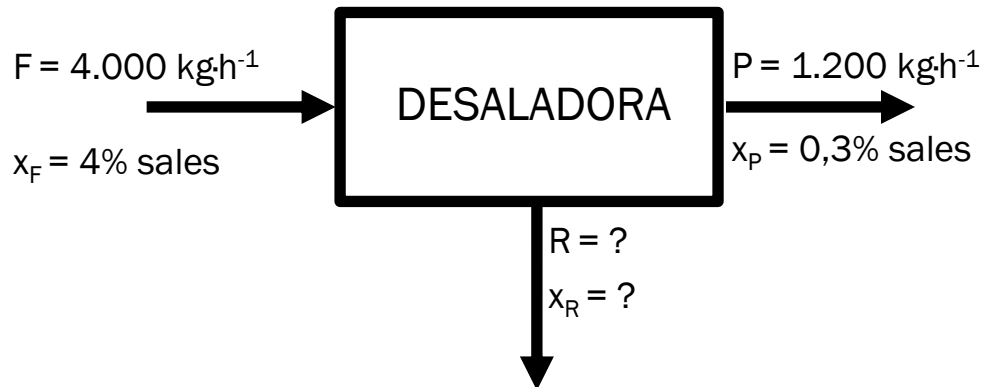
Balance de materia a las sales en la desaladora:

$$F \cdot x_F = P \cdot x_P + R \cdot x_R$$

Balances de materia a un equipo (I)

Solución:

Diagrama de proceso:



P → agua desalinizada
R → salmuera de rechazo

Balance de materia global en la desaladora:

$$F = P + R \xrightarrow{\text{Sustituyendo}} 4.000 \text{ kg·h}^{-1} = 1.200 \text{ kg·h}^{-1} + R \text{ kg·h}^{-1} \longrightarrow R = 2.800 \text{ kg·h}^{-1}$$

Balance de materia a las sales en la desaladora:

$$F \cdot x_F = P \cdot x_P + R \cdot x_R$$

$$x_R = 0,055 \text{ kg sales} \cdot \text{kg}^{-1} = 5,55 \% \text{ sales}$$

Sustituyendo

$$4.000 \text{ kg·h}^{-1} \cdot 0,04 \text{ kg sales} \cdot \text{kg}^{-1} = 1.200 \text{ kg·h}^{-1} \cdot 0,003 \text{ kg sales} \cdot \text{kg}^{-1} + 2.800 \text{ kg·h}^{-1} \cdot x_R \text{ kg sales} \cdot \text{kg}^{-1}$$

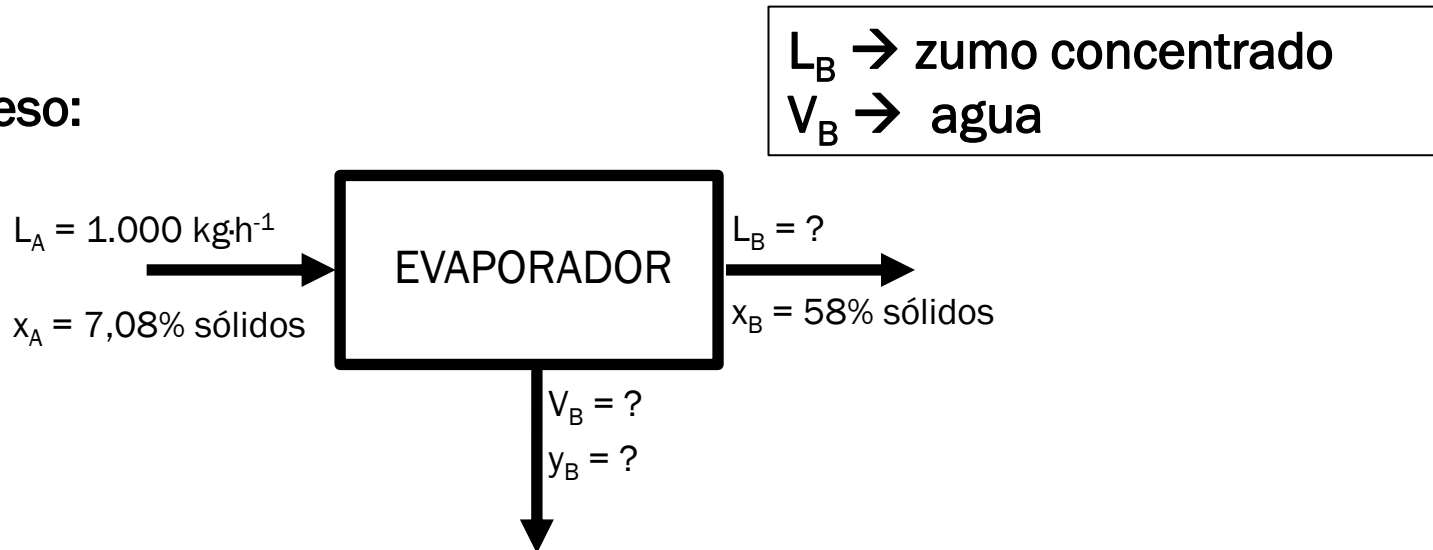
Balances de materia a un equipo (II)

Para concentrar zumo de naranja, el zumo recién extraído y tamizado que contiene 7,08% en peso en sólidos, se alimenta a un evaporador al vacío. En el evaporador se extrae agua y el contenido en sólidos aumenta hasta 58% en peso. Para una entrada de $1.000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$, calcular las cantidades de salida de las corrientes de zumo concentrado y agua.

Balances de materia a un equipo (II)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en el evaporador:

$$L_A = L_B + V_B$$

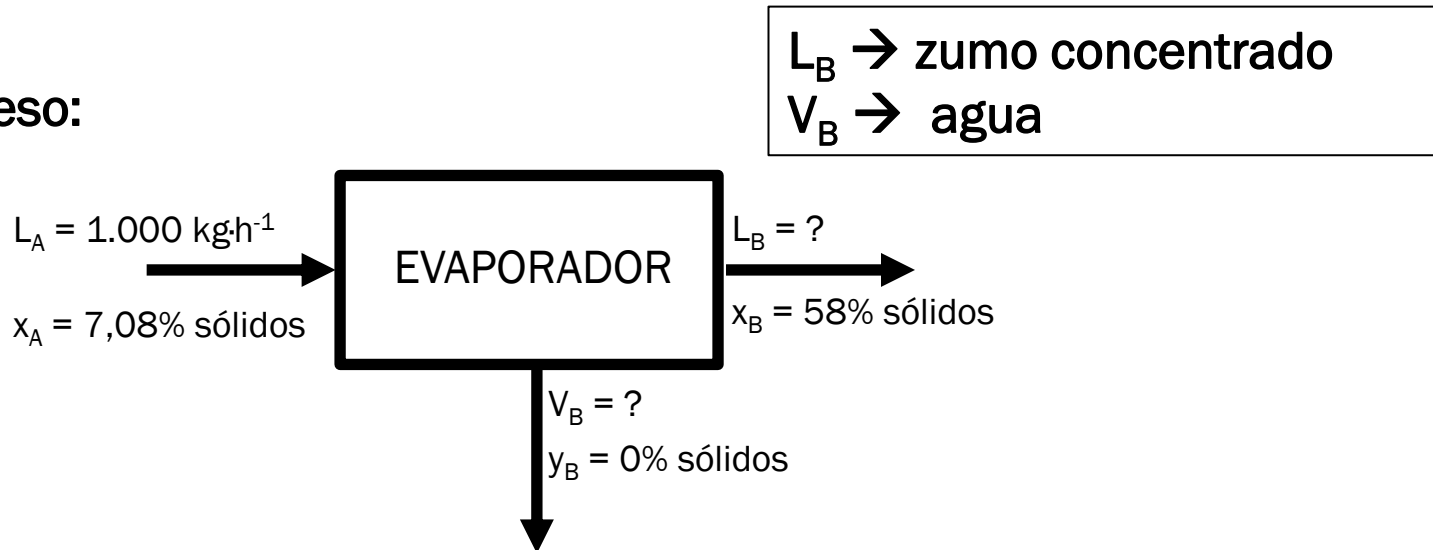
Balance de materia a los sólidos en el evaporador:

$$L_A \cdot x_A = L_B \cdot x_B + V_B \cdot y_B$$

Balances de materia a un equipo (II)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en el evaporador:

$$L_A = L_B + V_B \xrightarrow{\text{Sustituyendo}} 1.000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} = 122 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} + V_B \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \rightarrow V_B = 878 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$$

Balance de materia a los sólidos en el evaporador:

$$L_A \cdot x_A = L_B \cdot x_B + V_B \cdot y_B$$

Sustituyendo $\rightarrow 1.000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,0708 \text{ kg sólidos} \cdot \text{kg}^{-1} = L_B \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,58 \text{ kg sólidos} \cdot \text{kg}^{-1} + V_B \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0 \text{ kg sólidos} \cdot \text{kg}^{-1}$

$L_B = 122 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$

Balances de materia a un equipo (III)

Una columna de destilación se alimenta con una mezcla líquida que contiene 45% de benceno y 55% de tolueno (% en masa). La corriente de producto que abandona la parte superior de la columna (“corriente de cabeza”) contiene 95% de benceno (en moles), mientras que otra corriente que sale de la columna por la parte inferior (“corriente de cola”) contiene el 8% del benceno (en masa) que se alimenta a la columna (lo que significa que el 92% del benceno sale con la corriente de cabeza). El caudal volumétrico de la corriente de alimentación es $2.000 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$, teniendo un valor de temperatura y presión de 293 K y 1bar, respectivamente.

Determinar:

- a) La densidad de la corriente de alimentación.*
- b) El flujo másico de la corriente de cabeza.*
- c) El flujo másico y la composición (en fracciones másicas) de la corriente de cola.*

Balances de materia a un equipo (III)

Solución:

Diagrama de proceso:

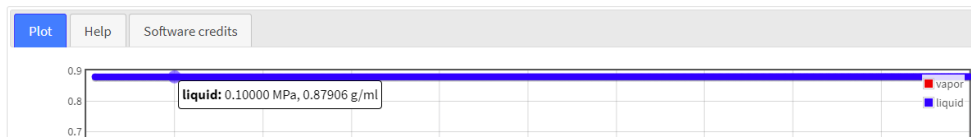


Búsqueda valor densidad de la corriente de la alimentación:

Web de Química del NIST (<https://webbook.nist.gov/>)

Fluid Data

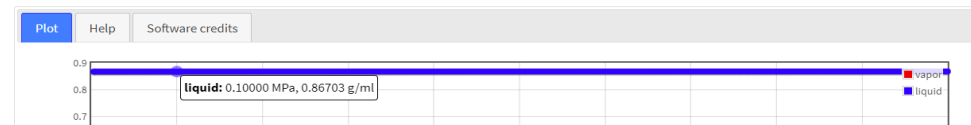
Isothermal Data for T = 293.00 K



$$\rho_b = 0,87906 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$$

Fluid Data

Isothermal Data for T = 293.00 K



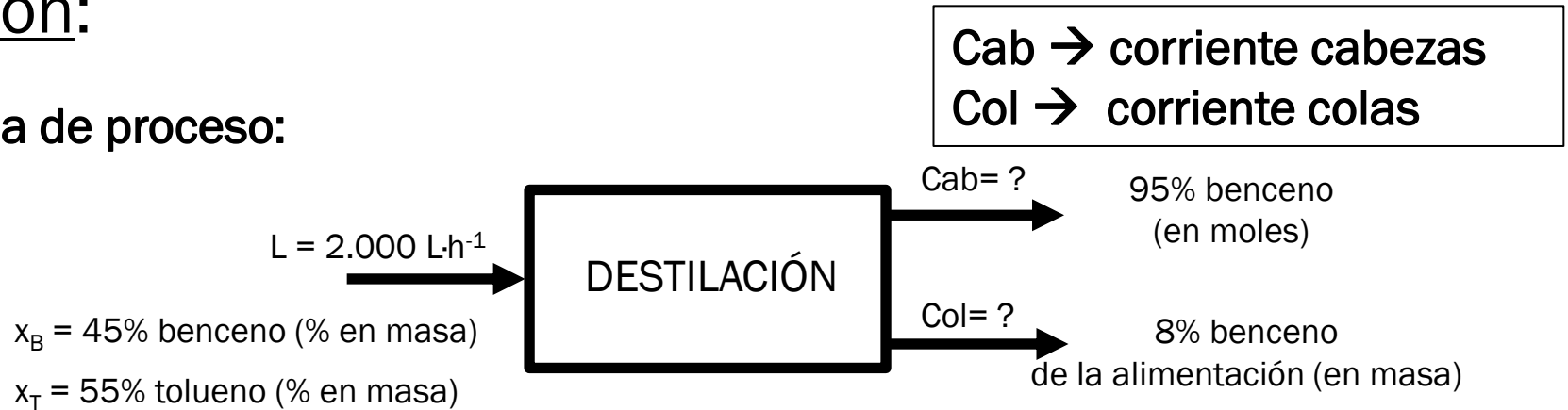
$$\rho_L = 0,45 \cdot 0,87906 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1} + 0,55 \cdot 0,86703 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1} = 0,872 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$$

$$\rho_T = 0,86703 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$$

Balances de materia a un equipo (III)

Solución:

Diagrama de proceso:



Transformar el caudal volumétrico en caudal másico de la corriente de alimentación:

$$M = 2.000 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,872 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1} = 1.744 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$$

Calcular el caudal másico de cada uno de los compuestos de la alimentación:

$$M_B = 1744 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,45 \text{ kg B}\cdot\text{kg}^{-1} = 784,8 \text{ kg B}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$M_T = 1744 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,55 \text{ kg T}\cdot\text{kg}^{-1} = 959,2 \text{ kg T}\cdot\text{h}^{-1}$$

Balances de materia a un equipo (III)

Solución:

Diagrama de proceso:



Calcular el benceno de cada una de las corrientes de salida:

$$\text{Col}_B = 784,8 \text{ kg B} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0,08 = 62,784 \text{ kg B} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$- \text{Cab}_B = 784,8 \text{ kg B} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0,92 = 722,016 \text{ kg B} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$- \text{Cab}_B = 784,8 \text{ kg B} \cdot \text{h}^{-1} - 62,784 \text{ kg B} \cdot \text{h}^{-1} = 722,016 \text{ kg B} \cdot \text{h}^{-1} \longrightarrow \text{Balance de materia al benceno en la columna de destilación}$$

Balances de materia a un equipo (III)

Solución:

Diagrama de proceso:



Transformar el % en moles de la corriente de cabezas en % en masa:

$$100 \text{ kmol} \left\{ \begin{array}{l} 95 \text{ kmol B} \cdot 78 \text{ kg B} \cdot \text{kmol B}^{-1} = 7.410 \text{ kg B} \\ 5 \text{ kmol T} \cdot 92 \text{ kg T} \cdot \text{kmol T}^{-1} = 460 \text{ kg T} \end{array} \right\} 7.870 \text{ kg totales}$$

$$x_{\text{CabB}} = 7.410 \text{ kg B} \cdot (7.870 \text{ kg totales})^{-1} = 94,15 \% \text{ benceno}$$

$$\text{Cab}_B = x_{\text{CabB}} \cdot \text{Cab}$$

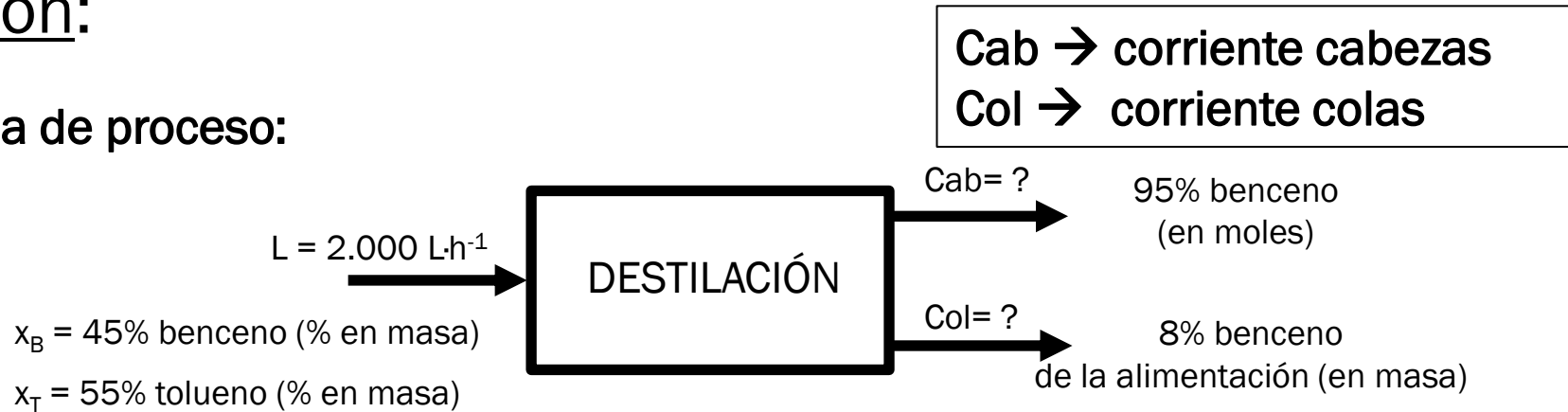
$$x_{\text{CabT}} = 460 \text{ kg T} \cdot (7.870 \text{ kg totales})^{-1} = 5,84 \% \text{ tolueno}$$

$$\text{Cab} = 722,016 \text{ kg B}\cdot\text{h}^{-1} \cdot (0,9415 \text{ kg B}\cdot\text{kg totales}^{-1})^{-1} = 766,87 \text{ kg totales}\cdot\text{h}^{-1}$$

Balances de materia a un equipo (III)

Solución:

Diagrama de proceso:



Calcular el caudal másico por la corriente de colas aplicando un balance de materia en la columna de destilación:

$$1.744 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} = 766,87 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} + Col \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \longrightarrow \boxed{Col = 977,13 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}}$$

Calcular el caudal másico del tolueno por ambas corrientes aplicando los correspondientes balances de materia en la columna de destilación:

$$Col = Col_B + Col_T \quad 977,13 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} = 62,784 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} + Col_T \longrightarrow \boxed{Col_T = 914,346 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}}$$

$$Cab = Cab_B + Cab_T \quad 766,87 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} = 722,016 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} + Cab_T \longrightarrow \boxed{Cab_T = 44,854 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}}$$

Balances de materia a un equipo (III)

Solución:

Diagrama de proceso:



Calcular las fracciones másicas de ambas corrientes:

$$\text{Col} = 977,13 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \left\{ \begin{array}{l} \text{Col}_T = 914,346 \text{ kg T}\cdot\text{h}^{-1} \\ \text{Col}_B = 62,784 \text{ kg B}\cdot\text{h}^{-1} \end{array} \right. \rightarrow \begin{array}{l} x_{\text{ColT}} = 93,57 \% \\ x_{\text{ColB}} = 6,43 \% \end{array}$$

$$\text{Cab} = 766,87 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \left\{ \begin{array}{l} \text{Cab}_T = 44,854 \text{ kg T}\cdot\text{h}^{-1} \\ \text{Cab}_B = 722,016 \text{ kg B}\cdot\text{h}^{-1} \end{array} \right. \rightarrow \begin{array}{l} x_{\text{CabT}} = 5,84 \% \\ x_{\text{CabB}} = 94,16 \% \end{array}$$

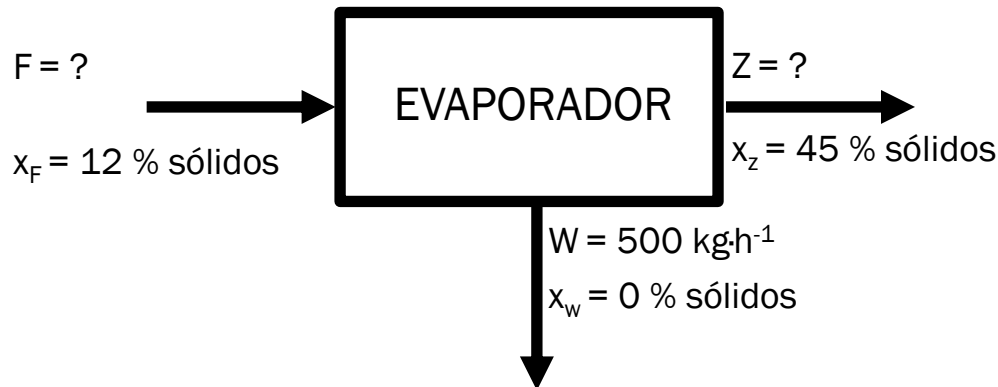
Balances de materia a un equipo (IV)

Un evaporador tiene una velocidad de evaporación de $500 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ de agua. Calcular la velocidad de producción de zumo concentrado con un 45 % en sólidos partiendo de un zumo con un 12 % en sólidos?

Balances de materia a un equipo (IV)

Solución:

Diagrama de proceso:



Z → corriente de zumo
W → corriente de agua

Balance de materia global en el evaporador:

$$F = Z + W$$

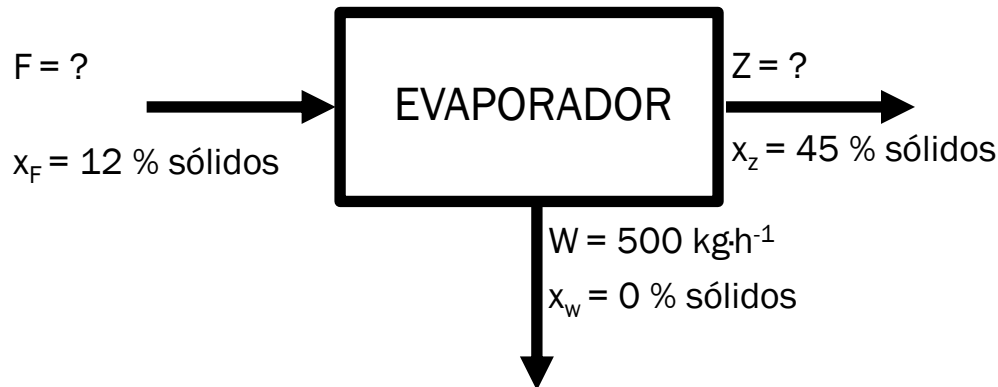
Balance de materia a los sólidos en el evaporador:

$$F \cdot x_F = Z \cdot x_Z + W \cdot x_W$$

Balances de materia a un equipo (IV)

Solución:

Diagrama de proceso:



Z → corriente de zumo
W → corriente de agua

Balance de materia global en el evaporador:

$$F = Z + W \longrightarrow F \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} = Z \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} + 500 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \longrightarrow F = 682 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

Balance de materia a los sólidos en el evaporador:

$$F \cdot x_F = Z \cdot x_Z + W \cdot x_W$$

$$Z = 182 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

Sustituyendo $\hookrightarrow F \cdot 0,12 \text{ kg sólidos} \cdot \text{kg}^{-1} = Z \cdot 0,45 \text{ kg sólidos} \cdot \text{kg}^{-1} + 500 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0 \text{ kg sólidos} \cdot \text{kg}^{-1}$

Balances de materia a un equipo (V)

En un proceso de captura de CO_2 basado en absorción/desorción con disoluciones de MEA, entra una corriente de gases de combustión de 11.000 kmol/h con un 12,57% de CO_2 (% en moles). Se quiere lograr que la concentración de CO_2 en los gases que finalmente se expulsan por chimenea no sea superior a $1,39 \cdot 10^{-2}$ en fracción molar. Calcular el flujo de la corriente de CO_2 que se obtiene como producto, suponiendo que su pureza es del 91% en moles.

Balances de materia a un equipo (V)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia global al proceso:

$$A = B + C \xrightarrow{\text{Sustituyendo}} 11.000 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} = B \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} + C \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \longrightarrow \boxed{B = 9.628 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}}$$

Balance de materia al CO_2 en el proceso:

$$A \cdot x_A = B \cdot x_B + C \cdot x_C$$

Sustituyendo $\hookrightarrow 11.000 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0,1257 \text{ kmol CO}_2 \cdot \text{kmol}^{-1} = B \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0,0139 \text{ kmol CO}_2 \cdot \text{kmol}^{-1} + C \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0,91 \text{ kmol CO}_2 \cdot \text{kmol}^{-1}$

$$\boxed{C = 1.372 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}}$$

Balances de materia a un equipo (V)

Solución:

Diagrama de proceso:



Cálculo del flujo molar de CO_2 en la corriente B:

$$\dot{m}_{\text{CO}_2} = 9.628 \frac{\text{kmol totales}}{\text{h}} \cdot \frac{1,39 \cdot 10^{-2} \text{ kmol CO}_2}{1 \text{ kmol totales}} = 134 \frac{\text{kmol CO}_2}{\text{h}}$$

Cálculo del flujo molar de CO_2 en la corriente C:

$$\dot{m}_{\text{CO}_2} = 1.372 \frac{\text{kmol totales}}{\text{h}} \cdot \frac{91 \text{ kmol CO}_2}{100 \text{ kmol totales}} = 1.248 \frac{\text{kmol CO}_2}{\text{h}}$$

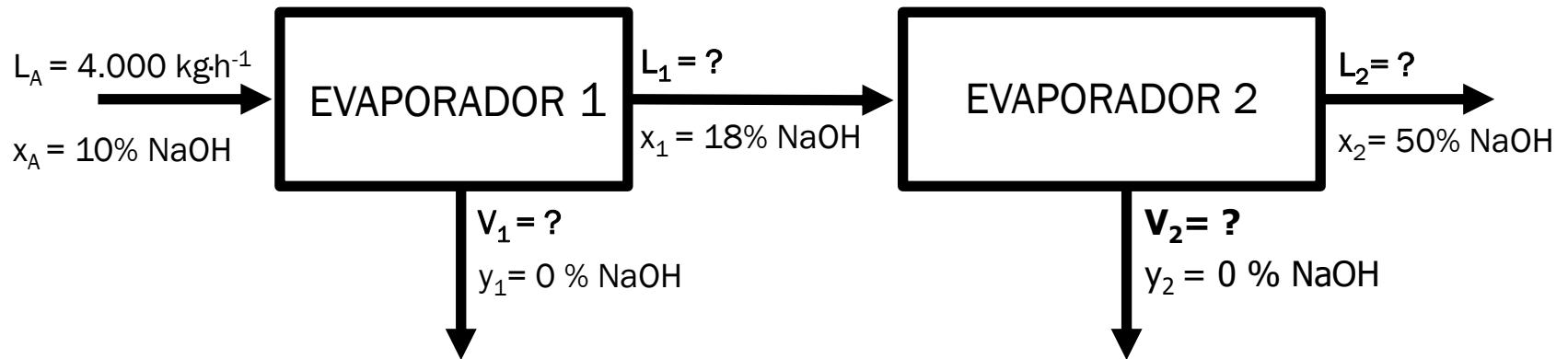
Balances de materia a varios equipos (I)

En un proceso para producir NaOH se usan $4.000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ de una solución que contiene 10% de NaOH en peso para concentrarla en el primer evaporador, obteniéndose una solución de 18% de NaOH en peso. Ésta se alimenta a un segundo evaporador, del cual sale un producto que contiene 50% de NaOH en peso. Calcular el agua extraída en cada evaporador, la alimentación al segundo evaporador y la cantidad de producto.

Balances de materia a varios equipos (I)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en el evaporador 1:

$$L_A = V_1 + L_1 \xrightarrow{\text{Sustituyendo}} 4.000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} = V_1 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} + L_1 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$V_1 = 1.778 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$$

Balance de materia al NaOH en el evaporador 1:

$$L_A \cdot x_A = V_1 \cdot y_1 + L_1 \cdot x_1$$

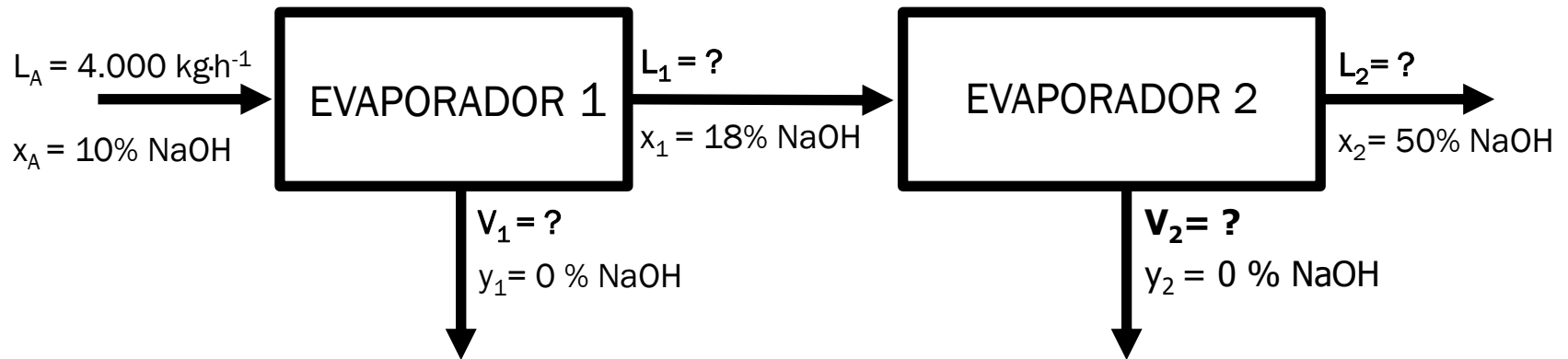
Sustituyendo $\rightarrow 4.000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,01 \text{ kg NaOH} \cdot \text{kg}^{-1} = V_1 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0 \text{ kg NaOH} \cdot \text{kg}^{-1} + L_1 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,18 \text{ kg NaOH} \cdot \text{kg}^{-1}$

$$L_1 = 2.222 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$$

Balances de materia a varios equipos (I)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en el evaporador 2:

$$L_1 = V_2 + L_2 \xrightarrow{\text{Sustituyendo}} 4.000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} = V_1 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} + L_1 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$V_2 = 1.422 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$$

Balance de materia al NaOH en el evaporador 2:

$$L_1 \cdot x_1 = V_2 \cdot y_2 + L_2 \cdot x_2$$

Sustituyendo $\rightarrow 2.222 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,18 \text{ kg NaOH} \cdot \text{kg}^{-1} = V_2 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0 \text{ kg NaOH} \cdot \text{kg}^{-1} + L_2 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,50 \text{ kg NaOH} \cdot \text{kg}^{-1}$

$$L_2 = 800 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$$

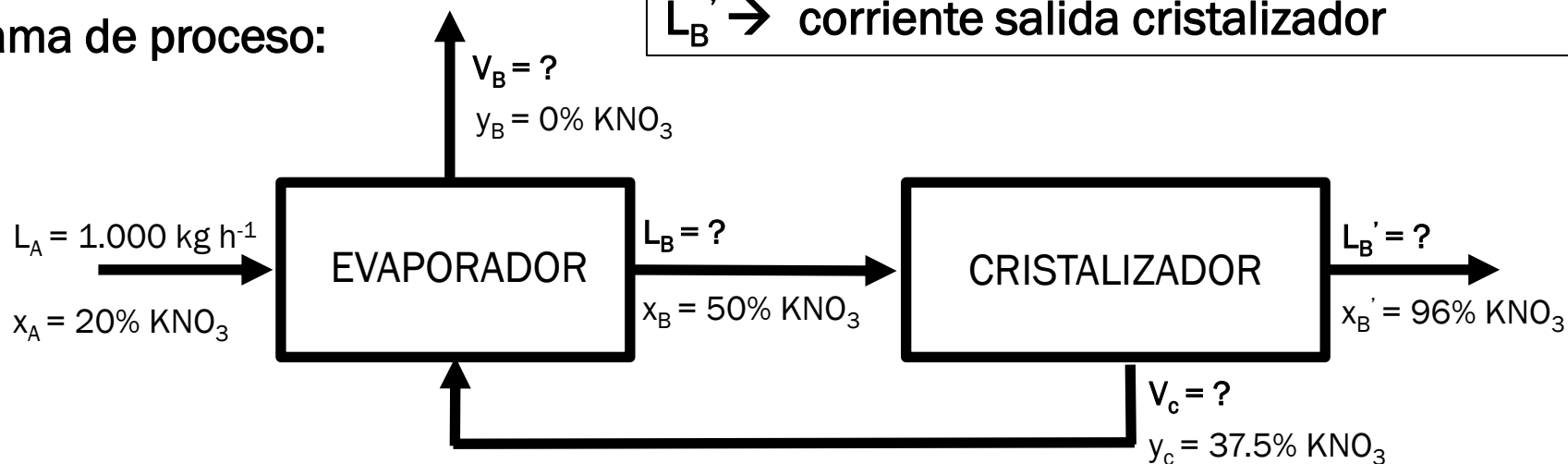
Balances de materia con recirculación

En un proceso que produce KNO_3 , el evaporador se alimenta con $1.000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ de una solución que contienen 20% de KNO_3 en peso y se concentra a 422 K para obtener una solución de KNO_3 al 50% en peso. Esta solución se alimenta a un cristalizador a 311 K, donde se obtienen cristales de KNO_3 de 96% en peso. La solución saturada que contiene 37,5% de KNO_3 en peso se recircula al evaporador. Calcular los caudales ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$) de la corriente de recirculación y la corriente de salida de cristales.

Balances de materia con recirculación

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en el proceso:

$$L_A = V_B + L_B' \xrightarrow{\text{Sustituyendo}} 1.000 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} = V_B \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} + L_B' \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$V_B = 792 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

Balance de materia al KNO_3 en el proceso:

$$L_A \cdot x_A = V_B \cdot y_B + L_B' \cdot x_B'$$

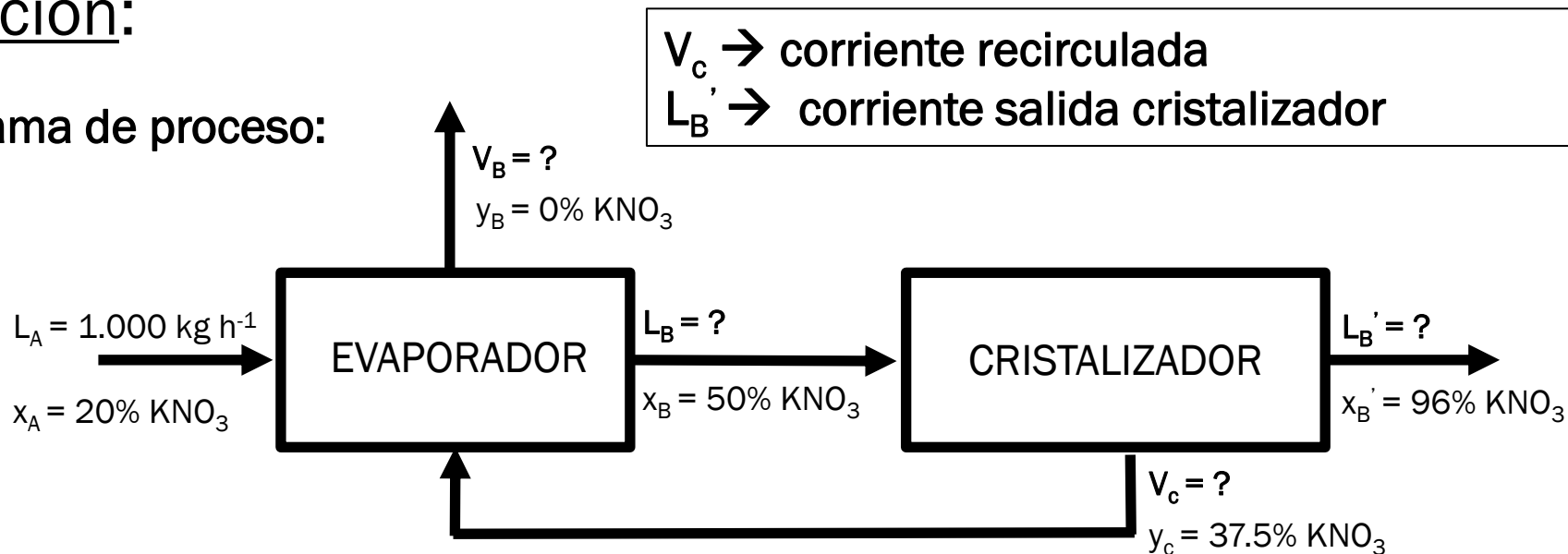
Sustituyendo $\rightarrow 1.000 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0,2 \text{ kg KNO}_3 \cdot \text{kg}^{-1} = V_B \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0 \text{ kg KNO}_3 \cdot \text{kg}^{-1} + L_B' \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0,96 \text{ kg KNO}_3 \cdot \text{kg}^{-1}$

$$L_B' = 208 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

Balances de materia con recirculación

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en el cristalizador:

$$L_B = V_c + L_B' \xrightarrow{\text{Sustituyendo}} L_B \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} = V_c \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} + 208 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \longrightarrow \boxed{V_c = 765 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}}$$

Balance de materia al KNO_3 en el cristalizador:

$$L_B \cdot x_B = V_c \cdot y_c + L_B' \cdot x_B'$$

Sustituyendo $\rightarrow L_B \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,5 \text{ kg KNO}_3 \cdot \text{kg}^{-1} = V_c \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,375 \text{ kg KNO}_3 \cdot \text{kg}^{-1} + 208 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,96 \text{ kg KNO}_3 \cdot \text{kg}^{-1}$

$$\boxed{L_B = 973 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}}$$

Balances de materia con bypass (I)

El zumo de naranja natural (1, ver figura 1) tiene un 12% en peso de sólidos y el resto es agua. En cambio, el zumo de naranja concentrado tiene un 42% en peso de sólidos (5). Para fabricar zumo de naranja concentrado (5), se utiliza el zumo de naranja natural (1) a 25 °C, el cual se somete a un proceso de evaporación en el que lamentablemente algunos componentes volátiles que dan sabor al zumo se pierden con el agua evaporada (6). Para resolver este problema se propone utilizar un bypass de parte del zumo fresco, y a la vez, concentrar el zumo hasta un 58% en el evaporador (4). Esta corriente, que sale a la misma temperatura que el agua evaporada, se reúne con la de bypass y da lugar al zumo concentrado final (5), con un 42% en sólidos, que se destina al consumo y que sale a la temperatura de 60 °C. Partiendo de $100 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ de zumo de naranja natural (1), determinar los caudales y composiciones de todas las corrientes del sistema.

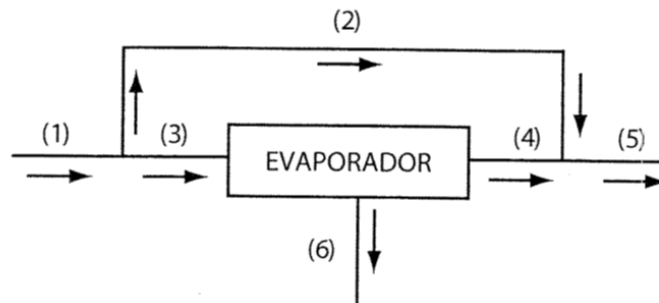
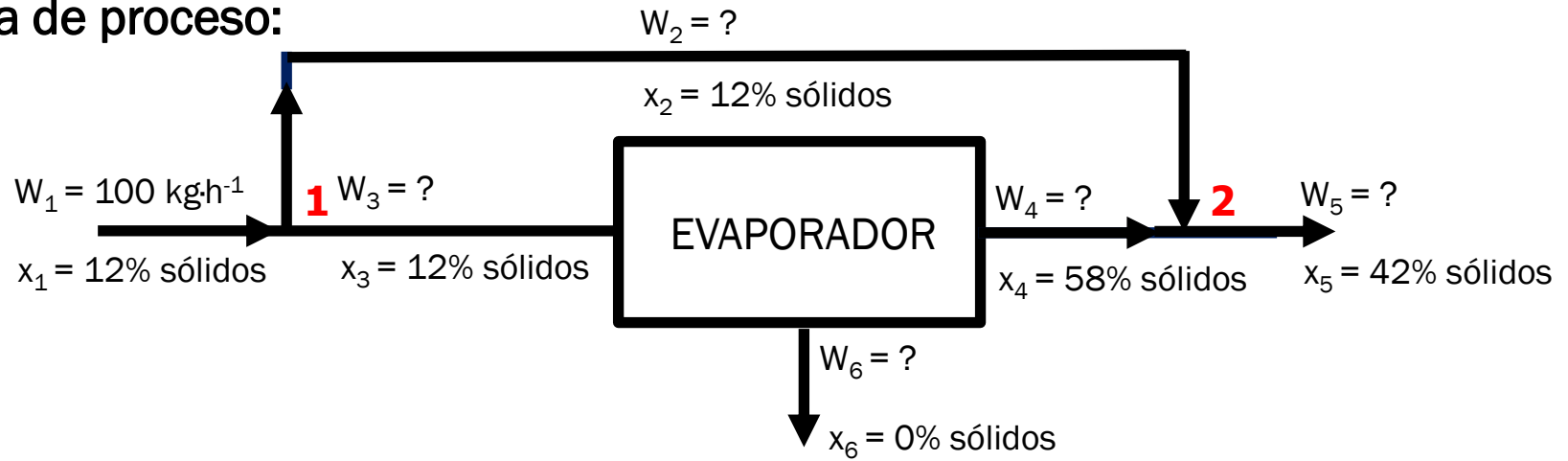


Figura 1. Diagrama del proceso.

Balances de materia con bypass (I)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en el proceso:

$$W_1 = W_6 + W_5 \xrightarrow{\text{Sustituyendo}} 100 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} = W_6 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} + W_5 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$W_6 = 71 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$$

Balance de materia a los sólidos en el proceso:

$$W_1 \cdot x_1 = W_6 \cdot x_6 + W_5 \cdot x_5$$

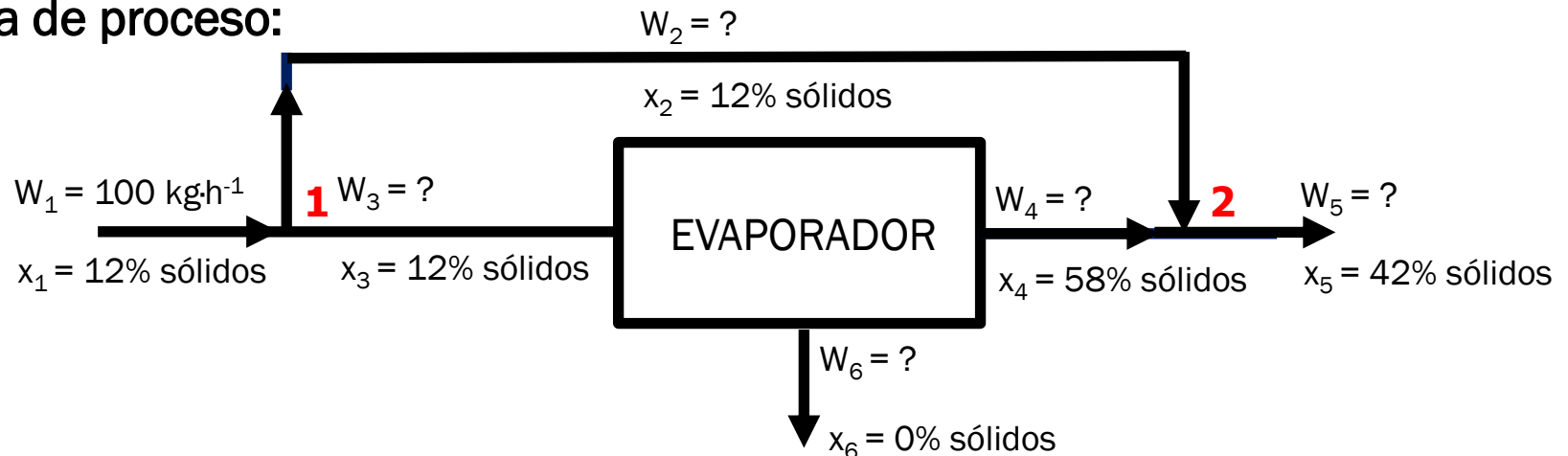
Sustituyendo $\rightarrow 100 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,12 \text{ kg sólidos} \cdot \text{kg}^{-1} = W_6 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0 \text{ kg sólidos} \cdot \text{kg}^{-1} + W_5 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,42 \text{ kg sólidos} \cdot \text{kg}^{-1}$

$$W_5 = 29 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$$

Balances de materia con bypass (I)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en el nodo 2:

$$W_2 + W_4 = W_5 \xrightarrow{\text{Sustituyendo}} W_2 \text{ kg·h}^{-1} + W_4 \text{ kg·h}^{-1} = 29 \text{ kg·h}^{-1}$$

$$W_2 = 10 \text{ kg·h}^{-1}$$

Balance de materia a los sólidos en el nodo 2:

$$W_2 \cdot x_2 + W_4 \cdot x_4 = W_5 \cdot x_5$$

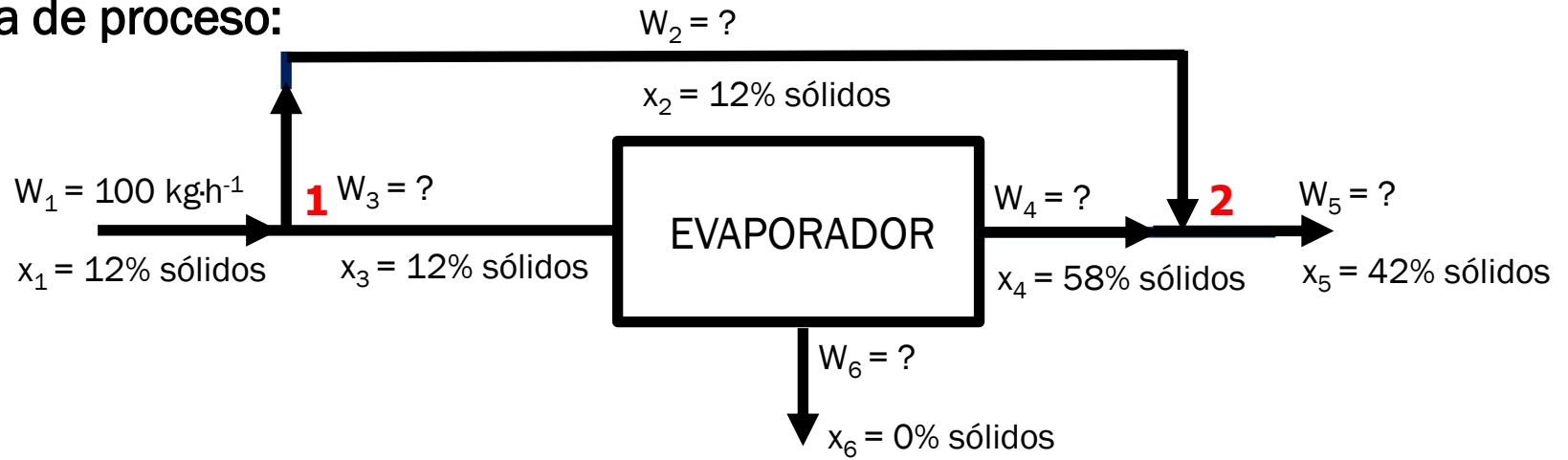
$$W_4 = 19 \text{ kg·h}^{-1}$$

Sustituyendo $\rightarrow W_2 \text{ kg·h}^{-1} \cdot 0,12 \text{ kg sólidos} \cdot \text{kg}^{-1} + W_4 \text{ kg·h}^{-1} \cdot 0,58 \text{ kg sólidos} \cdot \text{kg}^{-1} = 29 \text{ kg·h}^{-1} \cdot 0,42 \text{ kg sólidos} \cdot \text{kg}^{-1}$

Balances de materia con bypass (I)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en el nodo 1:

$$W_1 = W_2 + W_3 \xrightarrow{\text{Sustituyendo}} 100 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} = 10 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} + W_3 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\xrightarrow{\text{Sustituyendo}} W_3 = 90 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$$

Balances de materia con bypass (II)

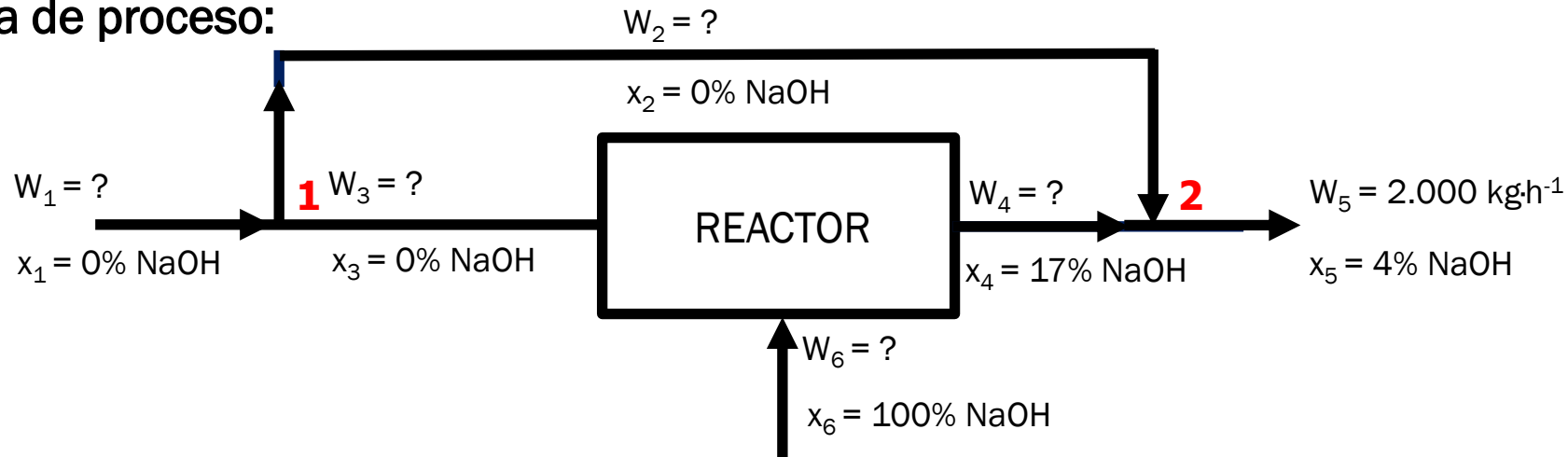
Se desea obtener hidróxido de sodio (NaOH) al 4% en peso. Para ello, se utilizan dos corrientes: una de NaOH sólido puro y otra de agua para disolver el NaOH. Parte de la corriente de agua se divide, de forma que sólo una parte de ella se introduce en el reactor donde se disuelve el NaOH. La corriente de salida del reactor contiene un 17% en peso de NaOH; esta corriente se junta con la corriente de agua de by-pass para producir la disolución de NaOH al 4%.

- a) Calcular cuántos $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ de agua en total es necesario utilizar si se quieren producir 2 toneladas por hora de disolución de NaOH al 4%.*
- b) Calcular qué % de esos $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ de agua totales constituye la corriente de by-pass.*

Balances de materia con bypass (II)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en proceso:

$$W_1 + W_6 = W_5$$

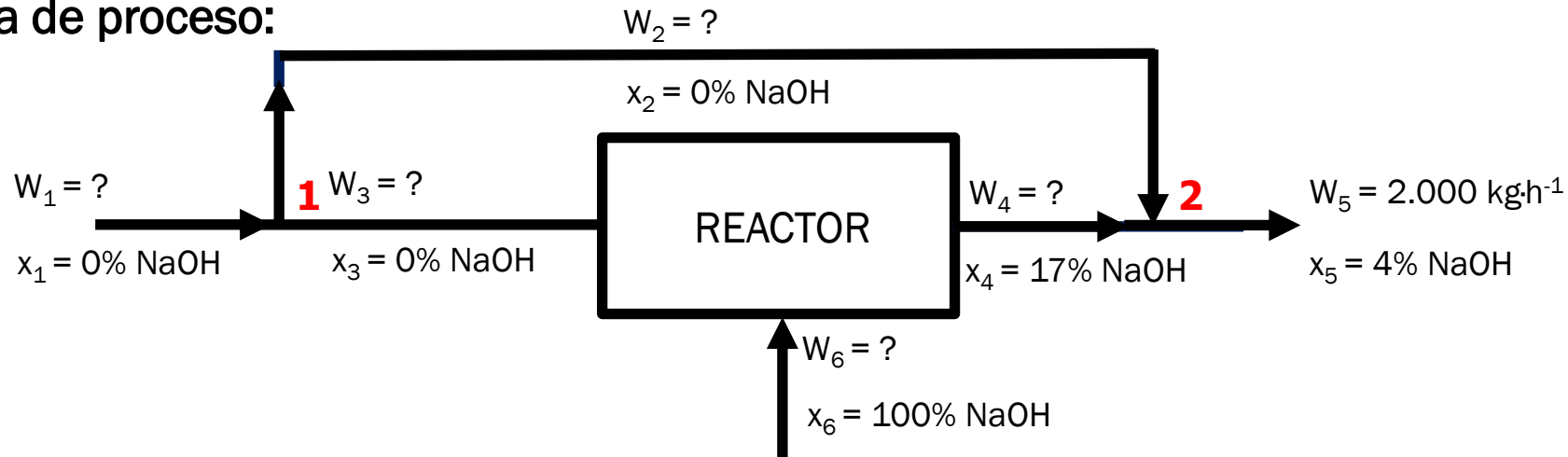
Balance de materia al NaOH en el proceso:

$$W_1 \cdot x_1 + W_6 \cdot x_6 = W_5 \cdot x_5$$

Balances de materia con bypass (II)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en proceso:

$$W_1 + W_6 = W_5$$

Balance de materia al NaOH en el proceso:

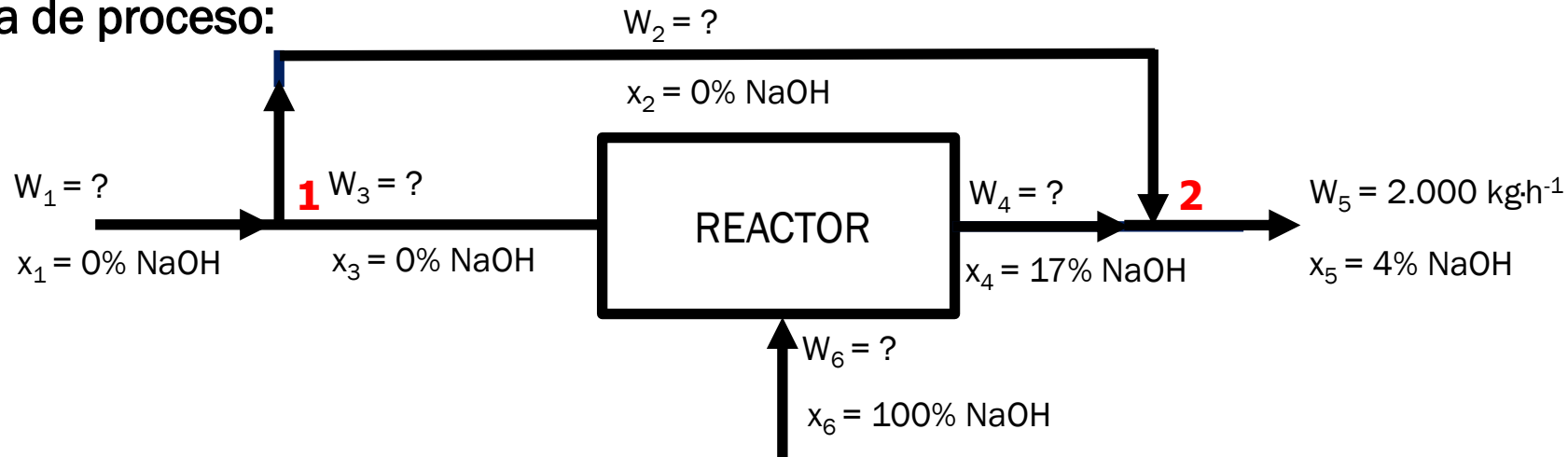
$$W_1 \cdot x_1 + W_6 \cdot x_6 = W_5 \cdot x_5$$

$$W_1 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0 \text{ kg NaOH}\cdot\text{kg}^{-1} + W_6 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 1 \text{ kg NaOH}\cdot\text{kg}^{-1} = 2000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,04 \cdot \text{kg NaOH}\cdot\text{kg}^{-1} \rightarrow \boxed{W_6 = 80 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}}$$

Balances de materia con bypass (II)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en proceso:

$$W_1 + W_6 = W_5 \rightarrow W_1 = W_5 - W_6 \rightarrow \boxed{W_1 = 1.920 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}}$$

Balance de materia al NaOH en el proceso:

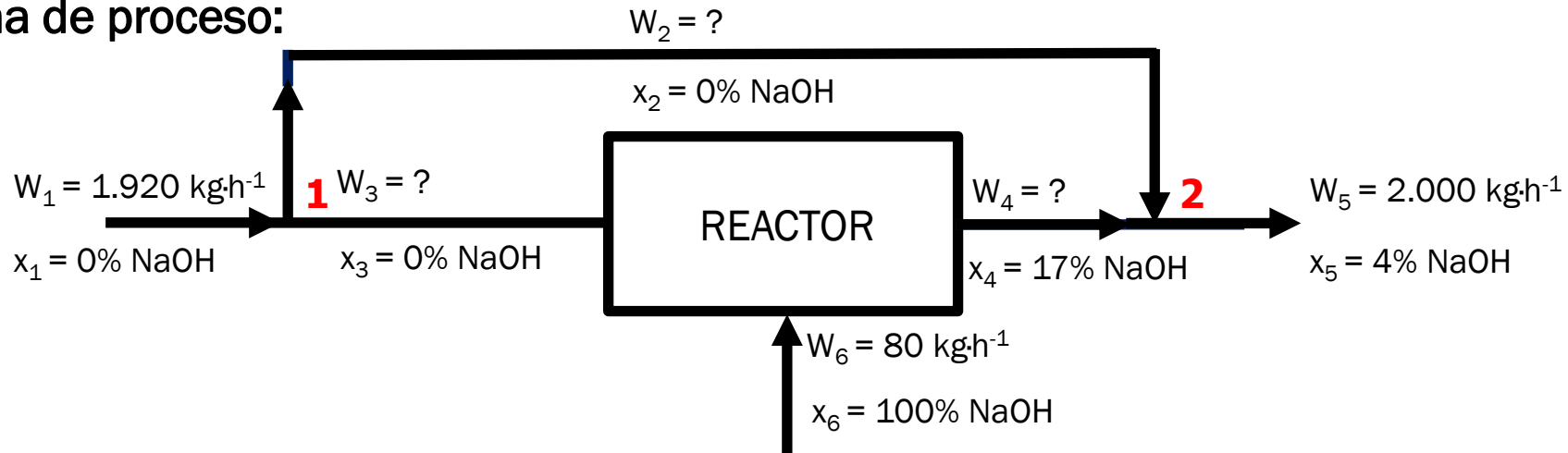
$$W_1 \cdot x_1 + W_6 \cdot x_6 = W_5 \cdot x_5$$

$$W_1 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0 \text{ kg NaOH}\cdot\text{kg}^{-1} + W_6 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 1 \text{ kg NaOH}\cdot\text{kg}^{-1} = 2000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,04 \text{ kg NaOH}\cdot\text{kg}^{-1} \rightarrow \boxed{W_6 = 80 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}}$$

Balances de materia con bypass (II)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en nodo 2:

$$W_2 + W_4 = W_5$$

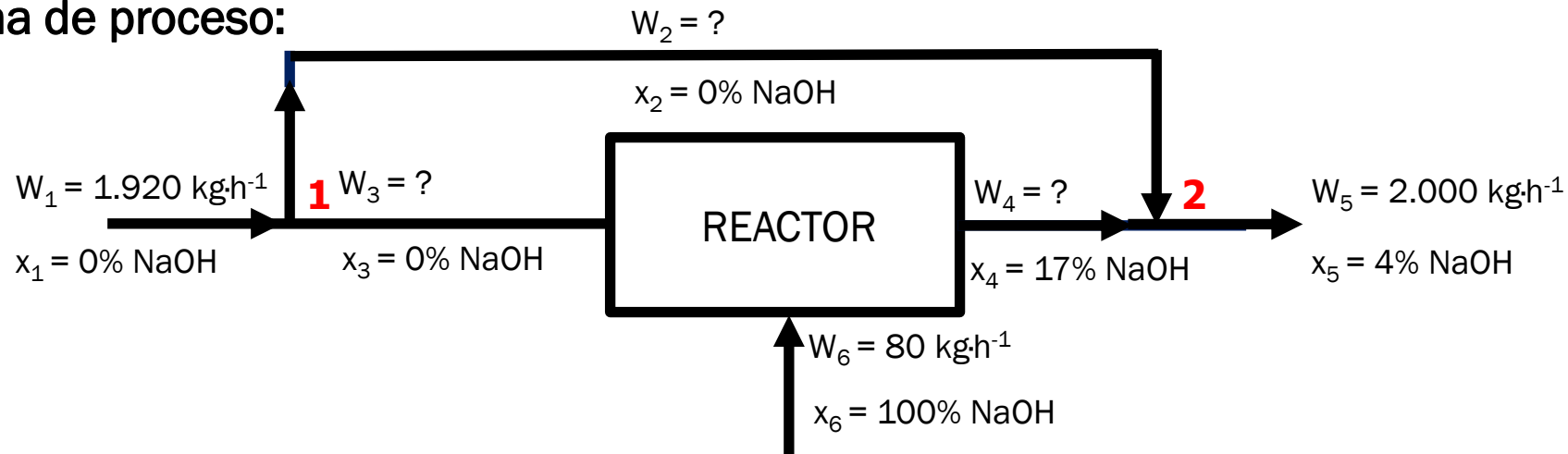
Balance de materia al NaOH en el nodo 2:

$$W_2 \cdot x_2 + W_4 \cdot x_4 = W_5 \cdot x_5$$

Balances de materia con bypass (II)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en nodo 2:

$$W_2 + W_4 = W_5$$

Balance de materia al NaOH en el nodo 2:

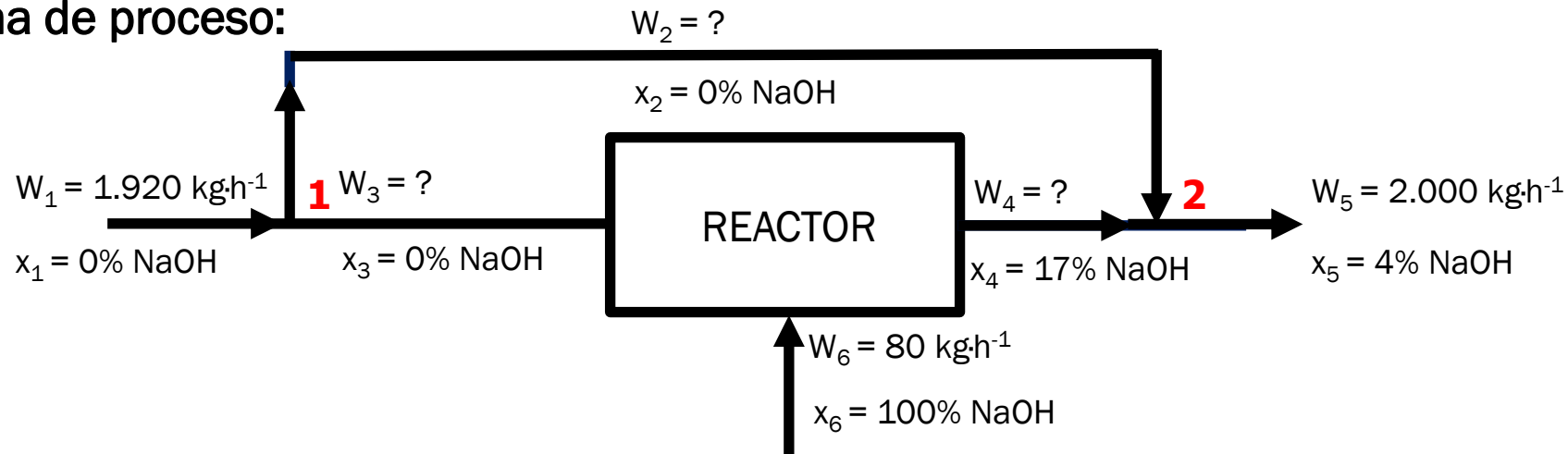
$$W_2 \cdot x_2 + W_4 \cdot x_4 = W_5 \cdot x_5$$

$$W_2 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0 \text{ kg NaOH} \cdot \text{kg}^{-1} + W_4 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,17 \text{ kg NaOH} \cdot \text{kg}^{-1} = 2000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,04 \cdot \text{kg NaOH} \cdot \text{kg}^{-1} \longrightarrow \boxed{W_4 = 470,6 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}}$$

Balances de materia con bypass (II)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en nodo 2:

$$W_2 + W_4 = W_5 \rightarrow W_2 = W_5 - W_4 \rightarrow \boxed{W_2 = 1.529,4 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}} \rightarrow \boxed{W_2/W_1 = 79,65 \%}$$

Balance de materia al NaOH en el nodo 2:

$$W_2 \cdot x_2 + W_4 \cdot x_4 = W_5 \cdot x_5$$

$$W_2 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0 \text{ kg NaOH} \cdot \text{kg}^{-1} + W_4 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,17 \text{ kg NaOH} \cdot \text{kg}^{-1} = 2000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 0,04 \cdot \text{kg NaOH} \cdot \text{kg}^{-1} \rightarrow \boxed{W_4 = 470,6 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}}$$

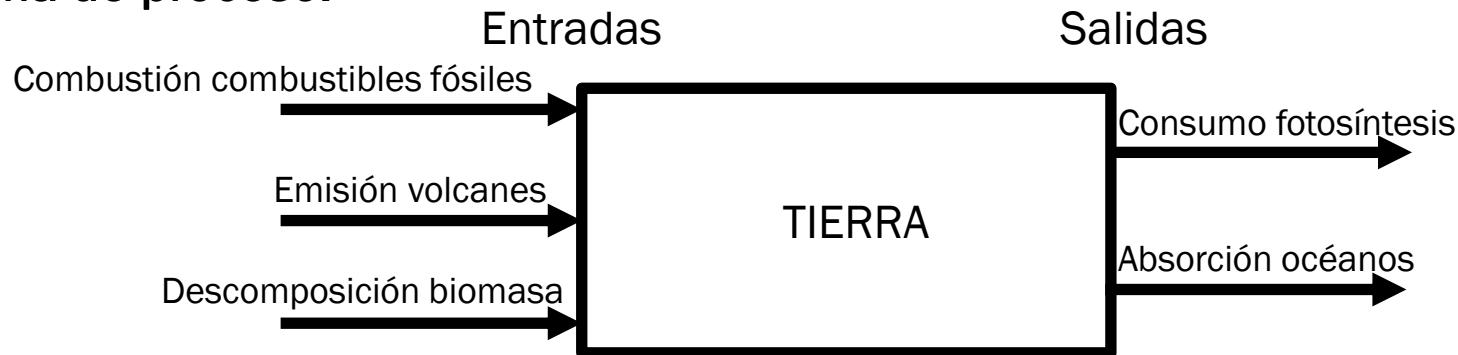
Balances de materia a la Tierra

La atmósfera de la Tierra tiene un volumen de $4,0 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$ STP y en 1850 la concentración de CO_2 era 0,028 %vol. Durante el periodo de 1850 a 1990, se generó CO_2 debido a que se quemaron combustibles fósiles que contenían el equivalente a $220 \cdot 10^{12} \text{ kg C}$, se emitieron $440 \cdot 10^{12} \text{ kg}$ de CO_2 por volcanes y por la descomposición de biomasa, $350 \cdot 10^{12} \text{ kg}$ de CO_2 se consumieron por fotosíntesis y los océanos absorbieron $370 \cdot 10^{12} \text{ kg}$ de CO_2 . Asumiendo que todo el CO_2 gas está bien mezclado en la atmósfera, y que el volumen total de la atmósfera de la Tierra se mantiene constante en $4,0 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$ STP, calcular la concentración atmosférica de CO_2 (ppm vol.) en 1990.

Balances de materia a la Tierra

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia global a la tierra:

$$\text{Acumulación} = \text{Entradas} - \text{Salidas}$$

Entradas

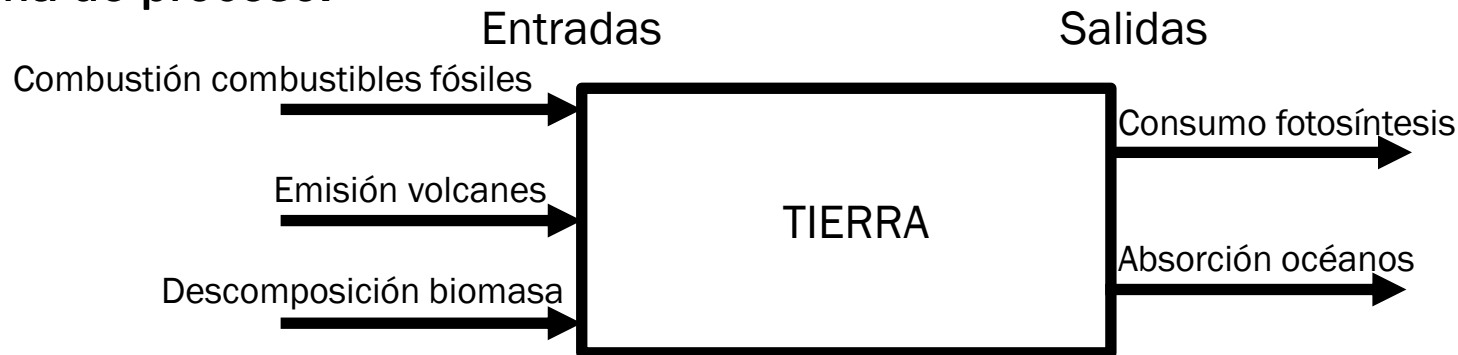
- Comb. Fósiles: $8,06 \cdot 10^{14} \text{ kg CO}_2 \cdot \frac{1 \text{ kmol CO}_2}{44 \text{ kg CO}_2} = 1,83 \cdot 10^{13} \text{ kmol CO}_2$

- Volcanes & Biomasa: $440 \cdot 10^{12} \text{ kg CO}_2 \cdot \frac{1 \text{ kmol CO}_2}{44 \text{ kg CO}_2} = 1 \cdot 10^{13} \text{ kmol CO}_2$

Balances de materia a la Tierra

Solución:

Diagrama de proceso:



Salidas

- **Fotosíntesis:** $350 \cdot 10^{12} \text{ kg CO}_2 \frac{1 \text{ kmol CO}_2}{44 \text{ kg CO}_2} = 7,95 \cdot 10^{12} \text{ kmol CO}_2$

- **Océanos:** $370 \cdot 10^{12} \text{ kg CO}_2 \frac{1 \text{ kmol CO}_2}{44 \text{ kg CO}_2} = 8,41 \cdot 10^{12} \text{ kmol CO}_2$

Acumulación

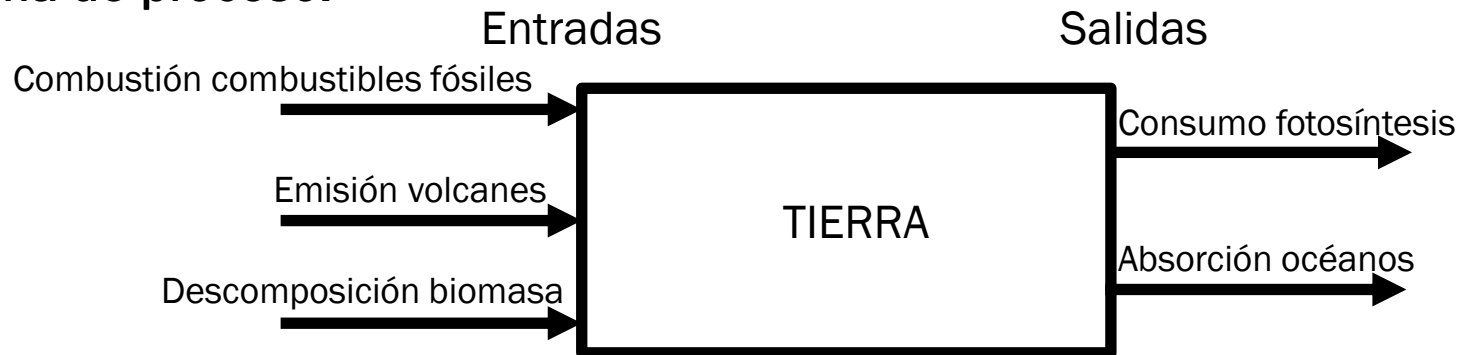
$$\text{Acumulación} = 1,83 \cdot 10^{13} \text{ kmol CO}_2 + 1 \cdot 10^{13} \text{ kmol CO}_2 - 7,95 \cdot 10^{12} \text{ kmol CO}_2 - 8,41 \cdot 10^{12} \text{ kmol CO}_2$$

$$\text{Acumulacion} = 1,194 \cdot 10^{13} \text{ kmol CO}_2$$

Balances de materia a la Tierra

Solución:

Diagrama de proceso:



Cálculo de la concentración de CO_2 en 1850 a partir de la ecuación de los gases ideales:

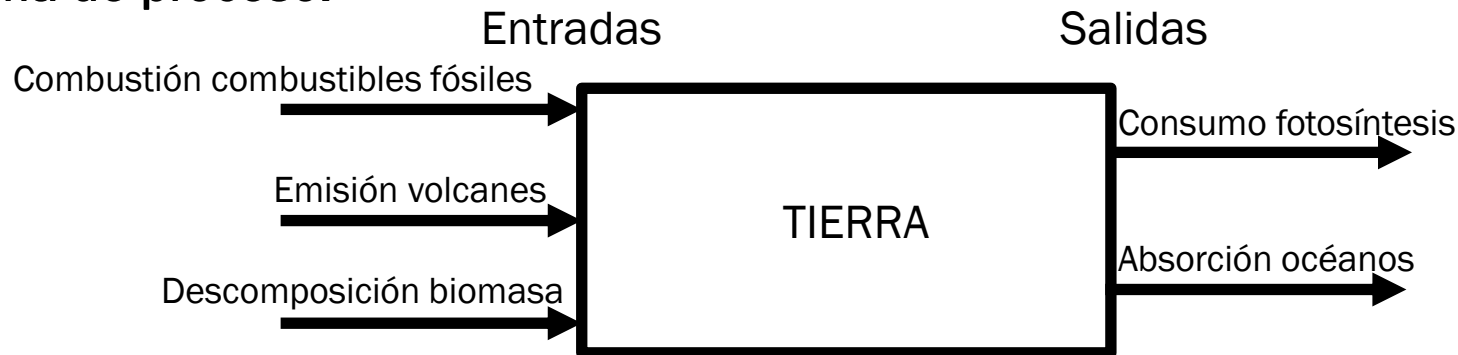
$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{101300 \text{ Pa} \cdot 4,0 \cdot 10^{18} \text{ m}^3}{8,314 \frac{\text{Pa m}^3}{\text{mol K}} \cdot 273,15 \text{ K}} = 1,78 \cdot 10^{20} \text{ mol aire}$$

$$1,78 \cdot 10^{20} \text{ mol aire} \cdot \frac{0,028 \text{ mol CO}_2}{100 \text{ mol aire}} = 4,995 \cdot 10^{16} \text{ mol CO}_2 = 4,995 \cdot 10^{13} \text{ kmol CO}_2$$

Balances de materia a la Tierra

Solución:

Diagrama de proceso:



Cálculo de la concentración de CO_2 en 1990:

$$\text{Total CO}_2 = 4,995 \cdot 10^{13} \text{ kmol CO}_2 + 1,194 \cdot 10^{13} \text{ kmol CO}_2 = 6,192 \cdot 10^{13} \text{ kmol CO}_2$$

$$[\text{CO}_2]_{1990} = \frac{6,192 \cdot 10^{13} \text{ kmol CO}_2}{1,78 \cdot 10^{17} \text{ kmol aire}} \cdot 100 = 0,034\% = 347 \text{ ppm}$$

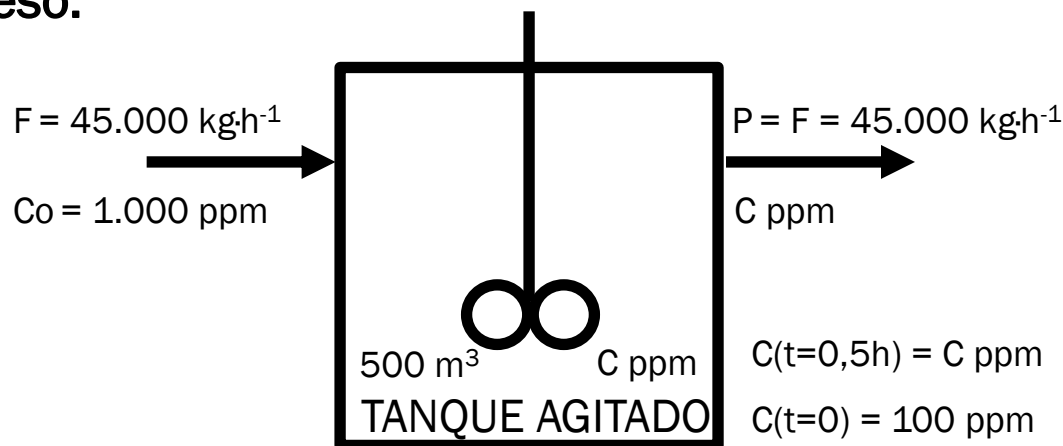
Balance de materia sin reacción química en estado no estacionario (I)

Se tiene un tanque agitado de 500 m^3 de capacidad. Dicho tanque sirve como almacenamiento intermedio a un reactor dentro de una planta y conseguir así evitar fluctuaciones en la concentración de entrada al citado reactor. La corriente acuosa de entrada al tanque ($45.000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$) tiene normalmente una concentración de acetona de 100 ppm. Sin embargo, un problema en la planta hace que la concentración de entrada al tanque suba súbitamente a 1.000 ppm. Si la concentración máxima de acetona permitida en el reactor es de 200 ppm, ¿se superará ese valor si la reparación lleva un tiempo de 30 minutos? La corriente de salida tiene el mismo caudal másico que la de entrada.

Balance de materia sin reacción química

Solución: en estado no estacionario (I)

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en el tanque agitado:

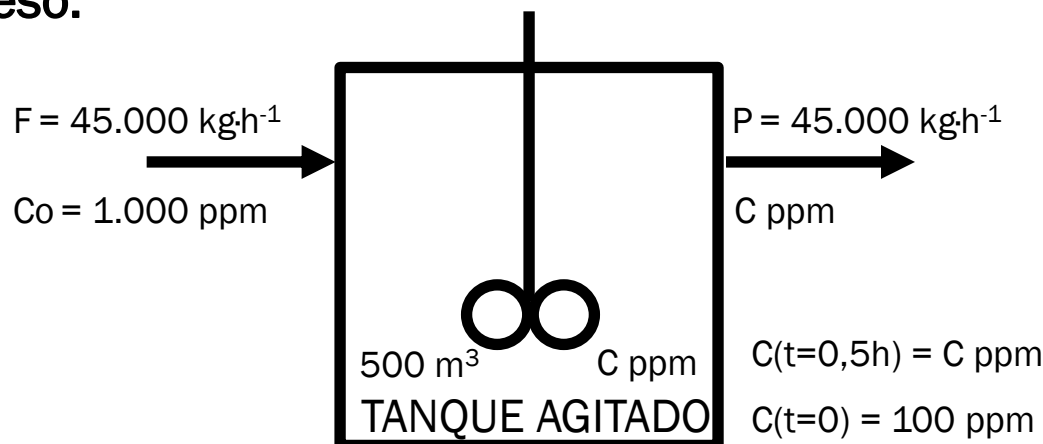
$$V \cdot \frac{dC}{dt} = F \cdot C_o - F \cdot C \quad \rightarrow \quad \frac{dC}{C_o - C} = F \cdot \frac{dt}{V} \quad \rightarrow \quad \int_{C_e}^{C_f} \frac{dC}{C_o - C} = \frac{F}{V} \int_0^t dt$$

$$-\ln(C_o - C_f) + \ln(C_o - C_e) = \frac{F}{V} \cdot t \quad \rightarrow \quad \ln\left(\frac{C_o - C_e}{C_o - C_f}\right) = \frac{F}{V} \cdot t$$

Balance de materia sin reacción química

Solución: en estado no estacionario (I)

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en el tanque agitado:

$$\ln\left(\frac{C_o - C_e}{C_o - C_f}\right) = \frac{F}{V} \cdot t \rightarrow \frac{C_o - C_e}{C_o - C_f} = \exp\left(\frac{F}{V} \cdot t\right) \rightarrow C_f = C_o - \left(\frac{C_o - C_e}{\exp\left(\frac{F}{V} \cdot t\right)}\right)$$

$$C_f = 1.000 \text{ ppm} - \left(\frac{1.000 \text{ ppm} - 100 \text{ ppm}}{\exp\left(\frac{45 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 0,5 \text{ h}}{500 \text{ m}^3}\right)}\right) = 139,60 \text{ ppm} < 200 \text{ ppm}$$

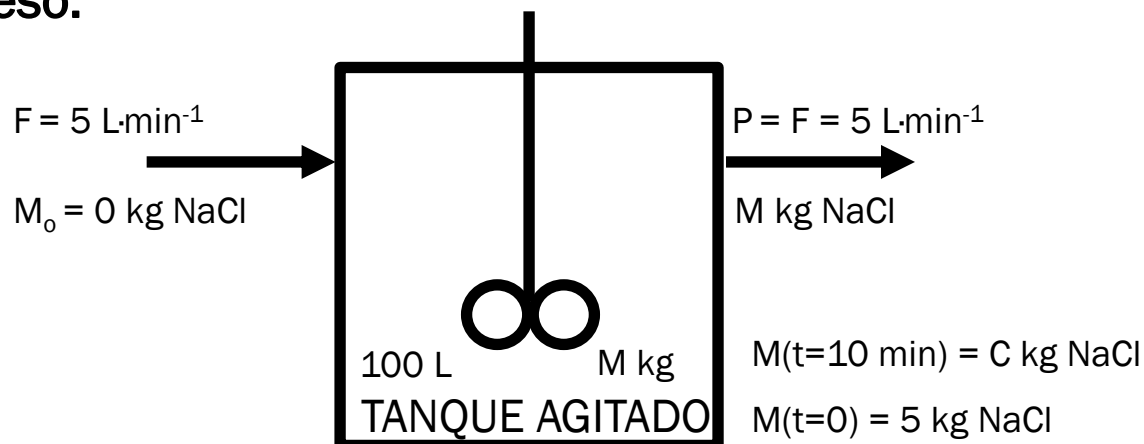
Balance de materia sin reacción química en estado no estacionario (II)

Un tanque agitado de capacidad 100 L contiene en su interior una disolución acuosa, para un total de 5 kg de NaCl. Si en un instante de tiempo determinado, se abren las válvulas de las corrientes de entrada (agua pura) y salida ($5 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$), ¿cuál será la masa de NaCl restante tras un periodo de 10 minutos?

Balance de materia sin reacción química

Solución: en estado no estacionario (II)

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en el tanque agitado:

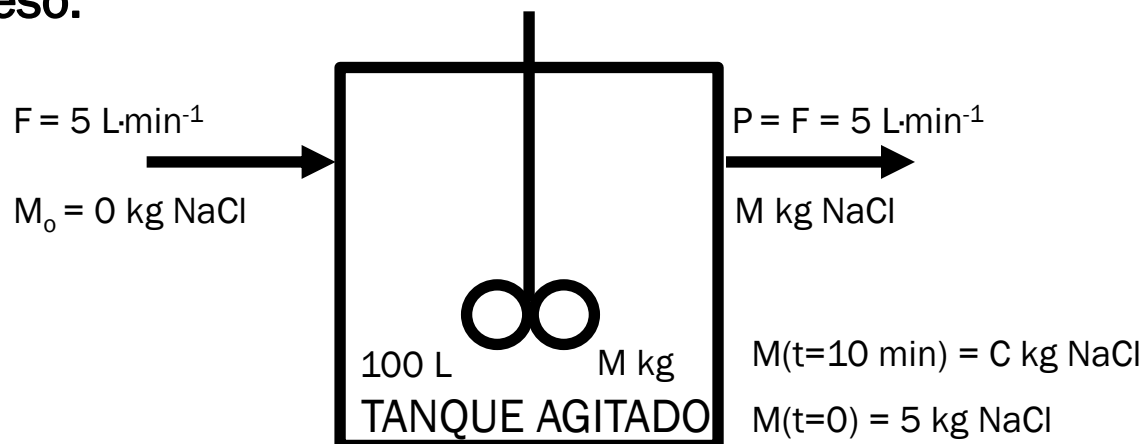
$$V \cdot \frac{dM}{dt} = F \cdot M_0 - F \cdot M \rightarrow \frac{dM}{M} = -F \cdot \frac{dt}{V} \rightarrow \int_{M_e}^{M_f} \frac{dM}{M} = -\frac{F}{V} \int_0^t dt$$

$$\ln(M_f) - \ln(M_e) = -\frac{F}{V} \cdot t \rightarrow \ln\left(\frac{M_f}{M_e}\right) = -\frac{F}{V} \cdot t$$

Balance de materia sin reacción química

Solución: **en estado no estacionario (II)**

Diagrama de proceso:



Balance de materia global en el tanque agitado:

$$\ln \left(\frac{M_f}{M_e} \right) = -\frac{F}{V} \cdot t \rightarrow \frac{M_f}{M_e} = \exp \left(-\frac{F}{V} \cdot t \right) \rightarrow M_f = M_e \left(\exp \left(-\frac{F}{V} \cdot t \right) \right)$$

$$M_f = 5 \text{ kg NaCl} \cdot \left(\exp \left(\frac{-5 \frac{\text{L}}{\text{min}} \cdot 10 \text{ min}}{100 \text{ L}} \right) \right) = 3,03 \text{ kg NaCl}$$

Balances de materia con reacción química (I)

Un automóvil con un motor de combustión interna quema completamente 10 kmol de gasolina, que está compuesta en su totalidad por octano (C_8H_{18}), con una corriente de aire en una proporción tal que se aporta oxígeno (O_2) en cantidades estequiométricas. Como resultado, la gasolina se convierte completamente a dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua (H_2O) de acuerdo a una reacción de combustión, cuya ecuación estequiométrica es la siguiente:

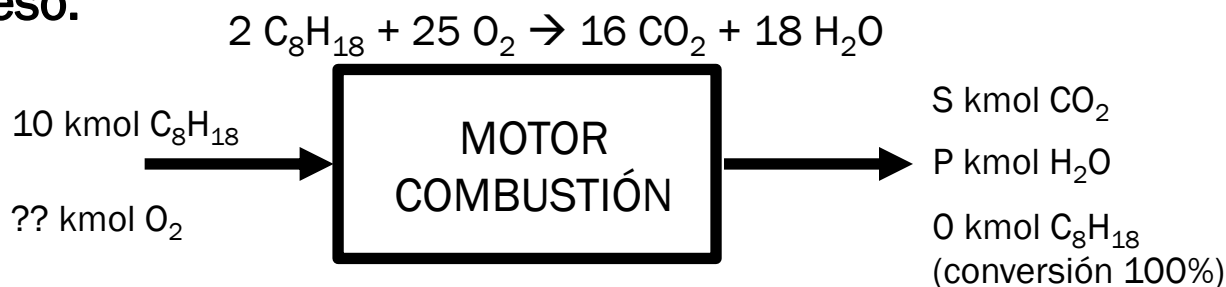


Todo el CO_2 y H_2O producidos en la reacción se emiten a la atmósfera a través del tubo de escape del motor. Asumiendo que el contenido de CO_2 en el aire de entrada para la combustión es nulo, ¿qué cantidad de CO_2 (kg de CO_2) se emiten a la atmósfera a partir de esos 10 kmol de gasolina (que son aproximadamente 162 L, unos 3 tanques de gasolina de un coche familiar)?

Balances de materia con reacción química (I)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia al CO_2 en el motor de combustión:

$$A = E - S + G - C$$

$$0 = 0 - S + 10 \text{ kmol C}_8\text{H}_{18} \cdot \frac{16 \text{ kmol CO}_2}{2 \text{ kmol C}_8\text{H}_{18}} - 0 \longrightarrow \boxed{S = 80 \text{ kmol CO}_2 = 3.540 \text{ kg CO}_2}$$

Balance de materia al H_2O en el motor de combustión:

$$0 = 0 - P + 10 \text{ kmol C}_8\text{H}_{18} \cdot \frac{18 \text{ kmol H}_2\text{O}}{2 \text{ kmol C}_8\text{H}_{18}} - 0 \longrightarrow \boxed{P = 90 \text{ kmol H}_2\text{O} = 1.620 \text{ kg H}_2\text{O}}$$

Balances de materia con reacción química (II)

Una corriente de $1 \text{ kmol}\cdot\text{h}^{-1}$ de monóxido de carbono (CO) a 25°C se quema completamente en un horno a 1 atm de presión utilizando una corriente de $3,57 \text{ kmol}\cdot\text{h}^{-1}$ de aire que se encuentra a 540°C , en estado estacionario:

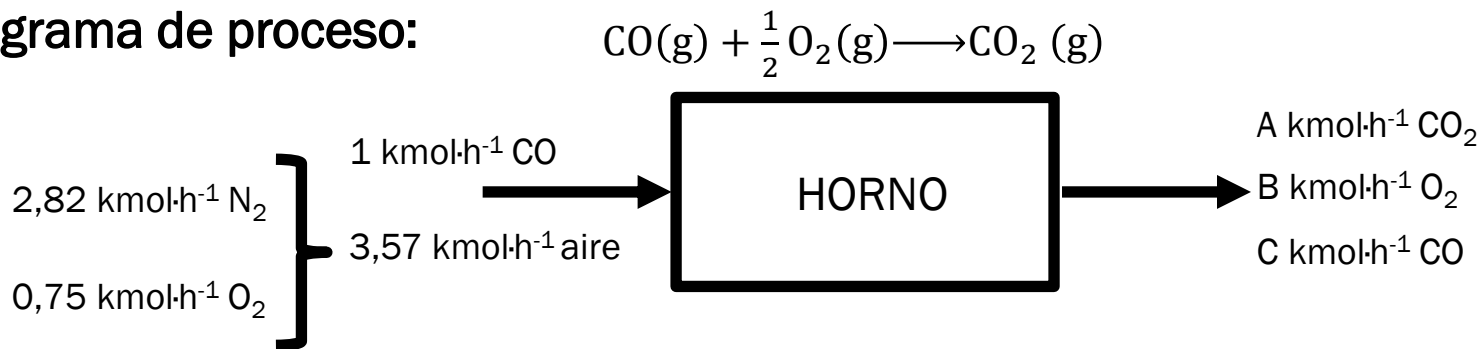


Calcular los $\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1}$ totales y la composición (en % en moles) de la corriente de gases de combustión que salen del horno.

Balances de materia con reacción química (II)

Solución:

Diagrama de proceso:



¿Qué especie actúa como reactivo limitante en la reacción química?

$\text{CO(g)} + \frac{1}{2} \text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow \text{CO}_2\text{(g)}$

Inicio	1	0,75	0
Reacción	-1	-0,5	1
Fin	0	0,25	1

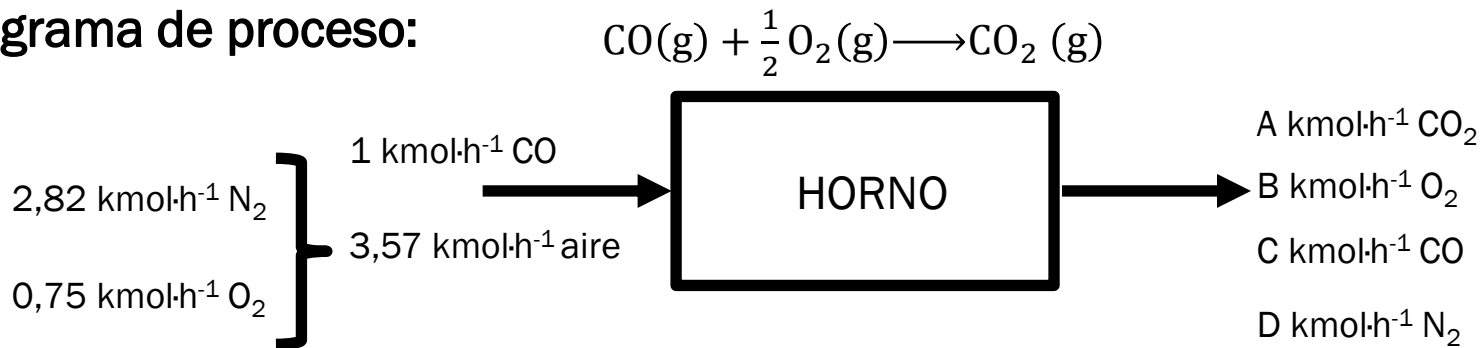
↑

CO es el reactivo limitante, ya que es el compuesto que primero se agota en la reacción química.

Balances de materia con reacción química (II)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia al CO_2 en el horno:

$$0 = 0 - A + 1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO} \cdot \frac{1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}_2}{1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}} - 0 \longrightarrow \boxed{A = 1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}_2}$$

Balance de materia al O_2 en el horno:

$$0 = 0,75 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ O}_2 - B + 0 - 1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO} \cdot \frac{0,5 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ O}_2}{1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}} \longrightarrow \boxed{B = 0,25 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ O}_2}$$

Balance de materia al N_2 en el horno:

$$0 = 2,82 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ N}_2 - D + 0 - 0 \longrightarrow \boxed{D = 2,82 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ N}_2}$$

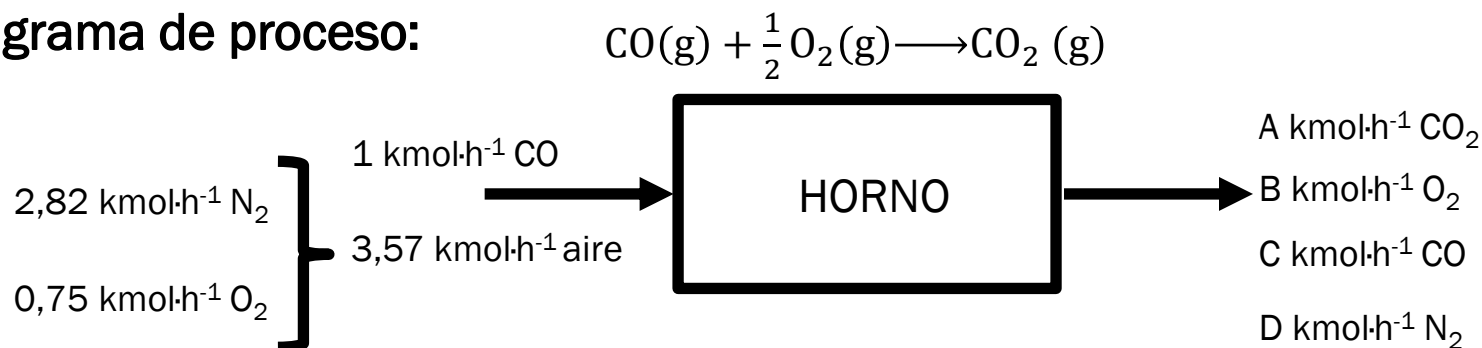
Balance de materia al CO en el horno:

$$0 = 1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO} - C + 0 - 1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO} \cdot \frac{1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}}{1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}} \longrightarrow \boxed{C = 0 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}}$$

Balances de materia con reacción química (II)

Solución:

Diagrama de proceso:



Suma de moles totales en la salida del horno:

$$\text{Total} = 1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} + 0,25 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} + 2,82 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} = 4,07 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$$

Composición másica en la salida del horno:

$$\% \text{CO}_2 = \frac{1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CO}_2}{4,07 \text{ kmol totales} \cdot \text{h}^{-1}} \cdot 100 = 24,57\%$$

$$\% \text{O}_2 = \frac{0,25 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{O}_2}{4,07 \text{ kmol totales} \cdot \text{h}^{-1}} \cdot 100 = 6,14\%$$

$$\% \text{N}_2 = \frac{2,82 \text{ kmol N}_2 \cdot \text{h}^{-1}}{4,07 \text{ kmol totales} \cdot \text{h}^{-1}} \cdot 100 = 69,28\%$$

Balances de materia con reacción química (III)

Se quema metano (CH_4) con aire en un reactor de combustión continuo en estado estacionario, obteniéndose una mezcla de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O). Las reacciones que tienen lugar son:

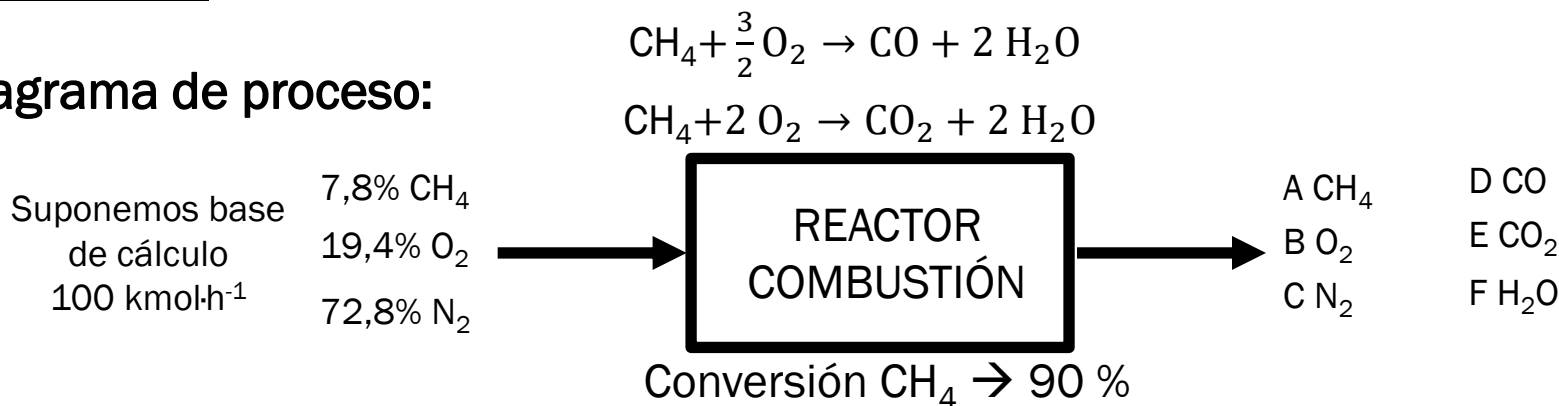


La alimentación al reactor contiene 7,80 % CH_4 , 19,4 % O_2 y 72,8 % N_2 (% en moles). La conversión del metano es del 90%, y el gas que abandona el reactor contiene 8 mol de CO por cada mol de CO_2 . Calcular la composición molar de la corriente de salida del reactor.

Balances de materia con reacción química (III)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia al CH₄ en el reactor:

$$0 = 7,8 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CH}_4 - A + 0 - 7,8 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CH}_4 \cdot 0,9 \longrightarrow \boxed{A = 0,78 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CH}_4}$$

Balance de materia al N₂ en el reactor:

$$0 = 72,8 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{N}_2 - C + 0 - 0 \longrightarrow \boxed{C = 72,8 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{N}_2}$$

Balance de materia al CO₂ en el reactor:

$$0 = 0 - E + n_{\text{gen},E} - 0 \longrightarrow \boxed{E = n_{\text{gen},E}}$$

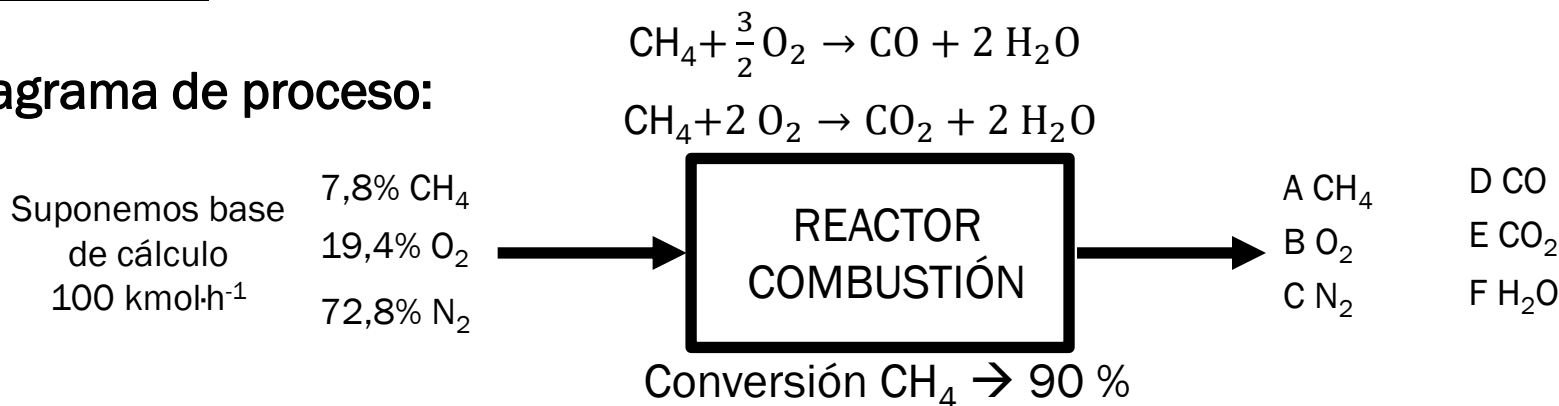
Balance de materia al CO en el reactor:

$$0 = 0 - D + n_{\text{gen},D} - 0 \longrightarrow \boxed{D = n_{\text{gen},D}}$$

Balances de materia con reacción química (III)

Solución:

Diagrama de proceso:



Se conoce que de CH₄, se convierte el 90%, es decir, 7,02 kmol de CH₄.

Por lo que por estequiometría:

$$n_{\text{gen,D}} = n_{\text{Reacción1,A}} \cdot \frac{1 \text{ kmol CO}}{1 \text{ kmol CH}_4}$$

$$n_{\text{gen,E}} = n_{\text{Reacción2,A}} \cdot \frac{1 \text{ kmol CO}_2}{1 \text{ kmol CH}_4}$$

Además, sabemos la siguiente relación: $\frac{E}{D} = 8$

Por lo que: $E = n_{\text{gen,E}} = n_{\text{Reacción2,A}}$

$$D = n_{\text{gen,D}} = n_{\text{Reacción1,A}}$$

$$E + D = n_{\text{Reacción1,A}} + n_{\text{Reacción2,A}} = 7,02 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$$

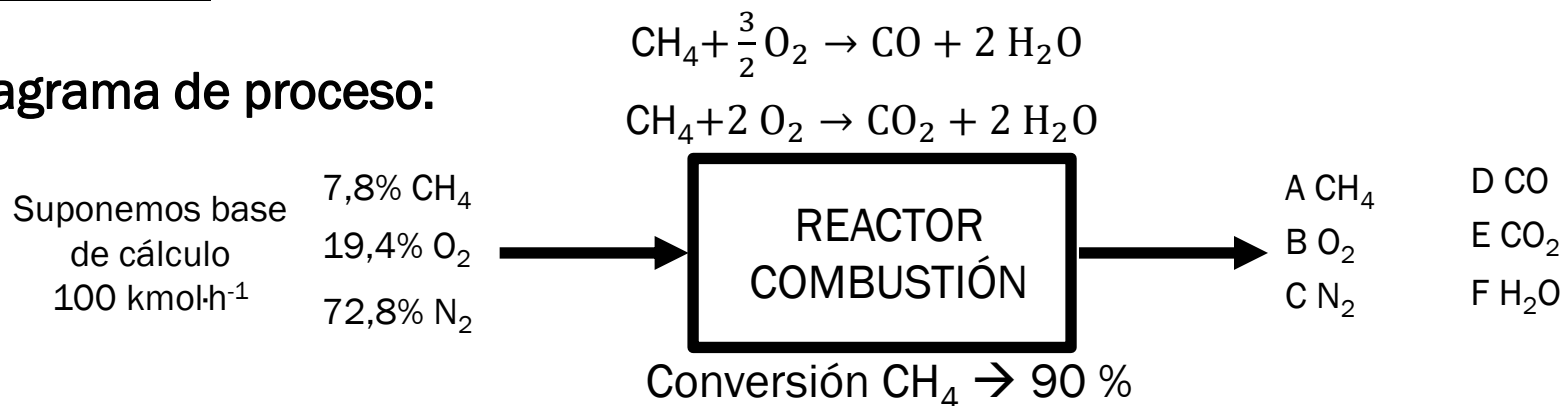
$$E = 6,24 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}_2$$

$$D = 0,78 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}$$

Balances de materia con reacción química (III)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia al O₂ en el reactor:

$$0 = 19,4 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{O}_2 - B + 0 - 0,78 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CH}_4 \cdot \frac{\frac{3}{2} \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{O}_2}{1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CH}_4} - 6,24 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CH}_4 \cdot \frac{2 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{O}_2}{1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CH}_4}$$

$$B = 5,75 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{O}_2$$

Balance de materia al H₂O en el reactor:

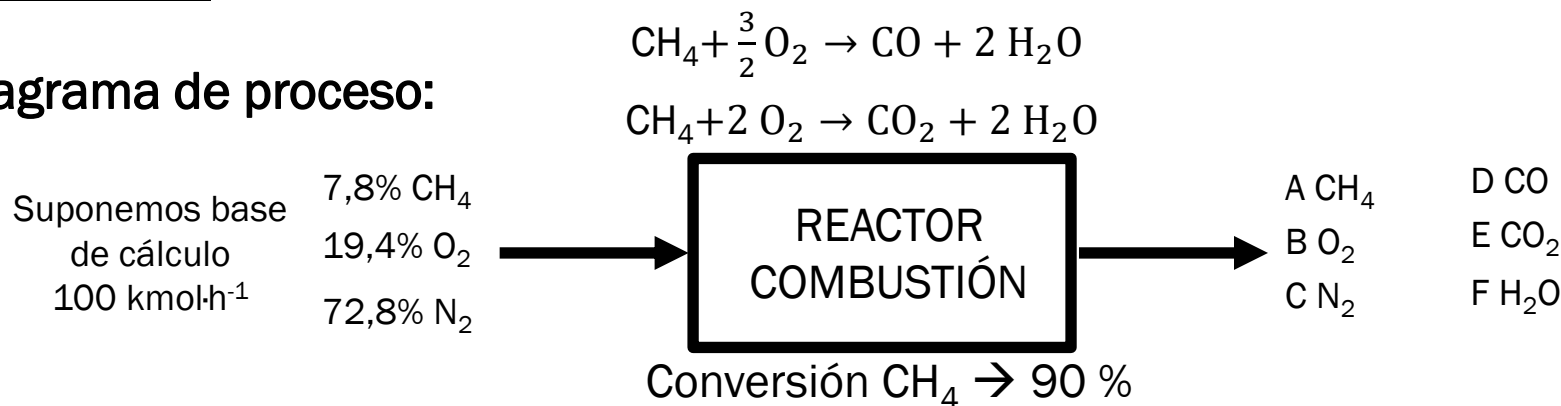
$$0 = 0 - F + 0,78 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CH}_4 \cdot \frac{2 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{H}_2\text{O}}{1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CH}_4} + 6,24 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CH}_4 \cdot \frac{2 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{H}_2\text{O}}{1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CH}_4}$$

$$F = 14,04 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{H}_2\text{O}$$

Balances de materia con reacción química (III)

Solución:

Diagrama de proceso:



Suma de moles totales en la salida del horno:

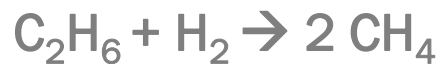
$$\begin{aligned} \text{Total} &= 0,78 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} + 72,8 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} + 6,24 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} + 0,78 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} + 5,75 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} + 14,04 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \\ &= 100,39 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

Composición másica en la salida del horno:

$$\begin{aligned} \% \text{CH}_4 &= \frac{0,78 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CH}_4}{100,39 \text{ kmol totales} \cdot \text{h}^{-1}} \cdot 100 = 0,78 \% & \% \text{CO} &= \frac{0,78 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CO}}{100,39 \text{ kmol totales} \cdot \text{h}^{-1}} \cdot 100 = 0,78 \% \\ \% \text{N}_2 &= \frac{72,8 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{N}_2}{100,39 \text{ kmol totales} \cdot \text{h}^{-1}} \cdot 100 = 72,51 \% & \% \text{O}_2 &= \frac{5,75 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{O}_2}{100,39 \text{ kmol totales} \cdot \text{h}^{-1}} \cdot 100 = 5,74 \% \\ \% \text{CO}_2 &= \frac{6,24 \text{ kmol CO}_2 \cdot \text{h}^{-1}}{100,39 \text{ kmol totales} \cdot \text{h}^{-1}} \cdot 100 = 6,24 \% & \% \text{H}_2\text{O} &= \frac{14,04 \text{ kmol H}_2\text{O} \cdot \text{h}^{-1}}{100,39 \text{ kmol totales} \cdot \text{h}^{-1}} \cdot 100 = 14,03 \% \end{aligned}$$

Balances de materia con reacción química (IV)

Las siguientes reacciones tienen lugar en un reactor continuo en estado estacionario:

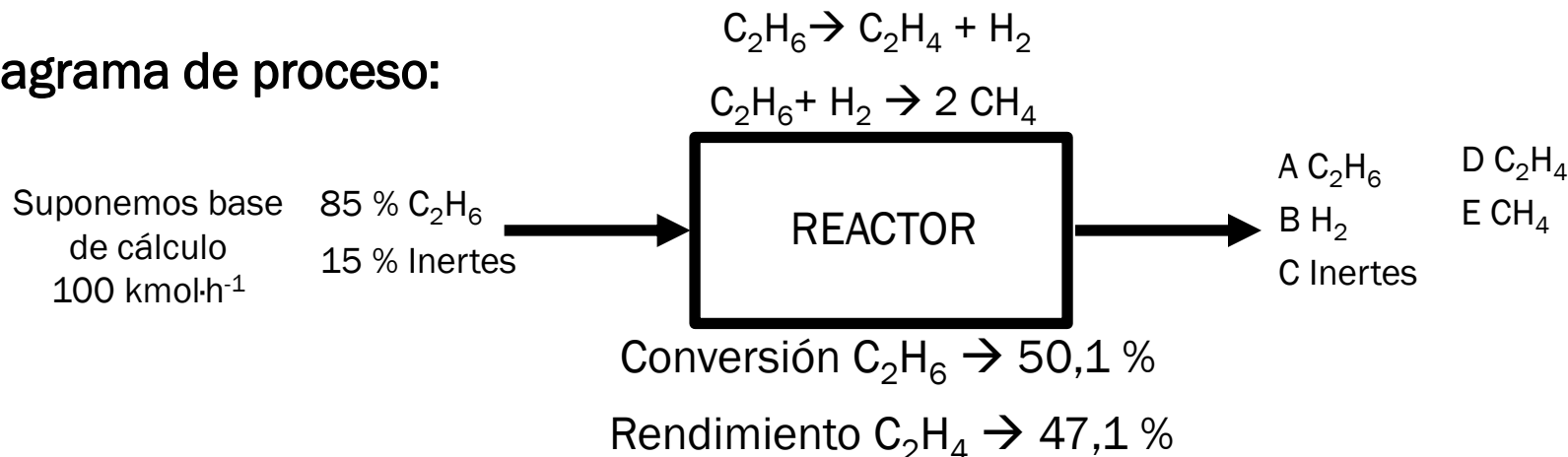


La alimentación contiene 85,0% moles de etano (C_2H_6) y el resto inertes (I). Se sabe que se convierten el 50,1 % de los moles de C_2H_6 alimentados (es decir, la conversión fraccional del C_2H_6 es 0,501) y que el rendimiento en etileno (C_2H_4) es del 47,1% (rendimiento expresado como % del máximo C_2H_4 posible que se formaría si no hubiera reacción paralela y el reactivo limitante reaccionase completamente). Calcular la composición molar de la corriente gaseosa obtenida como producto y la relación entre moles producidos de C_2H_4 y de metano (CH_4).

Balances de materia con reacción química (IV)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia al C₂H₆ en el reactor:

$$0 = 85 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ C}_2\text{H}_6 - A + 0 - 85 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ C}_2\text{H}_6 \cdot 0,501 \longrightarrow A = 42,415 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ C}_2\text{H}_6$$

Balance de materia a los inertes en el reactor:

$$0 = 15 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ Inertes} - C + 0 - 0 \longrightarrow C = 15 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ Inertes}$$

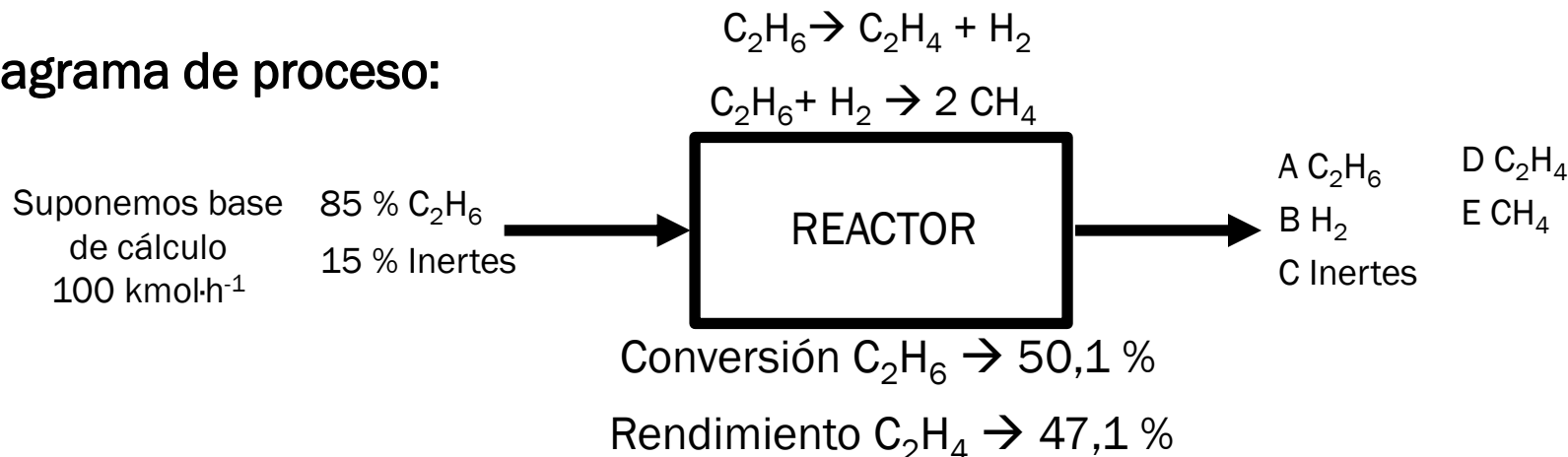
Balance de materia al C₂H₄ en el reactor:

$$0 = 0 - D + 85 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ C}_2\text{H}_4 \cdot 0,471 - 0 \longrightarrow D = 40,035 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ C}_2\text{H}_4$$

Balances de materia con reacción química (IV)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia al CH₄ en el reactor:

$$0 = 0 - E + n_{\text{gen},E} - 0 \longrightarrow E = n_{\text{gen},E}$$

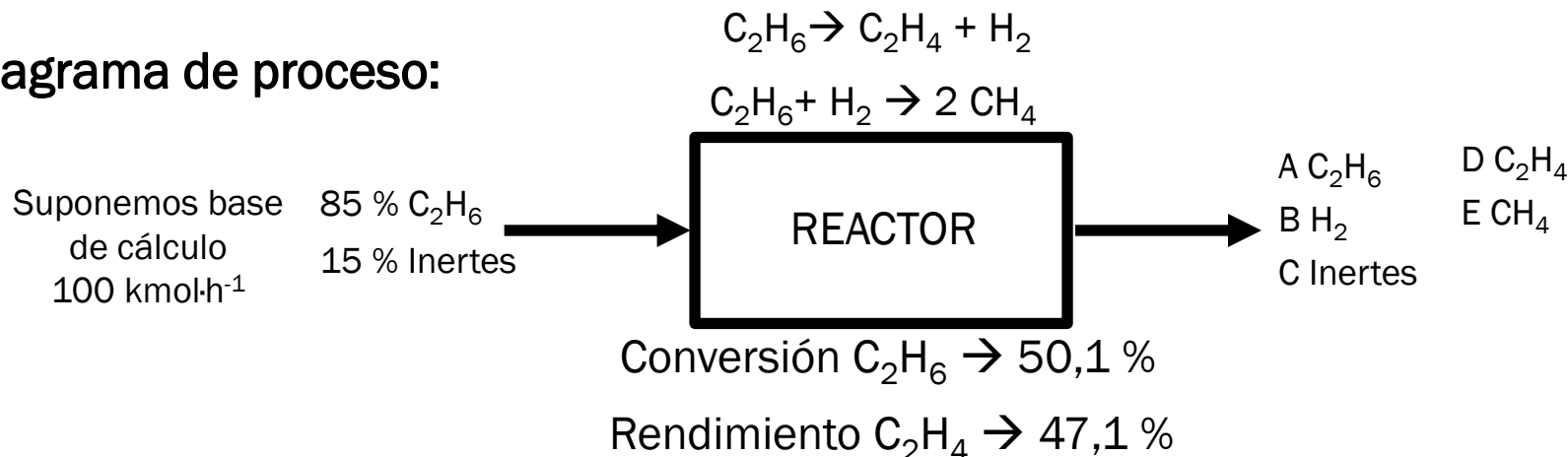
Balance de materia al H₂ el reactor:

$$0 = 0 - B + 40,035 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} C_2H_4 \cdot \frac{1 \text{ kmol } H_2}{1 \text{ kmol } C_2H_4} - E \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} CH_4 \cdot \frac{1 \text{ kmol } H_2}{2 \text{ kmol } CH_4}$$

Balances de materia con reacción química (IV)

Solución:

Diagrama de proceso:



Sabemos que reaccionan 42,585 kmol·h⁻¹ de C₂H₆ (entre las dos reacciones) y que de C₂H₄ se generan 40,035 kmol·h⁻¹. Por lo tanto, 40,035 kmol·h⁻¹ de C₂H₆ se consumen en la primera reacción, y en la segunda reacción se consumen 2,55 kmol·h⁻¹ (42,585 - 40,035)

Balance de materia al CH₄ en el reactor:

$$0 = 0 - E + 2,55 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} C_2H_6 \cdot \frac{2 \text{ kmol } CH_4}{1 \text{ kmol } C_2H_6} - 0 \longrightarrow \boxed{E = 5,1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} CH_4}$$

Balance de materia al H₂ el reactor:

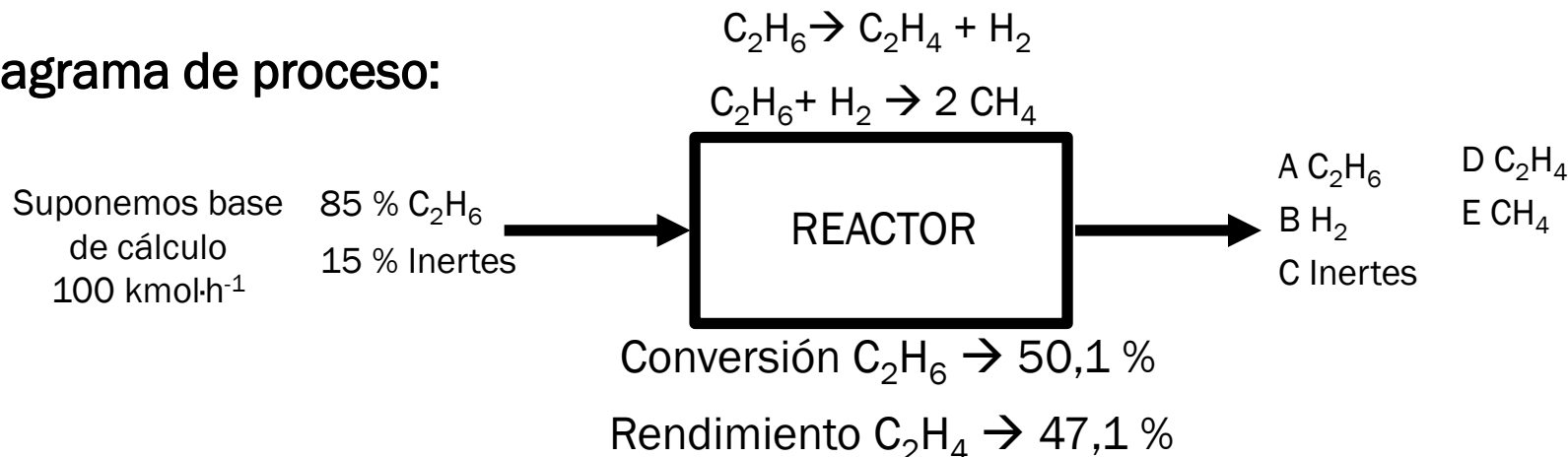
$$0 = 0 - B + 40,035 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} C_2H_4 \cdot \frac{1 \text{ kmol } H_2}{1 \text{ kmol } C_2H_4} - 5,1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} CH_4 \cdot \frac{1 \text{ kmol } H_2}{2 \text{ kmol } CH_4}$$

$$\boxed{B = 37,485 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} H_2}$$

Balances de materia con reacción química (IV)

Solución:

Diagrama de proceso:



Suma de moles totales en la salida del horno:

$$\begin{aligned} \text{Total} &= 42,415 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} + 15 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} + 40,035 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} + 5,1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} + 37,485 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \\ &= 140,035 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

Composición másica en la salida del horno:

$$\% \text{C}_2\text{H}_6 = \frac{42,415 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{C}_2\text{H}_6}{140,035 \text{ kmol totales} \cdot \text{h}^{-1}} \cdot 100 = 30,3 \%$$

$$\% \text{Inertes} = \frac{15 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{Inertes}}{140,035 \text{ kmol totales} \cdot \text{h}^{-1}} \cdot 100 = 10,7 \%$$

$$\% \text{C}_2\text{H}_4 = \frac{40,035 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{C}_2\text{H}_4}{140,035 \text{ kmol totales} \cdot \text{h}^{-1}} \cdot 100 = 28,6 \%$$

$$\% \text{CH}_4 = \frac{5,1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CH}_4}{140,035 \text{ kmol totales} \cdot \text{h}^{-1}} \cdot 100 = 3,64 \%$$

$$\% \text{H}_2 = \frac{37,485 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{H}_2}{140,035 \text{ kmol totales} \cdot \text{h}^{-1}} \cdot 100 = 26,8 \%$$