

Tema 4.

BALANCES DE MATERIA

MÓDULO II

FUNDAMENTOS DE LA INGENIERÍA DE PROCESOS

Fundamentos de Ingeniería Ambiental.
Elisabet Segredo Morales
Oliver Díaz López
Enrique González Cabrera

Tema 4. BALANCES DE MATERIA

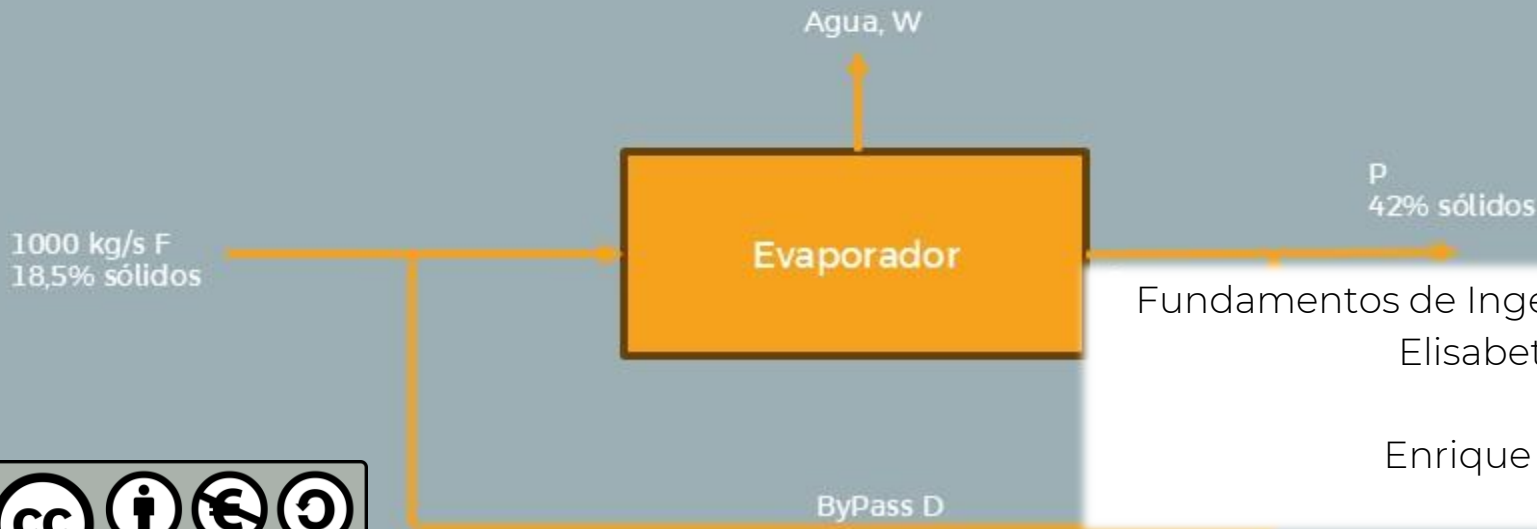
Principio de conservación: aplicación a la masa total, a elementos y a sustancias químicas.

Tipos de operaciones y procesos industriales.

Balances de materia en sistemas sin y con reacción química en estado estacionario.

Balances de materia en sistemas con derivación, recirculación y/o purga

Balances de materia en régimen no estacionario



Fundamentos de Ingeniería Ambiental.

Elisabet Segredo Morales

Oliver Díaz López

Enrique González Cabrera

Introducción.

A recordar:

CAUDAL: cantidad de masa, moles, volumen o velocidad transportada por unidad de tiempo.

Caudal másico: $\dot{m} \left(\frac{kg}{s} \right)$

Caudal molar: $\dot{n} \left(\frac{kmol}{s} \right)$

Caudal volumétrico: $\dot{V} \left(\frac{m^3}{s} \right)$

Velocidad del fluido: $v \left(\frac{m}{s} \right)$



Introducción.

A recordar:

El caudal másico y el molar se relacionan entre sí a través de la masa molecular

$$\dot{m} \left(\frac{kg}{s} \right) = \dot{n} \left(\frac{kmol}{s} \right) \cdot M \left(\frac{kg}{kmol} \right) \quad ; \quad \dot{n} \left(\frac{kmol}{s} \right) = \frac{\dot{m} \left(\frac{kg}{s} \right)}{M \left(\frac{kg}{kmol} \right)}$$

El caudal másico y el volumétrico se relacionan entre sí mediante la densidad

$$\dot{m} \left(\frac{kg}{s} \right) = \dot{V} \left(\frac{m^3}{s} \right) \cdot \rho \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad ; \quad \dot{V} \left(\frac{m^3}{s} \right) = \frac{\dot{m} \left(\frac{kg}{s} \right)}{\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)}$$

$$\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{\dot{m} \left(\frac{kg}{s} \right)}{\dot{V} \left(\frac{m^3}{s} \right)}$$



Introducción.

A recordar:

El caudal molar y el volumétrico se relacionan entre sí a través de la densidad molar

$$\dot{n} \left(\frac{\text{kmol}}{\text{s}} \right) = \dot{V} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \cdot \rho \left(\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3} \right) \quad ; \quad \dot{V} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = \frac{\dot{n} \left(\frac{\text{kmol}}{\text{s}} \right)}{\rho \left(\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3} \right)}$$

Volumen específico:

$$V \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right) = \frac{1}{\rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}$$

Volumen molar:

$$V \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kmol}} \right) = \frac{1}{\rho \left(\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3} \right)}$$



Introducción.

A recordar:

DENSIDAD: cantidad de masa en un determinado volumen.

En **líquidos**, la densidad es prácticamente independiente de la presión, por eso se les conoce como fluidos incompresibles. Sí que varía ligeramente con la temperatura. Cuando se da el dato de densidad de un líquido debe estar referido a una temperatura.

En **gases** la densidad depende tanto de la temperatura como de la presión (fluidos compresibles). Debe indicarse, por tanto, el valor de temperatura y presión cuando se da un dato de densidad de un gas



Introducción.

A recordar:

DENSIDAD: cantidad de masa en un determinado volumen.

La ecuación de estado para un gas ideal:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$\text{Si } n = \frac{\text{masa}}{\text{Masa Molecular}} = \frac{m}{MM}$$

$$P \cdot V = \frac{m}{MM} \cdot R \cdot T \rightarrow \frac{V}{m} = \frac{MM \cdot R \cdot T}{P} = \rho \left(\frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \right)$$

Condiciones más habituales de presión y temperatura

Condiciones normales:

Temperatura = 0 °C

Presión = 1 atm

Condiciones estándar:

Temperatura = 25 °C

Presión = 1 atm



Introducción.

A recordar:

CONCENTRACIÓN:

Concentración molar: moles de un determinado componente por unidad de volumen

$$C_i \left(\frac{\text{kmol}_i}{\text{m}^3} \right)$$

Fracción molar: moles de un determinado componente en relación al número de moles totales

$$y_i \left(\frac{\text{kmol}_i}{\text{kmol}_T} \right)$$

Fracción másica: masa de un determinado componente en relación a la masa total

$$\varpi_i \left(\frac{\text{kg}_i}{\text{kg}_T} \right)$$



Introducción.

CASO PRÁCTICO:

Ejemplo: Una mezcla de gases tiene la composición molar que se indica. ¿Cuál es la masa total de la mezcla? ¿Y su fracción másica?

O₂: 0,152; CO: 0,044; CO₂: 0,118; N₂: 0,686

Nota: suponga 1 mol de mezcla total

Si se supone 1 mol de mezcla, la masa de cada uno de los componentes se obtiene multiplicando la fracción molar por sus masas moleculares. Con la suma de las masas de los componentes, se obtiene la masa total. Para la fracción másica, se dividen las masas de cada componente entre la masa total.

Componente	Fracción molar	Masa molecular	Masa de cada componente	Fracción másica
O ₂	0,152	32	4,86	0,16
CO	0,044	28	1,23	0,04
CO ₂	0,118	44	5,19	0,17
N ₂	0,686	28	19,21	0,63
TOTAL	1	----	30,50	1,00



Introducción.

A recordar:

Unidades de medida de trazas de contaminantes:

- PARTES POR MILLÓN (ppm) o PARTES POR BILLÓN (ppb):

Se suelen expresar en relaciones de masas (líquidos) o relaciones de volumen (gases)

En líquidos:

$$\begin{aligned} ppm_i &= \varpi_i \cdot 10^6 \\ ppb_i &= \varpi_i \cdot 10^9 \end{aligned} \quad \varpi_i \left(\frac{kg_i}{kg_T} \right)$$

En gases:

$$\begin{aligned} ppm_i &= y_i \cdot 10^6 \\ ppb_i &= y_i \cdot 10^9 \end{aligned} \quad y_i \left(\frac{kmol_i}{kmol_T} \right)$$

En sólidos disueltos en agua: cuando la densidad de la disolución es igual a la del agua e igual a 1 kg/L

$$ppm_i = \frac{kg_i}{L_T} \cdot 10^6 = \frac{kg_i}{L_T} \cdot \frac{10^6 mg}{1 kg} = \frac{mg}{L}$$



Introducción.

A recordar:

Unidades de medida de trazas de contaminantes:

- MILIGRAMO POR METRO CÚBICO (mg/m^3)
- MICROGRAMO POR METRO CÚBICO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- NANOGRAMO POR METRO CÚBICO (ng/m^3)
- PICOGRAMO POR METRO CÚBICO (pg/m^3)

Tonelada 10^9 gramos
Kilogramos 10^3 gramos
Gramo
Miligramo 10^{-3} gramos
Microgramo 10^{-6} gramos
Nanogramo 10^{-9} gramos
Picogramo 10^{-12} gramos



Introducción.

CASO PRÁCTICO:

Ejemplo: 1. Se observa que la concentración diaria promedio para el NO en una estación de monitoreo es de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a 25°C y 750 mm de Hg de presión, ¿Cuál será la concentración de NO en ppm? Nota: Aplicar condiciones de gas ideal.

$$750 \text{ mm de Hg} \cdot \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mm de Hg}} = 0,986 \text{ atm}$$

$$40 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = 40 \cdot 10^{-6} \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

$$40 \cdot 10^{-6} \frac{\text{g}}{\text{m}^3 \text{ total}} \cdot \frac{1 \text{ mol NO}}{30 \text{ g NO}} = 1,33 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{m}^3 \text{ total}}$$

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow 0,986 \cdot V = 1,33 \cdot 10^{-6} \cdot 0,082 \cdot 298$$

$$V = 3,29 \cdot 10^{-5} \frac{\text{L de NO}}{\text{m}^3 \text{ total}}$$

$$3,29 \cdot 10^{-5} \frac{\text{L de NO}}{\text{m}^3 \text{ total}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 3,29 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}^3 \text{ de NO}}{\text{m}^3 \text{ total}}$$

$$\text{ppm} = 3,29 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}^3 \text{ de NO}}{\text{m}^3 \text{ total}} \cdot 10^6 = 0,033 \text{ ppm}$$



Introducción.

A recordar:

SISTEMA: región del espacio definida y delimitada por límites para su análisis.

Entorno: región externa al sistema.

Tipos de sistemas:

Abiertos: existe transferencia de materia hacia y/o desde el entorno.

Cerrados: no existe transferencia de materia hacia y/o desde el entorno.

Aislados: no existe transferencia de energía hacia o desde el entorno



Introducción.

Conceptos previos:

Propiedad extensiva: propiedad de una sustancia que depende de su masa (materia, energía, cantidad de movimiento).

Propiedad intensiva: propiedad de una sustancia que no depende de la masa (temperatura, presión, velocidad, densidad, concentración).

Acumulación: cantidad de propiedad extensiva que se acumula en un elemento de volumen de un sistema referida a la unidad de tiempo. En régimen estacionario, la acumulación es nula.

Generación: cantidad de propiedad extensiva que se genera en un elemento de volumen de un sistema referida a la unidad de tiempo. En sistemas sin reacción química, la generación es nula.

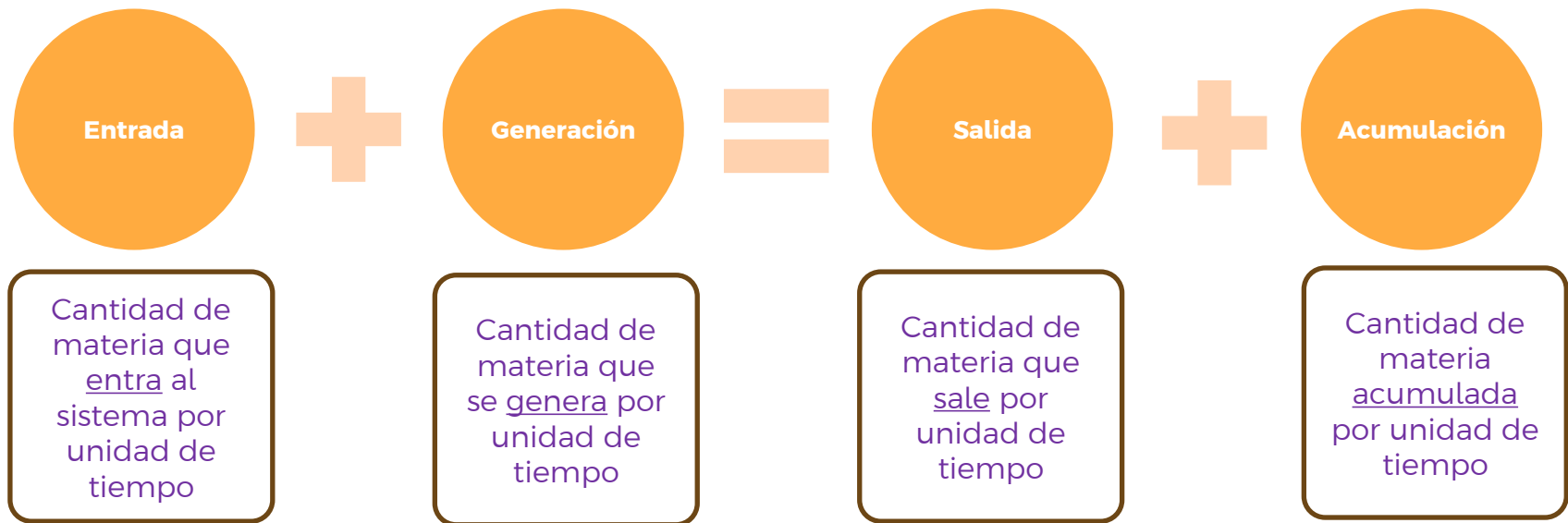


Balance general de materia.

Principio de conservación de la materia.

La materia ni se crea ni se destruye, se transforma*.

Los balances de materia se basan en este principio de conservación



*Esta frase es de aplicación en todas las situaciones físicas posibles salvo en el caso de las reacciones nucleares, en las cuales la materia se destruye para convertirse en energía. $E=mc^2$.



Balance general de materia.

Balance general de materia

¿ \dot{m}_1 y \dot{m}_2 ?

Balance de B:

$$E + \cancel{G} = S + \cancel{A}$$

$$1000 \frac{kgB}{h} = 575 kg \frac{B}{h} + \dot{m}_2 ; \dot{m}_2 = 425 kgB/h$$

Balance de T:

$$E + \cancel{G} = S + \cancel{A}$$

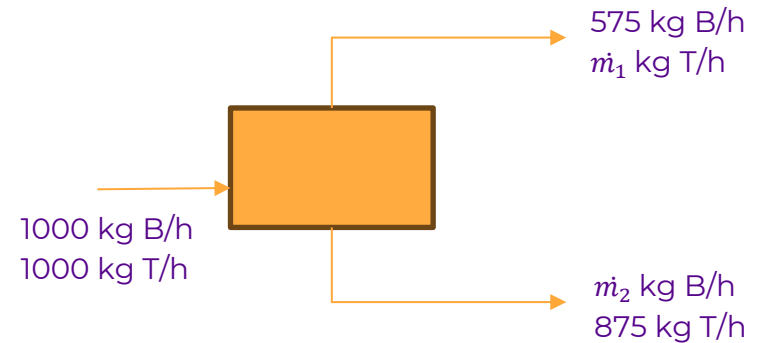
$$1000 \frac{kgT}{h} = 875 \frac{kgT}{h} + \dot{m}_1 ; \dot{m}_1 = 125 kg T/h$$

Balance total:

$$E + \cancel{G} = S + \cancel{A}$$

$$1000 \frac{kgT}{h} + 1000 \frac{kgB}{h} = 875 \frac{kgT}{h} + \dot{m}_1 + 575 kg \frac{B}{h} + \dot{m}_2$$

$$2000 \frac{kg \text{ totales}}{h} = 875 \frac{kgT}{h} + 125 \frac{kgT}{h} + 575 \frac{kgB}{h} + 425 \frac{kgB}{h} = 2000 \frac{kg \text{ totales}}{h}$$

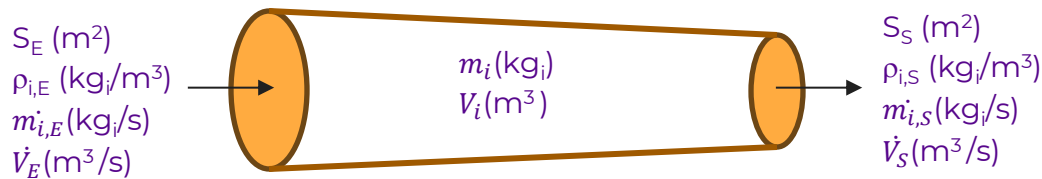


Balance general de materia.

Balance general de materia

$$E + G = S + A$$

Para abordar el análisis macroscópico de un balance de materia, se suele utilizar un tramo de conducción variable por la que circula un fluido:



$$\dot{m}_{i,E} + r_i V = \dot{m}_{i,S} + \frac{dm_i}{dt}$$

Donde:

$\dot{m}_{i,E}$ es el caudal másico de entrada del componente i.

$r_i V$ es la masa neta de componente i generada por reacción, por unidad de tiempo. Velocidad de generación por volumen.

$\dot{m}_{i,S}$ es el caudal másico de salida del componente i

$\frac{dm_i}{dt}$ es la cantidad de componente i acumulada por unidad de tiempo.

$$\frac{dm_i}{dt} = \dot{m}_{i,E} + r_i V - \dot{m}_{i,S} = (\rho_{i,E} \dot{V}_E - \rho_{i,S} \dot{V}_S) + r_i V$$

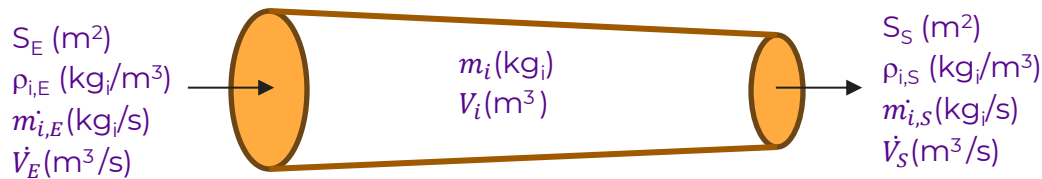


Balance general de materia.

Balance general de materia

$$E + G = S + A$$

Para abordar el análisis macroscópico de un balance de materia, se suele utilizar un tramo de conducción variable por la que circula un fluido:



$$\dot{m}_{i,E} + r_i V = \dot{m}_{i,S} + \frac{dm_i}{dt}$$

$$\frac{dm_i}{dt} = \dot{m}_{i,E} + r_i V - \dot{m}_{i,S} = (\rho_{i,E} \dot{V}_E - \rho_{i,S} \dot{V}_S) + r_i V$$

Si se trata de un fluido incompresible $\rho_{i,E} = \rho_{i,S} = \rho_i$

$$\frac{dm_i}{dt} = \rho_i (\dot{V}_E - \dot{V}_S) + r_i V$$

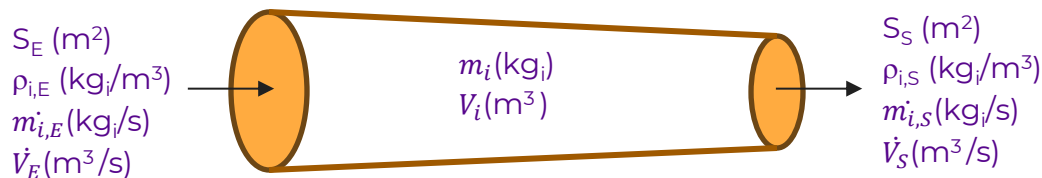


Balance general de materia.

Balance general de materia

$$E + G = S + A$$

Si en el tramo considerado se produce una reacción química tal que $A+B \rightarrow C+D$



$$\dot{m}_{A,E} - r_A V = \dot{m}_{A,S} + \frac{dm_A}{dt}$$

$$\dot{m}_{B,E} - r_B V = \dot{m}_{B,S} + \frac{dm_B}{dt}$$

$$\dot{m}_{C,E} + r_C V = \dot{m}_{C,S} + \frac{dm_C}{dt}$$

$$\dot{m}_{D,E} + r_D V = \dot{m}_{D,S} + \frac{dm_D}{dt}$$

Si el balance se hace en unidades másicas, la generación de productos debe ser igual a la desaparición de reactivos. Despareciendo el término de generación. Con lo cual, el sumatorio de las masas:

$$\frac{dm_T}{dt} = \dot{m}_{T,E} - \dot{m}_{T,S} = \rho_{T,E} \dot{V}_E - \rho_{T,S} \dot{V}_S$$

Si el balance se hiciera en unidades molares, esto no se cumple. El número total de moles no se conserva.



Balance general de materia.

Bases de cálculo

En ocasiones es necesario elegir una cantidad a la cual referir los términos del balance. La base de cálculo es el valor numérico de una magnitud extensiva, generalmente 1, 10, 100, 1000, etc., que se elige de forma arbitraria para facilitar los cálculos. Los resultados de las magnitudes extensivas obtenidos en el balance estarán referidos a esta base de cálculo.

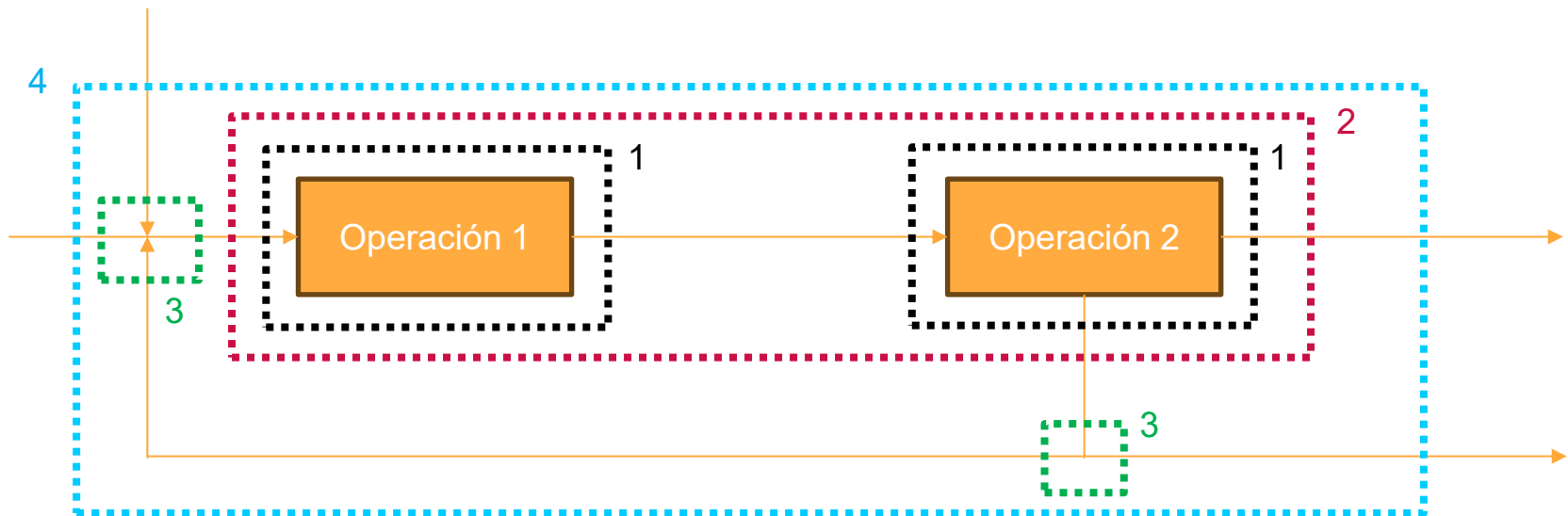
Consejos para elegir la base de cálculo:

- Una cantidad de alguno de los componentes del sistema. Preferiblemente que no reaccione y que salga del sistema como una sola corriente.
- Una cantidad de una de las corrientes que entre o salga del sistema y de la que se tenga mayor cantidad de información.
- Un intervalo de tiempo.



Tipos de balance de materia.

Diagrama de flujo



1. Balance de unidad (operación 1, operación 2)
2. Balance de parte del proceso
3. Balance de puntos de mezcla
4. Balance global



Balance de materia en régimen estacionario

Balance de materia en régimen estacionario

Se utilizan para operaciones continuas, corrientes que entran y salen continuamente del sistema. El régimen estacionario se alcanza cuando las variables no dependen del tiempo, por tanto, se mantiene constantes durante el proceso. En estos casos, el término de acumulación se anula.

Balance global:

$$E + G = S + A$$

$$\frac{dm_T}{dt}$$

$$= \dot{m}_{T,E} - \dot{m}_{T,S}$$

$$\dot{m}_{T,S} = \dot{m}_{T,E}$$

$$\rho_{T,E} \dot{V}_E = \rho_{T,S} \dot{V}_S$$

Balance de componente i

$$E + G = S + A$$

$$\frac{dm_i}{dt}$$

$$= \dot{m}_{i,E} + r_i V - \dot{m}_{i,S}$$

$$\dot{m}_{i,S} = \dot{m}_{i,E} + r_i V$$

$$\rho_i \dot{V}_S = \rho_i \dot{V}_E + r_i V$$



Balance de materia en régimen estacionario sin reacción química

Balance de materia en régimen estacionario sin reacción química

Si el componente i no reacciona, también el término de generación se anula.

Balance de componente i

$$\cancel{E + G = S + A}$$

$$\cancel{\frac{dm_i}{dt}} = m_{i,E} + \cancel{r_i V} - m_{i,S}$$

$$\dot{m}_{i,S} = \dot{m}_{i,E}$$

$$\rho_i \dot{V}_S = \rho_i \dot{V}_E$$

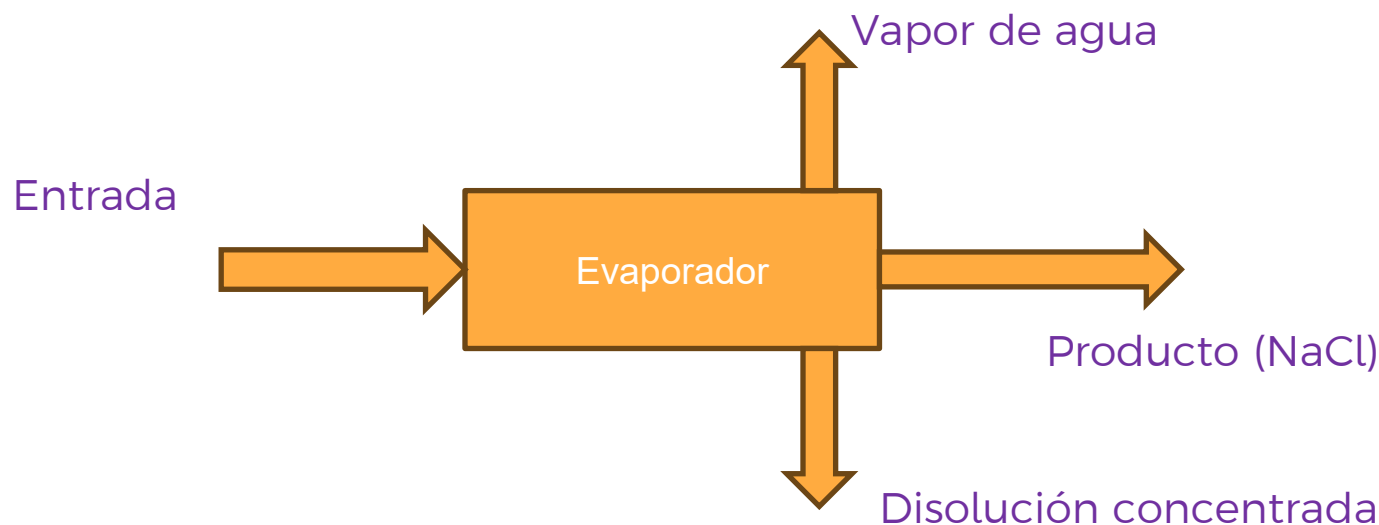


Balance de materia en régimen estacionario sin reacción química

CASO PRÁCTICO:

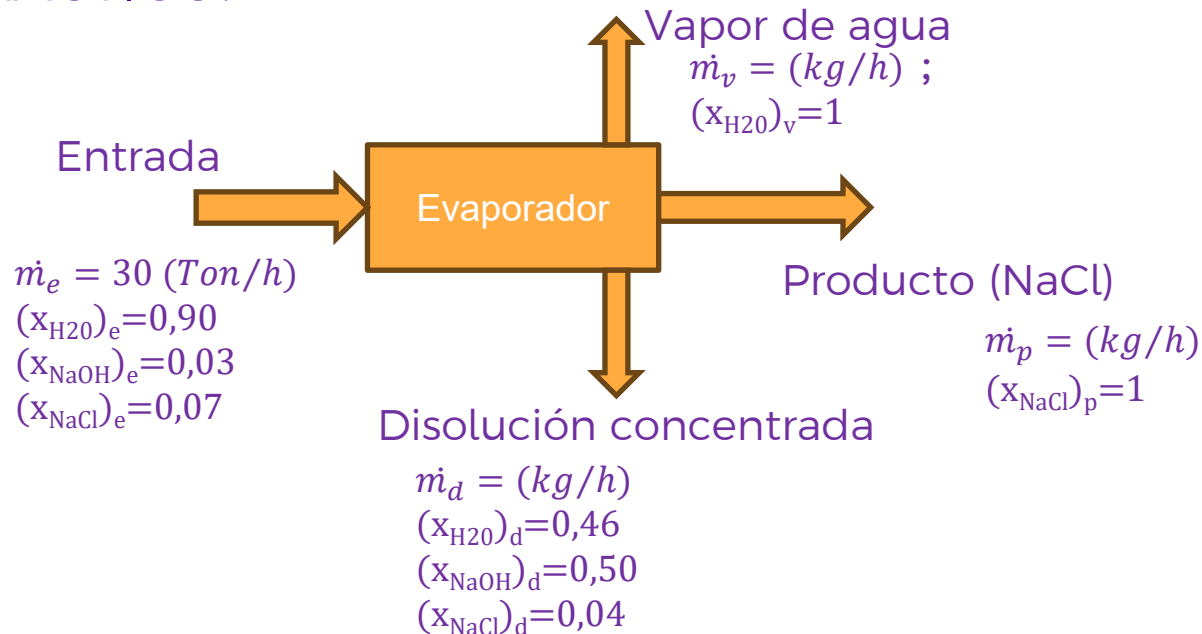
Un evaporador se alimenta continuamente con 30 t/h con una disolución que contiene un 90% de agua, un 3% de NaOH y un 7% de NaCl (% en peso). Durante la evaporación, el NaCl precipita. La disolución concentrada que abandona el evaporador contiene un 46% de agua, un 50% de NaOH y un 4% de NaCl. Calcular:

- Los kg de agua evaporada
- El caudal másico de NaCl precipitado
- El caudal másico de disolución concentrada.



Balance de materia en régimen estacionario sin reacción química

CASO PRÁCTICO:



Consideraciones tenidas en cuenta:

- La corriente de vapor de agua y de producto, como no se indica otra cosa, son corrientes puras, es decir, la fracción molar es 1 en ambos casos.
- Se comienza haciendo un balance del componente “más sencillo”. Aquel que aparezca en el menor número de corrientes.
- La base de cálculo elegida es 1 hora.



Balance de materia en régimen estacionario sin reacción química

CASO PRÁCTICO:

Balance de materia total al sistema

$$m_e = m_v + m_p + m_d \quad [1]$$

$$m_e = 30000 \text{ [kg/h]}$$

Balance de NaOH en el sistema

$$m_e \cdot (x_{\text{NaOH}})_e = m_v \cdot (x_{\text{NaOH}})_v + m_p \cdot (x_{\text{NaOH}})_p + m_d \cdot (x_{\text{NaOH}})_d$$

$$30000 \cdot 0,03 = 0 + 0 + m_d \cdot 0,50;$$

$$m_d = 1800 \text{ [kg/h]}$$

Balance de agua en el sistema

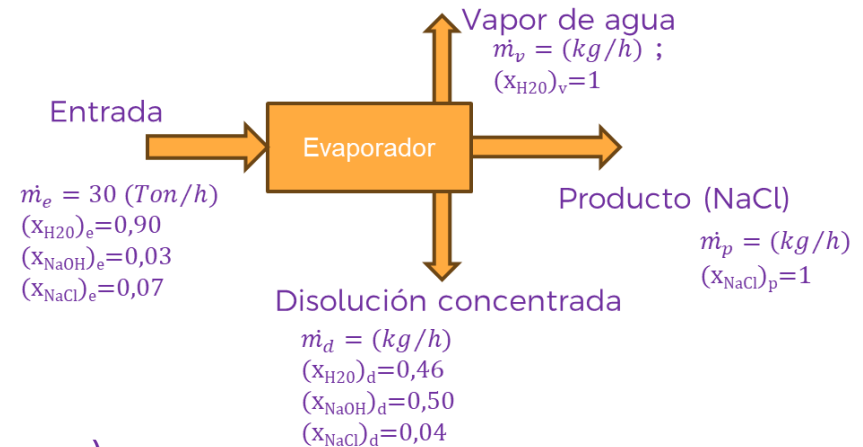
$$m_e \cdot (x_{\text{H}_2\text{O}})_e = m_v \cdot (x_{\text{H}_2\text{O}})_v + m_p \cdot (x_{\text{H}_2\text{O}})_p + m_d \cdot (x_{\text{H}_2\text{O}})_d$$

$$30000 \cdot 0,90 = m_v + 0 + 1800 \cdot 0,46 \quad [2]$$

de [1] y [2]:

$$m_v = 26172 \text{ [kg/h];}$$

$$m_p = 2028 \text{ [kg/h]}$$



Balance de materia en régimen estacionario sin reacción química

Algunas ideas importantes:

- Existen muchas formas de resolver los problemas, por ello, es importante pensar detenidamente la más eficiente. En ese sentido, es clave elegir una correcta base de cálculo.
- La dificultad de los problemas no está tanto en la resolución matemática, sino en el planteamiento, concretamente en la determinación de las composiciones de las corrientes.
- Es necesario plantear tantas ecuaciones independientes (balances independientes) como incógnitas.
- En general, en ausencia de reacción química, el número de balances de materia independientes es igual al número de componentes implicados en el proceso.
- Verifique los resultados. Utilice los balances redundantes para ello.

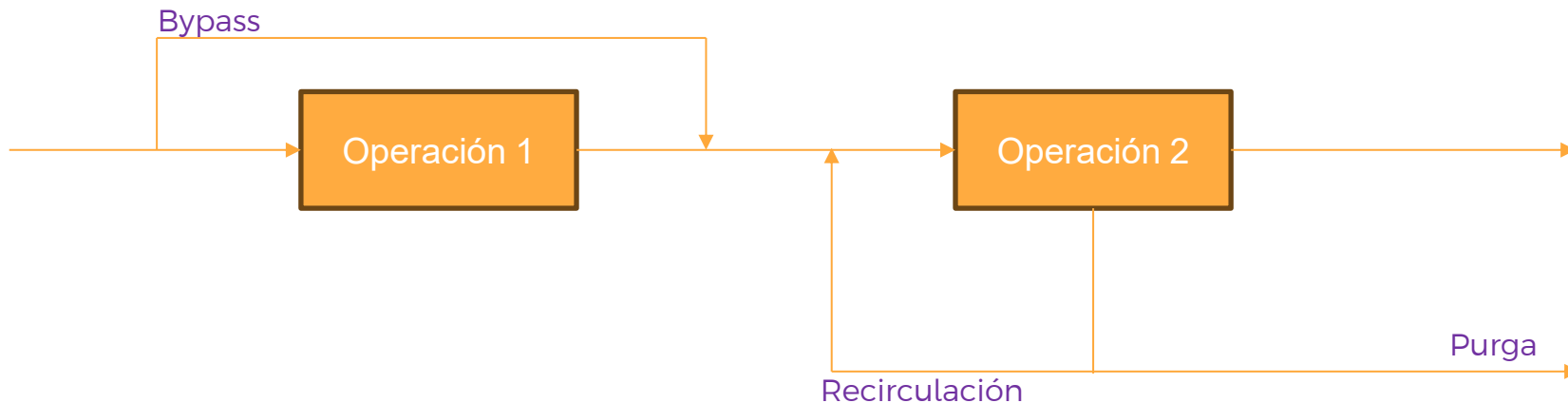


Sistemas con derivación (bypass), recirculación y/o purga

Bypass o derivación es una corriente que no pasa por una determinada unidad o etapa del proceso, se la “salta”, y pasa directamente a una unidad posterior.

Recirculación: corriente que sale de una unidad o proceso y que se devuelve a la misma

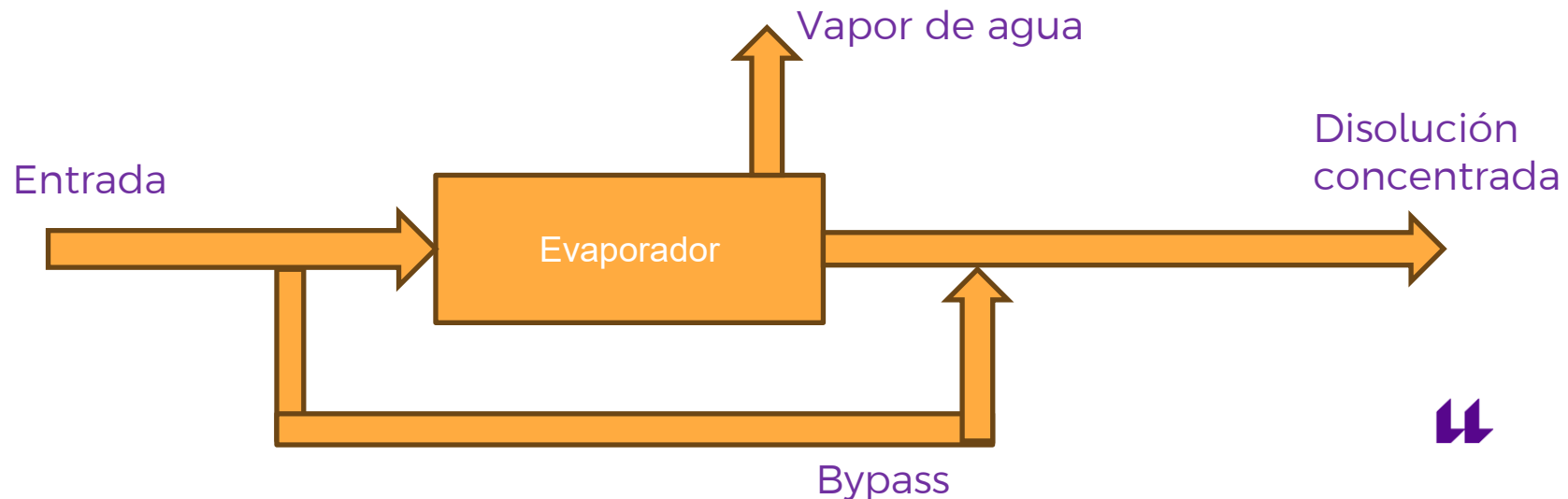
Purga: corriente que sale de una unidad de proceso que tiene como objetivo evitar la acumulación de algún componente en dicha unidad.



Balance de materia en régimen estacionario con bypass

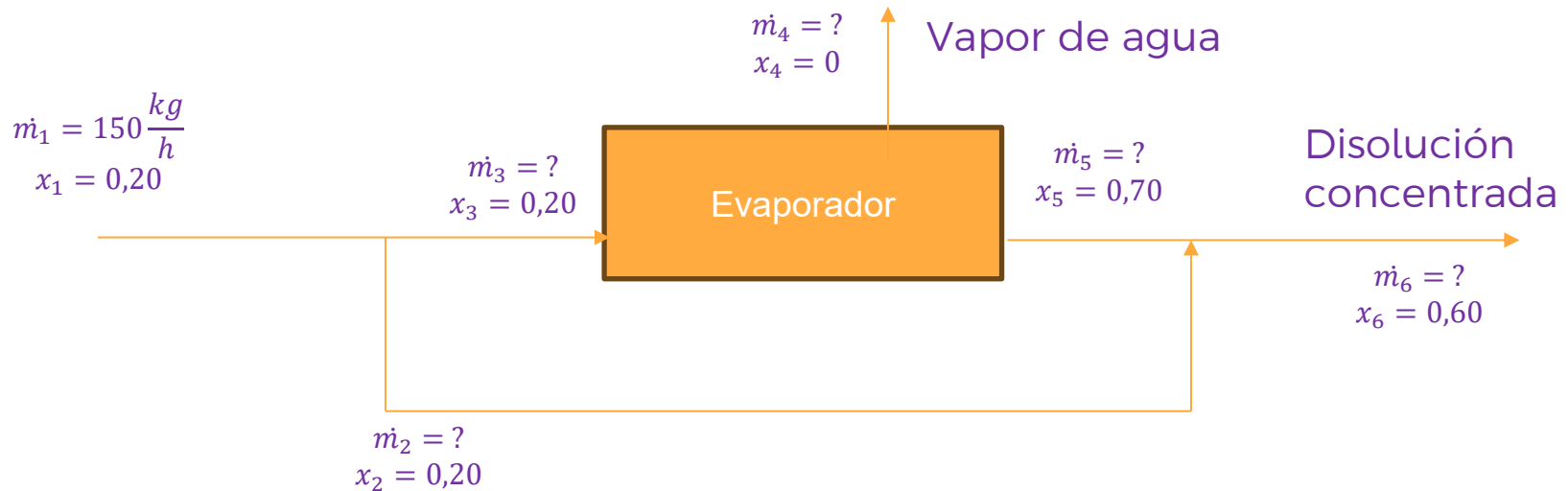
CASO PRÁCTICO:

Un zumo fresco contiene un 20% de sólidos en su composición. Para su comercialización se ha de concentrar hasta obtener un producto con un 60% de sólidos. Para ello se dispone de un evaporador. Para evitar pérdida de alguna propiedad organoléptica, se concentra el zumo hasta un 70% en sólidos y se mezcla tras el evaporador con una parte de zumo fresco. Determine la cantidad de zumo concentrado obtenido por cada 150 kg/h de zumo fresco y la relación entre la corriente de bypass y la de zumo fresco .



Balance de materia en régimen estacionario con bypass

CASO PRÁCTICO:



¿QUÉ PIDE EL PROBLEMA?

CANTIDAD DE PRODUCTO CONCENTRADO $\rightarrow \dot{m}_6 = ?$

RELACIÓN ENTRE LA CORRIENTE DE BYPASS Y LA DE ZUMO FRESCO
 $\dot{m}_2 / \dot{m}_1 = ?$



Balance de materia en régimen estacionario con bypass

CASO PRÁCTICO:

BALANCE GLOBAL

Total:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_4 + \dot{m}_6 = 150 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

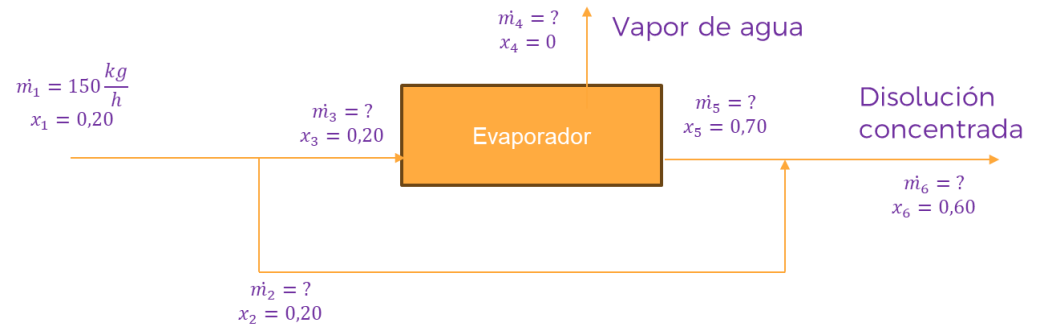
$$\dot{m}_4 = 150 - \dot{m}_6 \quad [1]$$

Sólidos:

$$0,20 \cdot \dot{m}_1 = 0 \cdot \dot{m}_4 + 0,6 \cdot \dot{m}_6 \quad \rightarrow \quad 0,20 \cdot 150 = 0,6 \cdot \dot{m}_6 \quad \rightarrow \quad \dot{m}_6 = 50 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

De [1]

$$\dot{m}_4 = 150 - 50 = 100 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$



Balance de materia en régimen estacionario con bypass

CASO PRÁCTICO:

PUNTO 1

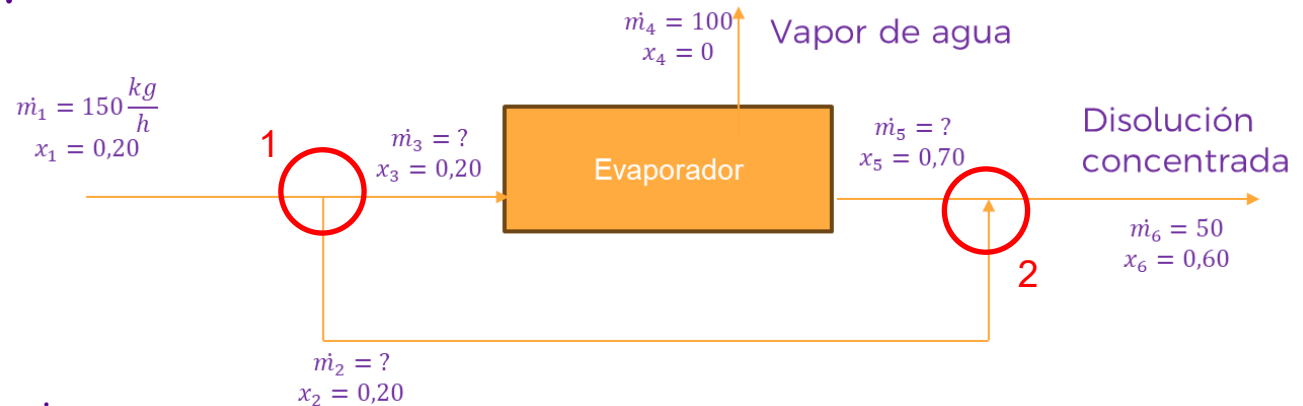
Total:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 = 150 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_3 = 150 - \dot{m}_2 \quad [2]$$

Sólidos:

$$0,20 \cdot \dot{m}_1 = 0,20 \cdot \dot{m}_2 + 0,20 \cdot \dot{m}_3$$



PUNTO 2

Total:

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_2 + \dot{m}_5 = 50 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \rightarrow \dot{m}_5 = 50 - \dot{m}_2 \quad [3]$$

Sólidos:

$$0,6 \cdot \dot{m}_6 = 0,20 \cdot \dot{m}_2 + 0,7 \cdot \dot{m}_5 \rightarrow$$

$$0,6 \cdot 50 = 0,20 \cdot \dot{m}_2 + 0,7 \cdot \dot{m}_5 \quad [4]$$

Utilizando [3] en [4]

$$30 = 0,20 \cdot \dot{m}_2 + 0,7 \cdot (50 - \dot{m}_2) \rightarrow 30 = 0,20 \cdot \dot{m}_2 + 35 - 0,7 \cdot \dot{m}_2 \rightarrow (0,7 - 0,20) \cdot \dot{m}_2 = 35 - 30$$

$$\dot{m}_2 = 10 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

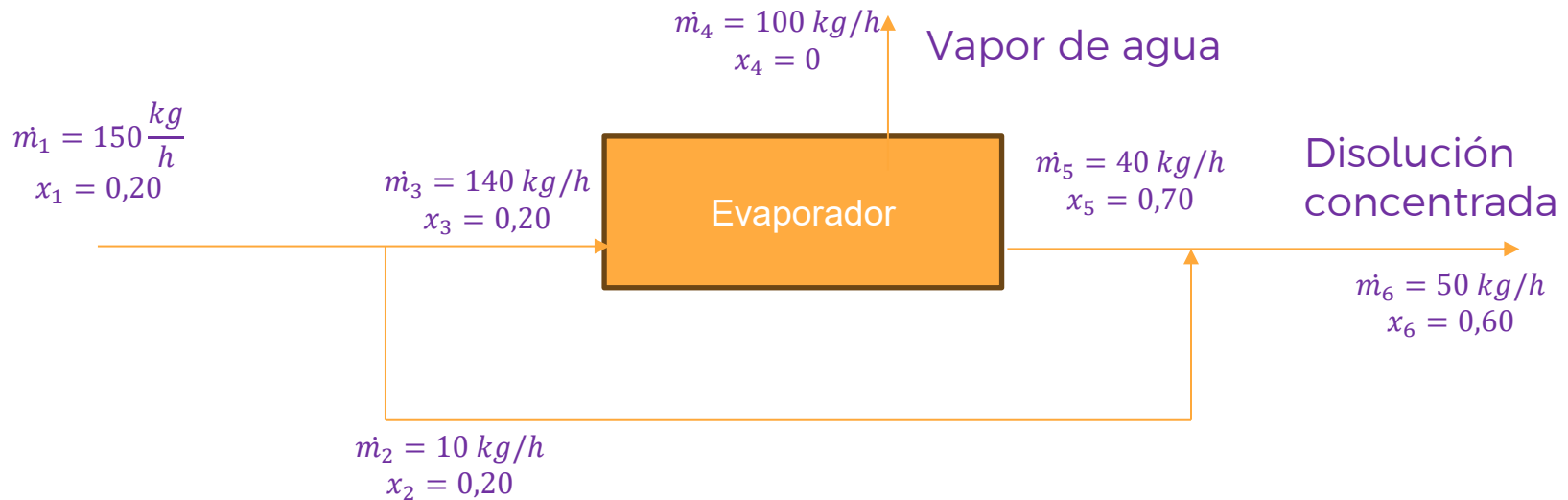
$$\text{Sustituyendo en [3]} \rightarrow \dot{m}_5 = 40 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{Sustituyendo en [2]} \rightarrow \dot{m}_3 = 140 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$



Balance de materia en régimen estacionario con bypass

CASO PRÁCTICO:



¿QUÉ PIDE EL PROBLEMA?

CANTIDAD DE PRODUCTO CONCENTRADO $\rightarrow m_6 = 50 \frac{kg}{h}$

RELACIÓN ENTRE LA CORRIENTE DE BYPASS Y LA DE ZUMO FRESCO

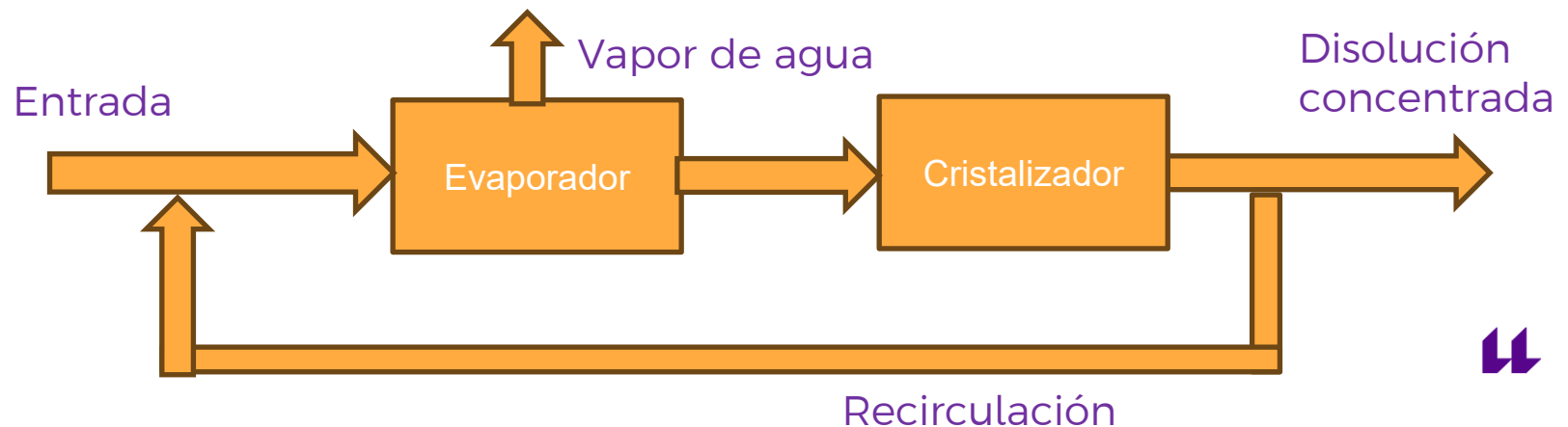
$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{10}{150} = 0,067$$



Balance de materia en régimen estacionario con recirculación

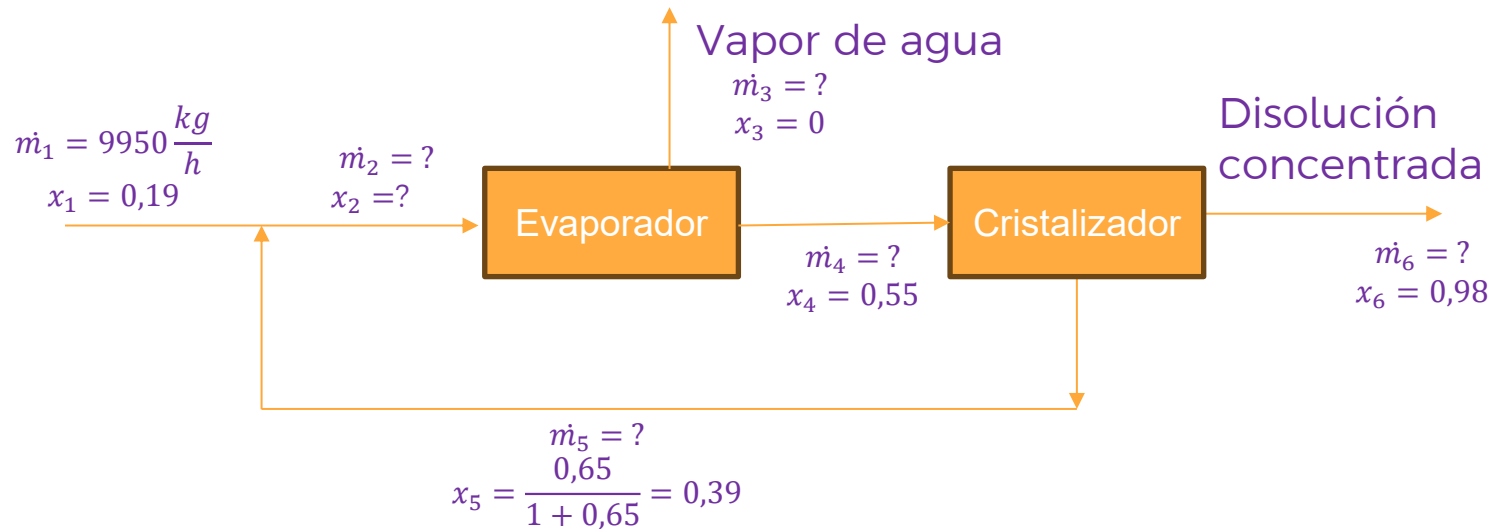
CASO PRÁCTICO:

Un sistema compuesto por un evaporador y un cristalizador trata una cantidad de 9950 kg/h de una disolución con un contenido en sólidos de un 19%. Cuando la corriente ha adquirido una concentración del 55% se lleva al cristalizador del que sale con un 98% de contenido en sólidos. Parte de la disolución saturada (con un contenido en sólidos de 0,65 kg sólido/kg agua se recircula y se mezcla con la corriente de entrada al evaporador. Calcule la cantidad de disolución concentrada obtenida y la cantidad de disolución recirculada y la cantidad de agua extraída.



Balance de materia en régimen estacionario con recirculación

CASO PRÁCTICO:



¿QUÉ PIDE EL PROBLEMA?

CANTIDAD DE DISOLUCIÓN CONCENTRADA $\rightarrow \dot{m}_6 = ?$

CANTIDAD DE DISOLUCIÓN RECIRCULADA $\rightarrow \dot{m}_5 = ?$

CANTIDAD DE AGUA EXTRAÍDA $\rightarrow \dot{m}_3 = ?$



Balance de materia en régimen estacionario con recirculación

CASO PRÁCTICO:

BALANCE GLOBAL

Total:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_3 + \dot{m}_6 = 9950 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_3 = 9950 - \dot{m}_6 \quad [1]$$

Sólidos:

$$0,19 \cdot \dot{m}_1 = 0 \cdot \dot{m}_3 + 0,98 \cdot \dot{m}_6 \rightarrow 0,19 \cdot 9950 = 0,98 \cdot \dot{m}_6 \rightarrow \dot{m}_6 = 1929,1 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

De [1]

$$\dot{m}_3 = 9950 - 1929,1 = 8020,9 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

PUNTO 1

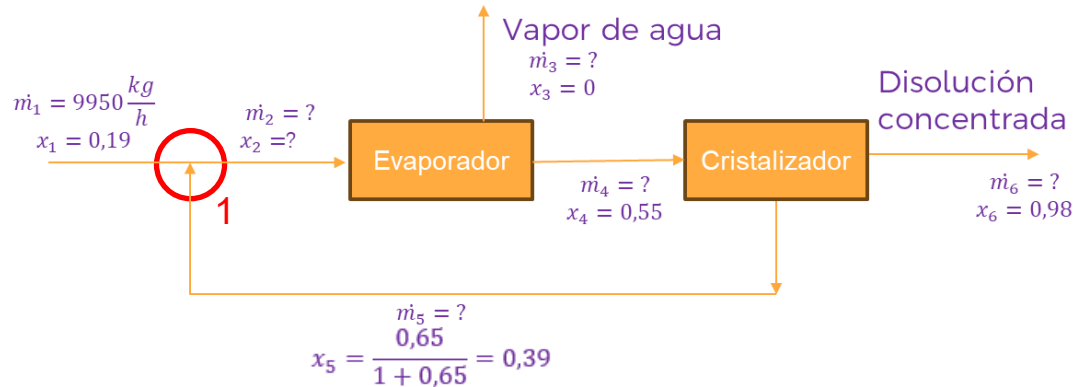
Total:

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_5 + \dot{m}_1 \rightarrow \dot{m}_2 = \dot{m}_5 + 9950$$

Sólidos:

$$x_2 \cdot \dot{m}_2 = 0,39 \cdot \dot{m}_5 + 0,19 \cdot \dot{m}_1 \rightarrow x_2 \cdot \dot{m}_2 = 0,39 \cdot \dot{m}_5 + 0,19 \cdot 9950 \rightarrow$$

$$x_2 \cdot \dot{m}_2 = 0,39 \cdot \dot{m}_5 + 1890,5 \quad [2]$$



Balance de materia en régimen estacionario con recirculación

CASO PRÁCTICO:

EVAPORADOR

Total:

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_4$$

$$\dot{m}_2 = 8020,9 + \dot{m}_4 \quad [3]$$

Sólidos:

$$x_2 \cdot \dot{m}_2 = 0 \cdot \dot{m}_3 + 0,55 \cdot \dot{m}_4 \rightarrow x_2 \cdot \dot{m}_2 = 0,55 \cdot \dot{m}_4 \quad [4]$$

CRISTALIZADOR

Total:

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 + \dot{m}_6 \rightarrow \dot{m}_4 = \dot{m}_5 + 1929,1 \quad [5]$$

Sólidos:

$$0,55 \cdot \dot{m}_4 = 0,39 \cdot \dot{m}_5 + 0,98 \cdot 1929,1 \rightarrow 0,55 \cdot \dot{m}_4 = 0,39 \cdot \dot{m}_5 + 1890,5$$

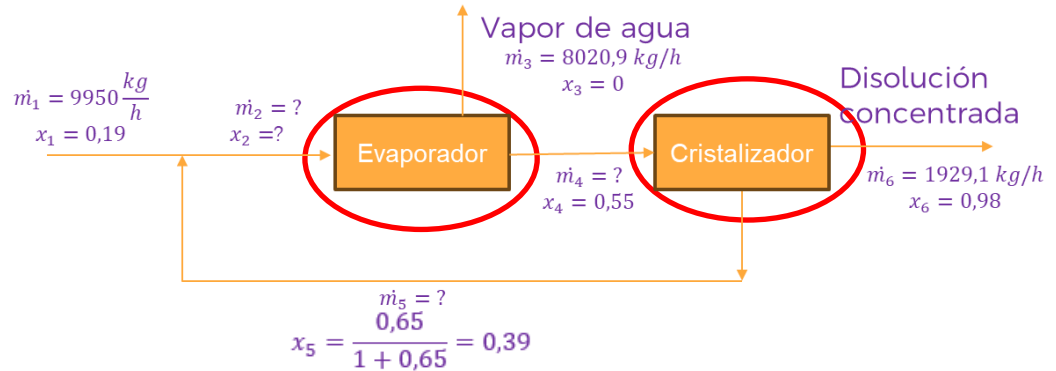
Sustituyendo [5]

$$0,55 \cdot (\dot{m}_5 + 1929,1) = 0,39 \cdot \dot{m}_5 + 1890,5 \rightarrow \dot{m}_5 \cdot (0,55 - 0,39) = 1890,5 - (0,55 \cdot 1929,1)$$

$$\dot{m}_5 = 5184,3 \frac{kg}{h}$$

Volviendo a [5]

$$\dot{m}_4 = 5184,3 + 1929,1 \rightarrow \dot{m}_4 = 7113,4 \frac{kg}{h}$$



Balance de materia en régimen estacionario con recirculación

CASO PRÁCTICO:

PUNTO 1

Total:

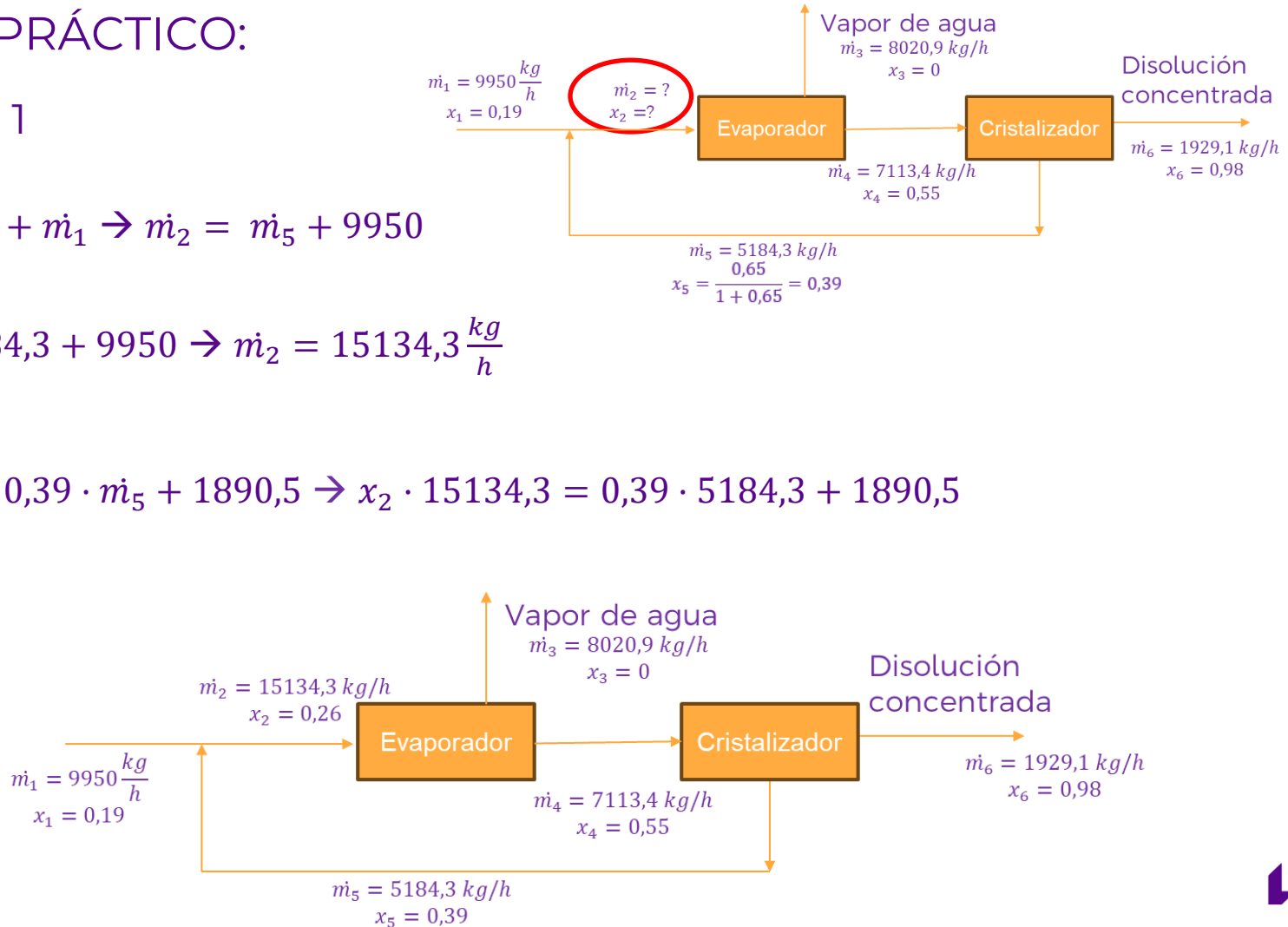
$$\dot{m}_2 = \dot{m}_5 + \dot{m}_1 \rightarrow \dot{m}_2 = \dot{m}_5 + 9950$$

$$\dot{m}_2 = 5184,3 + 9950 \rightarrow \dot{m}_2 = 15134,3 \frac{kg}{h}$$

Sólidos:

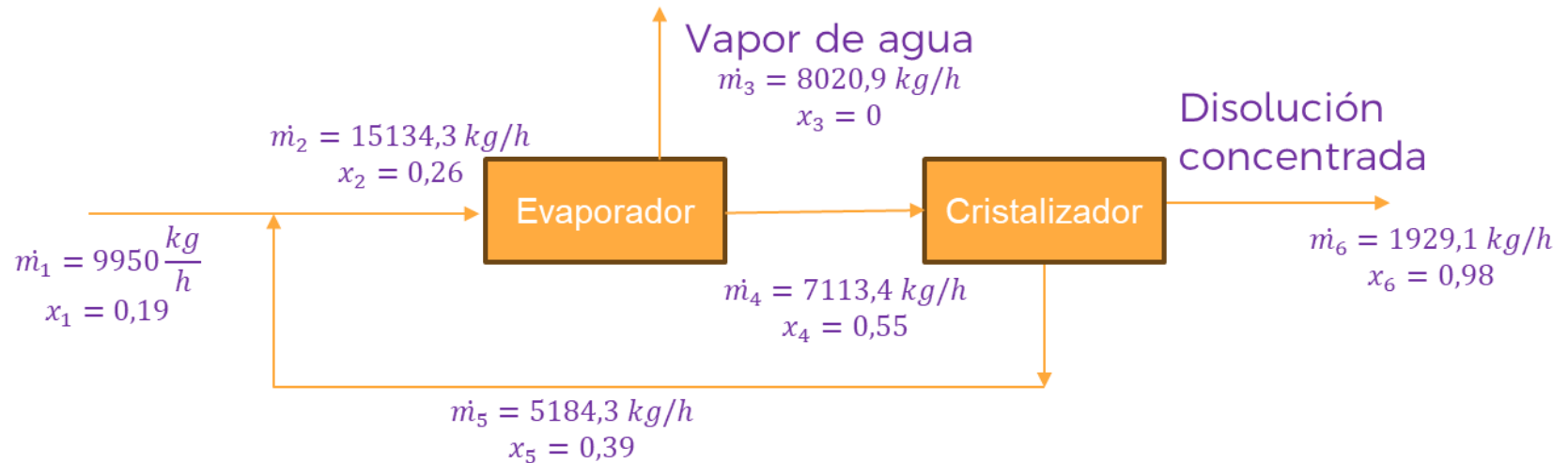
$$x_2 \cdot \dot{m}_2 = 0,39 \cdot \dot{m}_5 + 1890,5 \rightarrow x_2 \cdot 15134,3 = 0,39 \cdot 5184,3 + 1890,5$$

$$x_2 = 0,26$$



Balance de materia en régimen estacionario con recirculación

CASO PRÁCTICO:



¿QUÉ PIDE EL PROBLEMA?

CANTIDAD DE DISOLUCIÓN CONCENTRADA $\rightarrow \dot{m}_6 = 1929,1 \frac{kg}{h}$

CANTIDAD DE DISOLUCIÓN RECIRCULADA $\rightarrow \dot{m}_5 = 5184,3 \frac{kg}{h}$

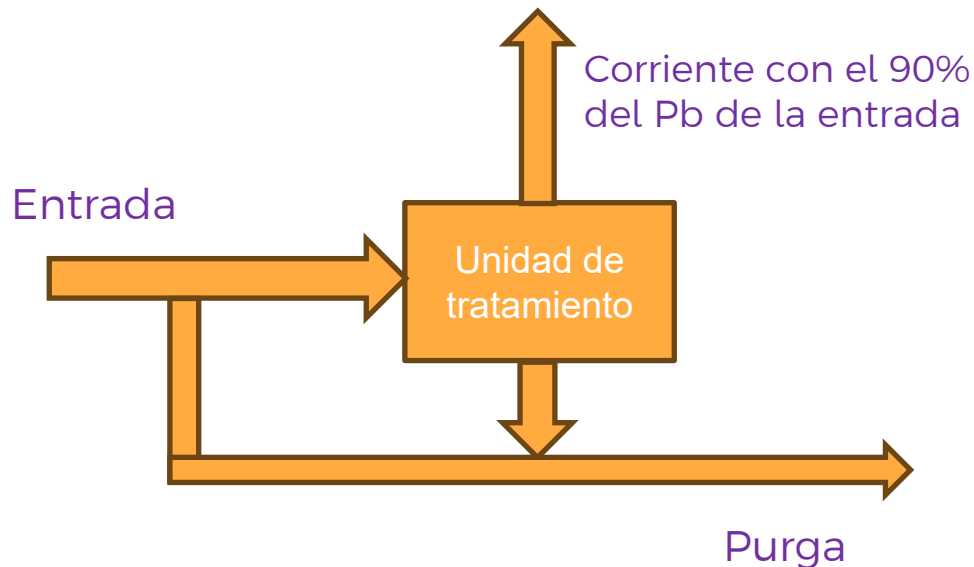
CANTIDAD DE AGUA EXTRAÍDA $\rightarrow \dot{m}_3 = 8020,9 \frac{kg}{h}$



Balance de materia en régimen estacionario con purga

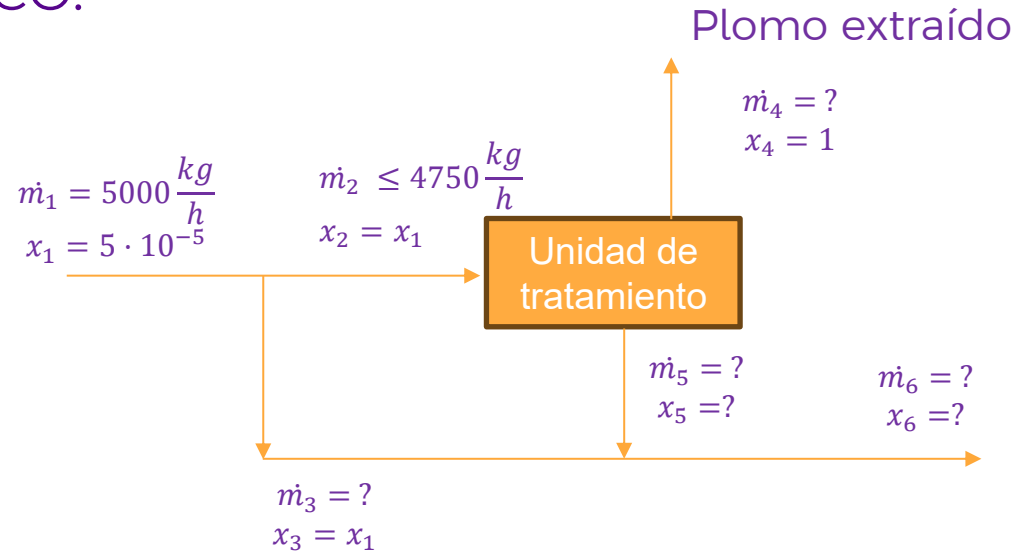
CASO PRÁCTICO:

Se desea tratar un agua de desecho contaminada con un 0,005% de plomo (5000 kg/h). Para ello se dispone de una unidad de tratamiento que elimina el 90% del plomo, pero que tiene una capacidad máxima de 4750 kg/h. El exceso debe ser purgado y enviado directamente a una laguna de desechos. Resuelva el balance de materia correspondiente.



Balance de materia en régimen estacionario con purga

CASO PRÁCTICO:



¿QUÉ PIDE EL PROBLEMA?

Resolver todo el balance de materia.



Balance de materia en régimen estacionario con purga

CASO PRÁCTICO:

BALANCE GLOBAL

Total:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_4 + \dot{m}_6 = 5000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_6 = 5000 - \dot{m}_4 \quad [1]$$

Plomo:

$$5 \cdot 10^{-5} \cdot \dot{m}_1 = 1 \cdot \dot{m}_4 + x_6 \cdot \dot{m}_6 \quad [2]$$

Si la corriente 4 contiene el 90% del plomo que entra al sistema:

$$\text{Entra: } 5 \cdot 10^{-5} \cdot \dot{m}_1 = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 5000 = 0,25 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

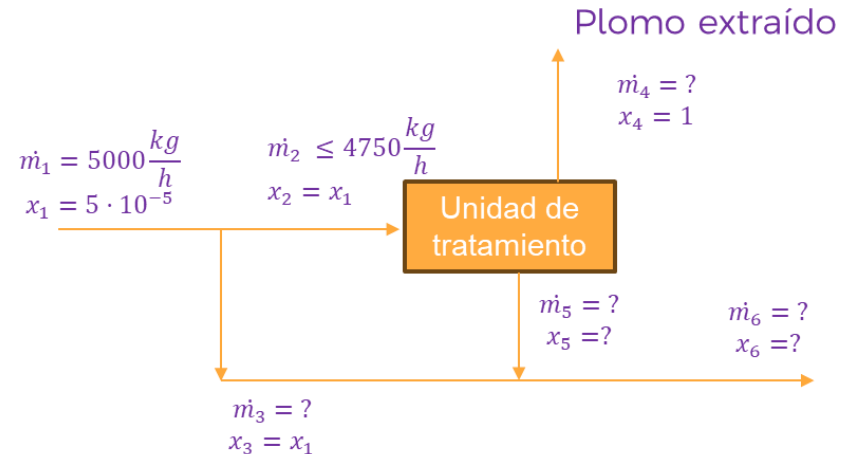
$$\text{Sale: } 0,9 \cdot 0,25 = 0,225 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = \dot{m}_4$$

De [1]

$$\dot{m}_6 = 5000 - 0,225 = 4999,775 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Sustituyendo en [2]

$$5 \cdot 10^{-5} \cdot 5000 = 0,225 + x_6 \cdot 4999,775 \rightarrow x_6 = 5 \cdot 10^{-6}$$



Balance de materia en régimen estacionario con purga

CASO PRÁCTICO:

Se toma como valor máximo de entrada a la unidad de tratamiento 4750 kg/h

PUNTO 1

Total:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 = 5000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \rightarrow \dot{m}_3 = 5000 - 4750 = 250 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

PUNTO 2

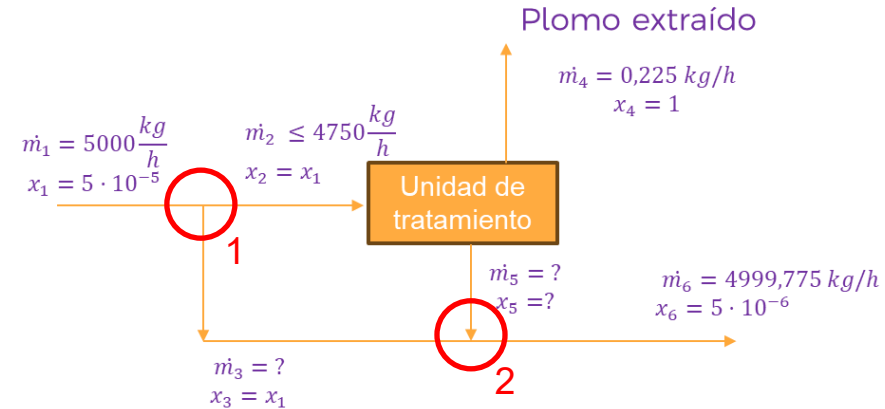
Total:

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_5 + \dot{m}_3 \rightarrow 4999,775 = \dot{m}_5 + 250 \rightarrow \dot{m}_5 = 4749,775 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Plomo:

$$x_6 \cdot \dot{m}_6 = x_5 \cdot \dot{m}_5 + x_3 \cdot \dot{m}_3 \rightarrow 5 \cdot 10^{-6} \cdot 4999,775 = x_5 \cdot 4749,775 + 5 \cdot 10^{-5} \cdot 250$$

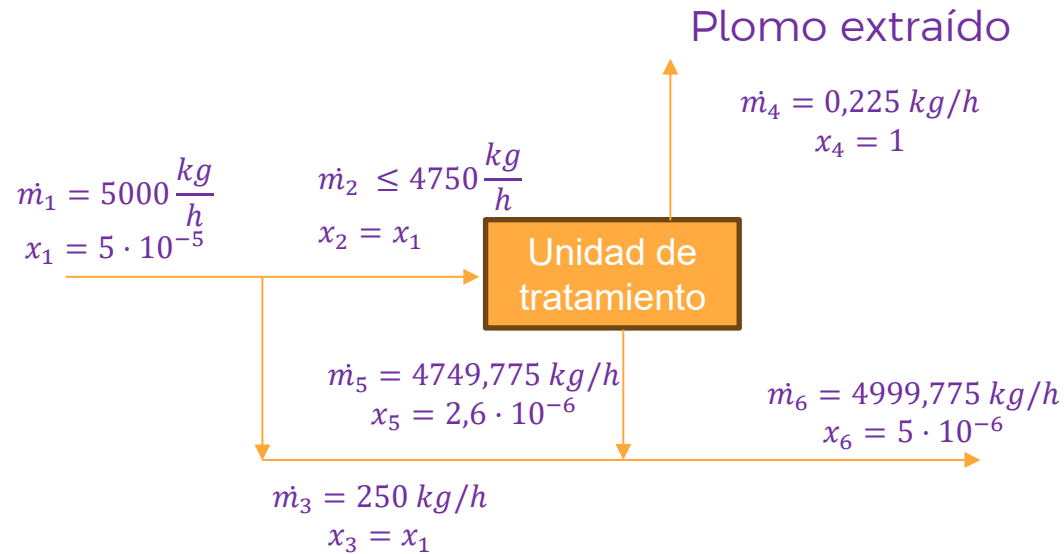
$$x_5 = 2,6 \cdot 10^{-6}$$



Balance de materia en régimen estacionario con purga

CASO PRÁCTICO:

¿QUÉ PIDE EL PROBLEMA?



Balance de materia en régimen no estacionario.

Existen operaciones discontinuas en las cuales existe una primera etapa de carga de los componentes, una fase de transformación y una fase de descarga del producto obtenido. Otras operaciones funcionan mediante una carga y extracción de la unidad de proceso de corrientes continuas de alimento y producto, respectivamente, lo que se denomina operaciones semicontinuas. En estos casos, las variables de operación dependen del tiempo.

Ambos tipos de operaciones pueden llevar consigo la existencia o no de una reacción química durante el proceso.

- Cuando durante el proceso no hay corrientes de entrada ni salida

Condición	Balance general	Desarrollado
Cuando durante el proceso no hay corrientes de entrada ni salida	E + G = S + A	$\frac{dm_i}{dt} = r_i V$
Cuando la entrada es igual a la salida	E + G = S + A	$\frac{dm_T}{dt} = 0$



Balance de materia en régimen no estacionario.

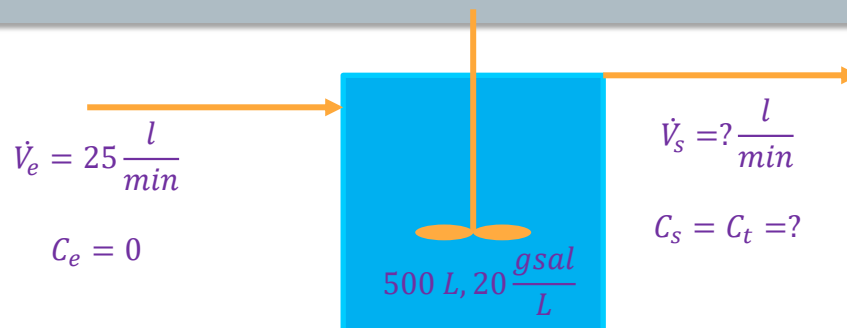
La base de cálculo se suele tomar como diferencial de tiempo (dt), con lo que los términos del balance tienen unidades de cantidad de magnitud (kg, L, etc).

La variación de composición con el tiempo depende de la composición y el tiempo.

Las ecuaciones se resuelven separando variables e integrando.

Ejemplo:

Un tanque contiene 500 litros de una disolución de sal en agua que contiene 10000 gramos de sal. El tanque se alimenta continuamente con una corriente de agua sin sal (25 L/min). El tanque contiene un rebosadero en la parte superior (a 500 L). Suponiendo que la agitación es tal que se mantiene la concentración de sal uniforme en todo momento, ¿cuánta sal habrá en el tanque a los 50 minutos?



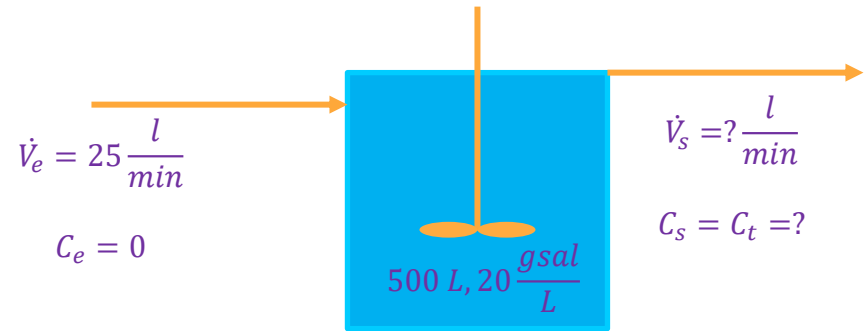
Balance de materia en régimen no estacionario.

Ejemplo:

BALANCE TOTAL:

No hay reacción química, por lo que:

$$E = S + A$$



Si se toma un elemento diferencial de tiempo como base de cálculo:

$$\frac{dm_T}{dt} = (m_e - m_s);$$

como $m = \rho V$

$$\frac{d\rho V}{dt} = (\rho V_e - \rho V_s) \rightarrow \rho \frac{dV}{dt} = \rho(V_e - V_s); \frac{dV}{dt} = (V_e - V_s);$$

El tanque permanece con un volumen constante con lo que

$$\frac{dV}{dt} = 0 \rightarrow V_e = V_s,$$

El volumen por unidad de tiempo que entra al sistema es igual al que sale \rightarrow

$$\dot{V}_s = 25 \frac{L}{min}$$

Balance de materia en régimen no estacionario.

Ejemplo:

BALANCE DE SAL:

No hay reacción química, ni entrada de sal por lo que:

$$S = -A$$

$$\frac{dm_s}{dt} = -(\dot{m}_s); \text{ como } m = C \cdot V; \frac{dCV}{dt} = -C_s V_s \rightarrow \frac{dC}{dt} = \frac{-C_s V_s}{V}; \text{ como } C_s = C_t \rightarrow \frac{dC}{C_t} = \frac{-V_s}{V} dt$$

$$\frac{dC}{C_t} = \frac{-V_s}{V} dt$$

Integrando:

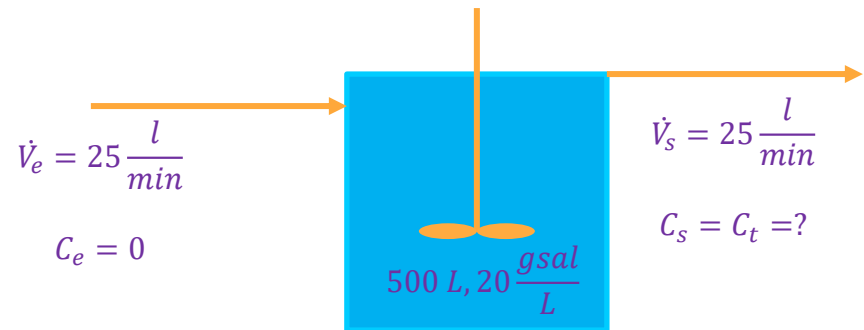
$$\int_{C_0}^{C_t} \frac{dC}{C_t} = \int_0^t \frac{-V_s}{V} dt \rightarrow \ln \frac{C_t}{C_0} = \frac{-V_s}{V} t$$

Sustituyendo:

$$\ln \frac{C_t}{20} = \frac{-25}{500} \cdot 50$$

Despejando:

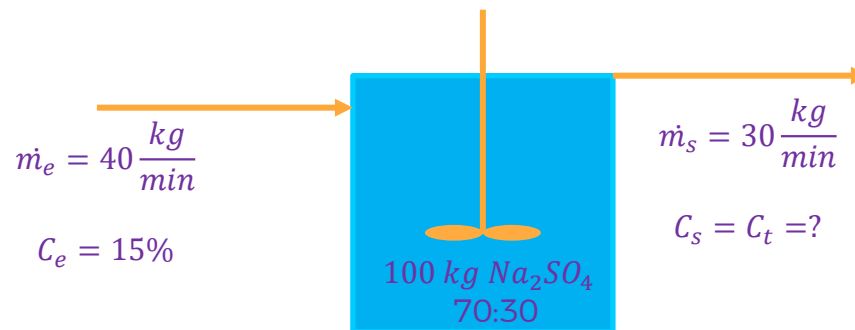
$$C_t = 1,64 \frac{g}{L}$$



Balance de materia en régimen no estacionario.

Ejemplo:

Una disolución de KCl al 15% en peso entra en un depósito con un caudal másico de 40 kg/min. El depósito contiene inicialmente 100 kg de una disolución de la misma sal en una proporción 70:30 con agua. El depósito se descarga con un caudal de 30 kg/min. Suponiendo que la mezcla es ideal, calcular la concentración en el depósito transcurridos 20 min.



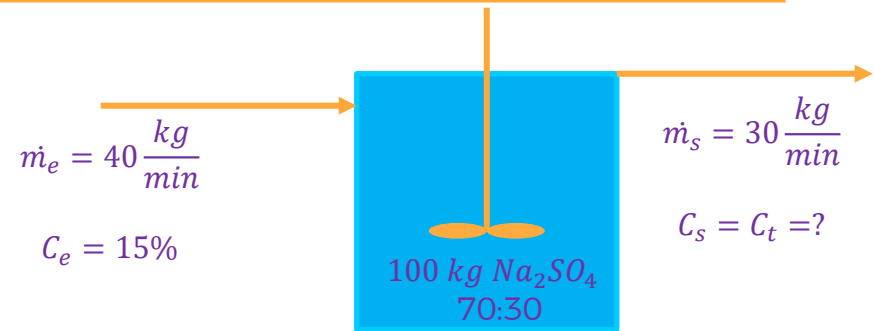
Balance de materia en régimen no estacionario.

Ejemplo:

BALANCE TOTAL:

No hay reacción química, por lo que:

$$E = S + A$$



Si se toma un elemento diferencial de tiempo como base de cálculo:

$$\frac{dm_T}{dt} = (\dot{m}_e - \dot{m}_s) \rightarrow \frac{dm_T}{dt} = (40 - 30) \rightarrow dm_T = 10 \cdot dt \rightarrow \int_{m_0}^m dm_T = \int_0^t 10 \cdot dt$$

$$m - m_0 = 10 \cdot t \rightarrow m = 10 \cdot t + m_0 \rightarrow m = 10 \cdot t + 100 \quad [1]$$

BALANCE DE Na_2SO_4 :

No hay reacción química, por lo que: $E = S + A$

$$\dot{m}_e \cdot x_e = \dot{m}_s \cdot x + \frac{x \cdot dm}{dt} + \frac{m \cdot dx}{dt} \rightarrow \text{Sustituyendo [1]} \rightarrow$$

$$40 \cdot 0,15 = 30 \cdot x + x \cdot \frac{d(10t+100)}{dt} + \frac{(10t+100) \cdot dx}{dt} = 30x + x \cdot 10 + \frac{(10t+100) \cdot dx}{dt} = 6$$

$$6 - 40x = \frac{(10t+100) \cdot dx}{dt} \rightarrow \frac{dx}{6-40x} = \frac{dt}{10t+100} \rightarrow \int_{0,7}^x \frac{dx}{6-40x} = \int_0^{20} \frac{dt}{10t+100}$$



Balance de materia en régimen no estacionario.

Ejemplo:

$$\underbrace{\int_{0,7}^x \frac{dx}{6-40x}}_a = \underbrace{\int_0^{20} \frac{dt}{10t+100}}_b$$

Aplicando cambios de variable

$$a \left\{ \begin{array}{l} 6-40x = u \rightarrow -40 = u' \\ \frac{1}{-40} \int_{0,7}^x \frac{-40dx}{6-40x} = \frac{1}{-40} \cdot [\ln(6-40x)]_{0,7}^x \rightarrow \frac{1}{-40} \cdot \ln \frac{6-40 \cdot x}{6-40 \cdot 0,7} \end{array} \right.$$

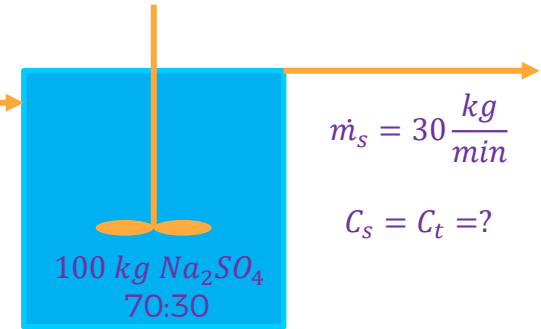
$$b \left\{ \begin{array}{l} 10t+100 = u \rightarrow 10 = u' \\ \frac{1}{10} \int_0^{20} \frac{10dt}{10+100t} = \frac{1}{10} \cdot [\ln(10t+100)]_0^{20} \rightarrow \frac{1}{10} \cdot \ln \frac{10 \cdot 20 + 100}{10 \cdot 0 + 100} = 0,11 \end{array} \right.$$

$$\frac{1}{-40} \cdot \ln \frac{6-40 \cdot x}{6-40 \cdot 0,7} = 0,11 \rightarrow \ln \frac{6-40 \cdot x}{6-40 \cdot 0,7} = -4,4 \rightarrow e^{\ln \frac{6-40 \cdot x}{6-40 \cdot 0,7}} = e^{-4,4} \rightarrow \frac{6-40 \cdot x}{6-40 \cdot 0,7} = 0,01$$

$$6-40 \cdot x = -0,27 \rightarrow x = 0,16$$

$$\dot{m}_e = 40 \frac{kg}{min}$$

$$C_e = 15\%$$



Balance de materia en régimen estacionario con reacción química

Algunos recordatorios:

ESTEQUIOMETRÍA:

Define la combinación de elementos y compuestos. Cada uno de los “participantes” en una reacción química va acompañado de un número que define la cantidad de moléculas necesarias para que la reacción se lleve a cabo. El número de átomos de cada especie en ambos lados de la ecuación debe ser el mismo. Las relaciones se hacen en moléculas o moles ($1 \text{ mol} \rightarrow 6,023 \cdot 10^{23}$ moléculas).



Relación estequiométrica: 2:1:2

Por cada 2 moles de SO_2 se producen 2 moles de SO_3 necesitando 1 mol de O_2 .



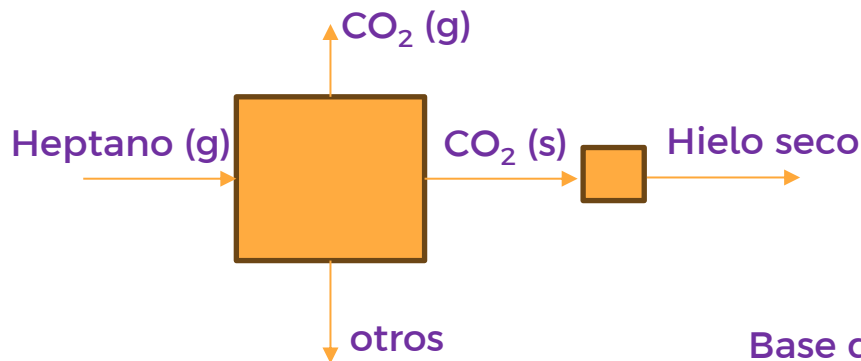
Balance de materia en régimen estacionario con reacción química

Algunos recordatorios:

ESTEQUIOMETRÍA:

Ejemplo:

En la combustión del heptano se produce CO_2 . Suponiendo que se desea producir 1000 kg de hielo seco por hora y que el 50% del CO_2 se puede convertir en hielo seco, ¿cuánto heptano se necesita por hora?



7 moles C
16 moles H
22 moles O

7 moles C
16 moles H
14 + 8 = 22 moles O

Base de cálculo: 1 hora

$$1000 \text{ kg hielo} \cdot \frac{1 \text{ kg CO}_2}{0,5 \text{ kg hielo}} \cdot \frac{1 \text{ kmol}}{44 \text{ kg CO}_2} \cdot \frac{1 \text{ kmol C}_7\text{H}_{16}}{7 \text{ kmol CO}_2} \cdot \frac{100,2 \text{ kg C}_7\text{H}_{16}}{1 \text{ kmol C}_7\text{H}_{16}} = 650,6 \text{ kg C}_7\text{H}_{16}$$



Balance de materia en régimen estacionario con reacción química

Algunos recordatorios:

REACTIVO LIMITANTE :

Es el reactivo que está presente en la cantidad estequiométrica. Generalmente, en la industria no se utilizan cantidades estequiométricas, sino cierto exceso para garantizar que la reacción se desarrolla con un grado de conversión aceptable.

El reactivo limitante es el primero que se consume en el caso de que una reacción se complete, pero ¿cómo identificar el reactivo limitante?

- Calcular los cocientes molares y compararlos con los cocientes estequiométricos.
- El reactivo en exceso será aquel cuya cantidad sea superior a la estequiométrica. El porcentaje de exceso es la cantidad de reactivo por encima de la cantidad estequiométrica o requerida.

$$\% \text{ en exceso} = \frac{\text{moles en exceso}}{\text{moles requeridos para reaccionar con el limitante}} \cdot 100$$



Balance de materia en régimen estacionario con reacción química

Algunos recordatorios:

REACTIVO LIMITANTE:

Ejemplo:

Considerando la reacción de producción de óxido de etileno. Se alimenta un reactor con 100 kmol de C_2H_4 y 100 kmol de O_2 . Identifique el reactivo limitante, el porcentaje de exceso del otro reactivo. Si la reacción se llevara a cabo por completo, ¿qué cantidad de óxido de etileno se obtendría?, ¿y qué cantidad de reactivo en exceso quedaría en el reactor?



Por cada 2 mol de C_2H_4 se requiere 1 mol de O_2 . Si se tienen:

- 100 kmol de C_2H_4 se necesitarían 50 kmol de O_2
- 100 kmol de O_2 se necesitarían 200 kmol C_2H_4

El reactivo limitante es el C_2H_4 y el reactivo en exceso es O_2 .

$$100 \text{ kmol } C_2H_4 \cdot \frac{2 \text{ kmol } C_2H_4O}{2 \text{ kmol } C_2H_4} \cdot \frac{(12 \cdot 2 + 4 + 16) \text{ kg } C_2H_4O}{1 \text{ kmol } C_2H_4O} = 4400 \text{ kg } C_2H_4O$$



Balance de materia en régimen estacionario con reacción química

Algunos recordatorios:

REACTIVO LIMITANTE:

Ejemplo:

Considerando la reacción de producción de óxido de etileno. Se alimenta un reactor con 150 kmol de C_2H_4 y 150 kmol de O_2 . Identifique el reactivo limitante, el porcentaje de exceso del otro reactivo. Si la reacción se llevara a cabo por completo, ¿qué cantidad de óxido de etileno se obtendría?, ¿y qué cantidad de reactivo en exceso quedaría en el reactor?



$$150 \text{ kmol } C_2H_4 \cdot \frac{2 \text{ kmol } C_2H_4O}{2 \text{ kmol } C_2H_4} \cdot \frac{(12 \cdot 2 + 4 + 16) \text{ kg } C_2H_4O}{1 \text{ kmol } C_2H_4O} = 6600 \text{ kg } C_2H_4O$$

$$150 \text{ kmol } C_2H_4 \cdot \frac{1 \text{ kmol } O_2}{2 \text{ kmol } C_2H_4} = 75 \text{ kmol } O_2 \text{ reaccionan}$$

$$(150 - 75) \text{ kmol } O_2 \cdot \frac{32 \text{ kg } O_2}{1 \text{ kmol } O_2} = 2400 \text{ kg } O_2$$



Balance de materia en régimen estacionario con reacción química

Algunos recordatorios:



CONVERSIÓN, SELECTIVIDAD Y RENDIMIENTO:

CONVERSIÓN: es la fracción de la alimentación o de algún compuesto de la alimentación que se convierte en productos

$$\text{Conversión} = \frac{\text{moles (masa) de A que reaccionan}}{\text{moles (masa) de A alimentados}} \cdot 100$$

SELECTIVIDAD: es el cociente entre los moles (masa) obtenidos de un producto determinado (usualmente el deseado) entre los moles (masa) que de reactivo que reaccionan

$$\text{Selectividad} = \frac{\text{moles (masa) de A que reaccionan a B}}{\text{moles (masa) de A que reaccionan}} \cdot 100$$

RENDIMIENTO: es el cociente entre los moles (masa) obtenidos de un producto determinado (usualmente el deseado) entre los moles (masa) alimentados

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{moles (masa) de A que reaccionan a B}}{\text{moles (masa) de A alimentados}} \cdot 100$$



Balance de materia en régimen estacionario con reacción química

Algunos recordatorios:

CONVERSIÓN, SELECTIVIDAD Y RENDIMIENTO:

Ejemplo:

Considerando que las reacciones se llevan a cabo en un reactor continuo que se alimenta con un 60 % (molar) de etano y el resto de inertes, calcule la composición de la salida del reactor teniendo en cuenta que la fracción de conversión del etano es del 45% y el rendimiento fraccionario del etileno es del 30%.



¿Cuál será la selectividad del etano para el metano?



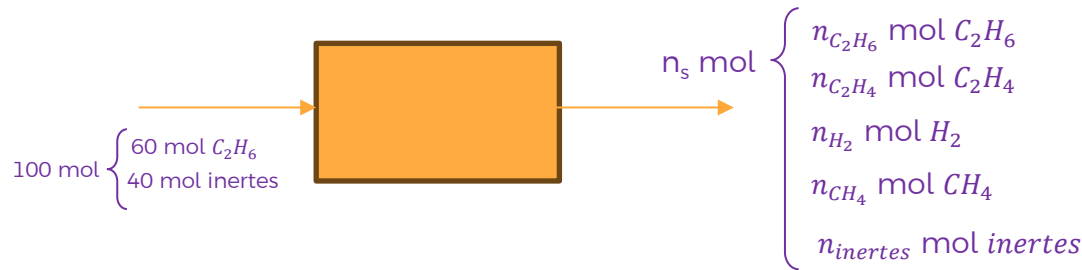
Balance de materia en régimen estacionario con reacción química

Algunos recordatorios:

CONVERSIÓN, SELECTIVIDAD Y RENDIMIENTO:

Ejemplo:

Base de cálculo 100 mol



$\chi_{C_2H_6} = 0,45 \rightarrow$ El 45% de los moles de C_2H_6 reaccionan

$\eta_{C_2H_4} = 0,60 \rightarrow$ El 60% de los moles de C_2H_6 que entran se transforman en C_2H_4

$$60 \text{ mol } C_2H_6 \cdot 0,45 = 27 \text{ mol } C_2H_6 \text{ reaccionan para dar } C_2H_4, H_2 \text{ y } CH_4$$

$$60 \text{ mol } C_2H_6 - 27 \text{ mol } C_2H_6 \text{ reaccionan} = 33 \text{ mol } C_2H_6 \text{ salen} = n_{C_2H_6}$$

$$27 \text{ mol } C_2H_6 \cdot \frac{60 \text{ moles } C_2H_4}{100 \text{ moles } C_2H_6} = 16,2 \text{ mol } C_2H_4 = n_{C_2H_4}$$

$$27 \text{ mol } C_2H_6 \text{ reaccionan} - 16,2 \text{ mol } C_2H_6 \text{ se transforman en } C_2H_4 = 10,8 \text{ mol } C_2H_6 \text{ se transforman en } CH_4$$

$$10,8 \text{ mol } C_2H_6 \cdot \frac{2 \text{ mol } CH_4}{1 \text{ mol } C_2H_6} = 21,6 \text{ mol } CH_4 = n_{CH_4}$$



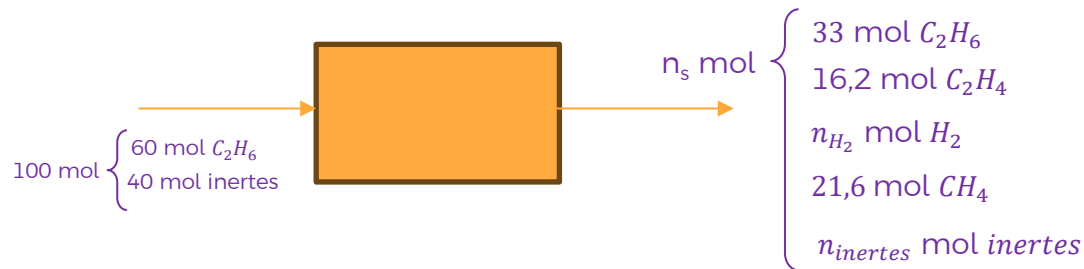
Balance de materia en régimen estacionario con reacción química

Algunos recordatorios:

CONVERSIÓN, SELECTIVIDAD Y RENDIMIENTO:

Ejemplo:

Base de cálculo 100 mol



$\chi_{C_2H_6} = 0,45 \rightarrow$ El 45% de los moles de C_2H_6 reaccionan

$\eta_{C_2H_4} = 0,60 \rightarrow$ El 60% de los moles de C_2H_6 que entran se transforman en C_2H_4

El H_2 se produce en la primera reacción y parte se consume en la segunda reacción:

1ª reacción: Reaccionan 16,2 mol de C_2H_6 , por lo que se forman 16,2 mol H_2 (1:1)

2ª reacción: Reaccionan 10,8 mol de C_2H_6 , por lo que se consumen 10,8 mol H_2 (1:1)

$$16,2 \text{ mol } H_2 \text{ se forman} - 10,8 \text{ mol } H_2 \text{ reaccionan} = 5,4 \text{ mol } H_2 \text{ salen} = n_{H_2}$$

Los componentes inertes no reaccionan, moles que entran = moles que salen

$$n_{inertes} = 40 \text{ mol}$$

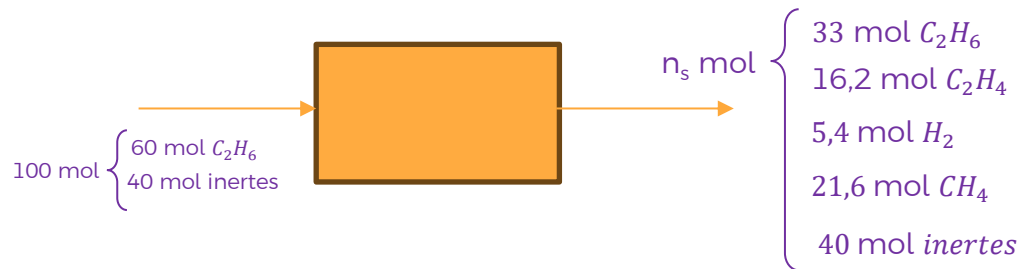
Balance de materia en régimen estacionario con reacción química

Algunos recordatorios:

CONVERSIÓN, SELECTIVIDAD Y RENDIMIENTO:

Ejemplo:

Base de cálculo 100 mol



$\chi_{C_2H_6} = 0,45 \rightarrow$ El 51% de los moles de C_2H_6 reaccionan

$\eta_{C_2H_4} = 0,60 \rightarrow$ El 40% de los moles de C_2H_6 que entran se transforman en C_2H_4

En la corriente de salida:

Componente	Moles	Fracción
C_2H_6	33	0,28
C_2H_4	16,2	0,14
H_2	5,4	0,05
CH_4	21,6	0,18
<i>inertes</i>	40	0,34
TOTAL (n_s)	140,8	--



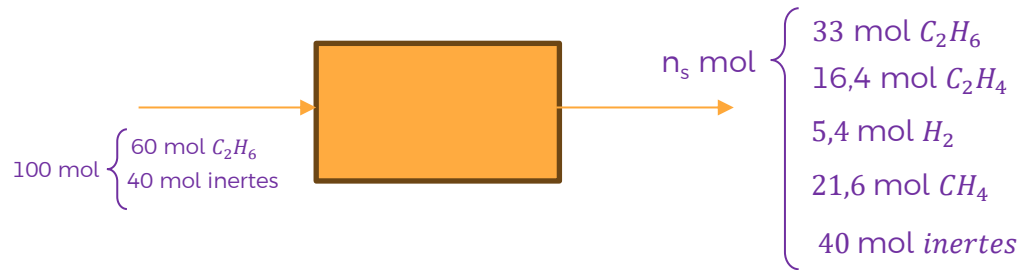
Balance de materia en régimen estacionario con reacción química

Algunos recordatorios:

CONVERSIÓN, SELECTIVIDAD Y RENDIMIENTO:

Ejemplo:

Base de cálculo 100 mol



$\chi_{C_2H_6} = 0,45 \rightarrow$ El 45% de los moles de C_2H_6 reaccionan

$\eta_{C_2H_4} = 0,60 \rightarrow$ El 60% de los moles de C_2H_6 que entran se transforman en C_2H_4

¿Cuál será la selectividad del etano para el metano?

$$Selectividad = \frac{\text{moles (masa) de A que reaccionan a B}}{\text{moles (masa) de A que reaccionan}} \cdot 100$$

$$Selectividad_{C_2H_6 \text{ para } CH_4} = \frac{10,8 \text{ mol } C_2H_6 \text{ que reaccionan para dar } CH_4}{27 \text{ mol } C_2H_6 \text{ que reaccionan}} \cdot 100 = 40$$



Balance de materia en régimen estacionario con reacción química

Algunas cuestiones a tener en cuenta:

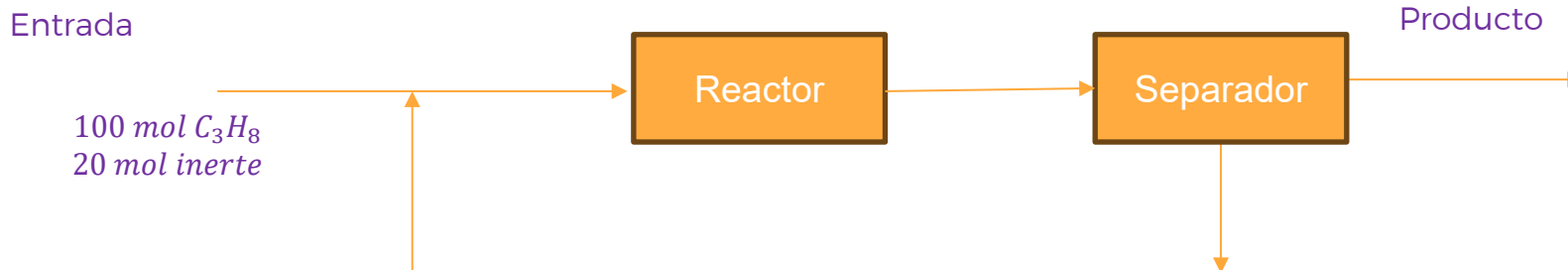
- En general, los cálculos de balance de materia en sistemas con reacción química se pueden resolver utilizando balances de especies moleculares o atómicas, o bien utilizando el grado de conversión y la selectividad o el rendimiento.
- En sistemas con reacción química, en el balance de materia total, no tiene porqué cumplirse la igualdad entre la entrada y la salida al expresarse en moles, pero sí cuando se expresa en masa.
- En sistemas con reacción química, en el balance de un componente puro, no se requiere igualdad entre entrada y salida cuando esta expresa tanto en moles como en masa.
- En sistemas con reacción química, cuando el balance se hace para una especie atómica se cumple que la entrada es igual a la salida, ya se exprese el balance tanto en masa como en moles.



Balance de materia

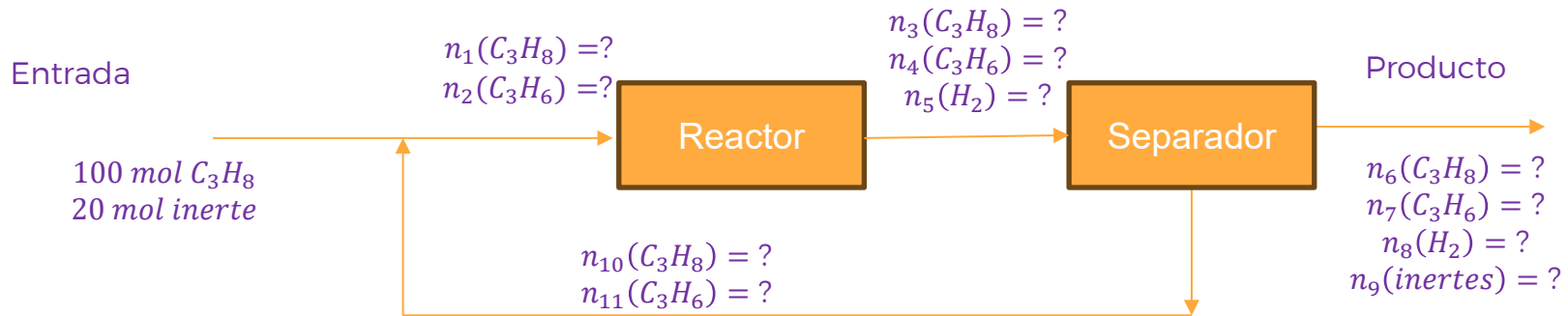
Ejemplo:

Se diseña un proceso para la producción de propileno (C_3H_6) a partir de propano (C_3H_8). El diseño se realiza para que la conversión de C_3H_8 en C_3H_6 sea del 98%. Tras el reactor se coloca un separador que separa la corriente de salida del reactor en dos corrientes, una que se puede considerar como producto, que contiene un 0,2% del propano que sale del reactor y otra que se recircula al reactor que contiene el 8% del propileno de la corriente producto. Calcule la composición de la corriente producto si se alimenta el sistema con una mezcla de propano-inerte (20% de inerte). Indique, además, la proporción de moles recirculados, respecto a los moles totales que entran al reactor, así como la conversión en un paso. Reacción: $C_3H_8 \rightarrow C_3H_6 + H_2$



Balance de materia

Ejemplo:



Del enunciado sabemos que:

- La salida de C_3H_6 será el 98% de lo que entra al reactor $\rightarrow n_7(C_3H_6) = 0,98 \cdot 100$
- Por tanto, en la salida, el 2% de C_3H_6 que no ha reaccionado $\rightarrow n_6(C_3H_8) = 0,02 \cdot 100$
- Todos los moles de inerte que entran deben salir sin reaccionar $\rightarrow n_9(inertes) = 20 \text{ moles}$
- La corriente de producto contiene un 0,2% del propano que sale del reactor \rightarrow

$$n_6(C_3H_8) = \frac{0,2}{100} \cdot n_3(C_3H_8)$$

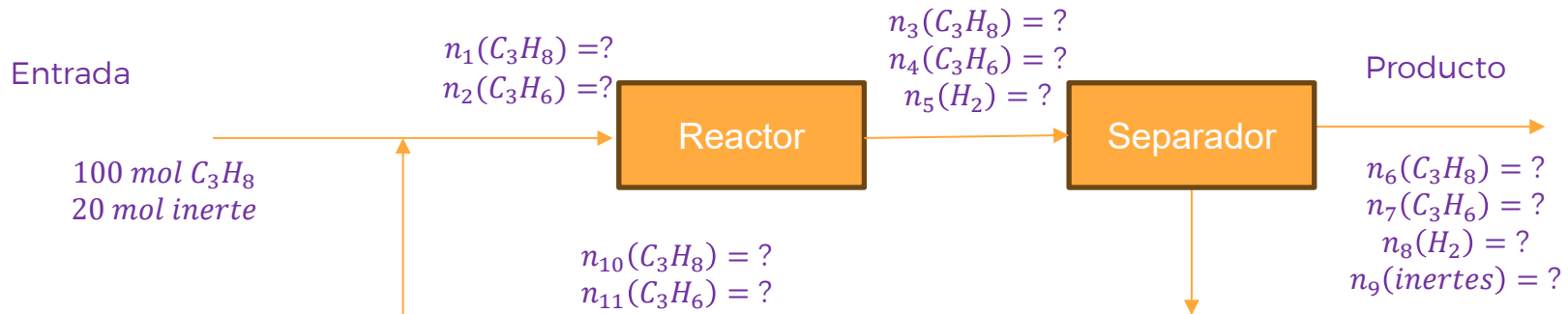
- La corriente que se recircula al reactor que contiene el 8% del propileno de la corriente producto:

$$n_{11}(C_3H_6) = \frac{8}{100} \cdot n_7(C_3H_6)$$



Balance de materia

Ejemplo:



Del enunciado sabemos que:

- La salida de C_3H_6 será el 98% de lo que entra al reactor $\rightarrow n_7(C_3H_6) = 0,98 \cdot 100 = 98 \text{ mol } C_3H_6$
- Según la reacción $C_3H_8 \rightarrow C_3H_6 + H_2$

$$n_8(H_2) = 98 \text{ mol } H_2$$

El H_2 sale como producto que no se recircula, por lo que:

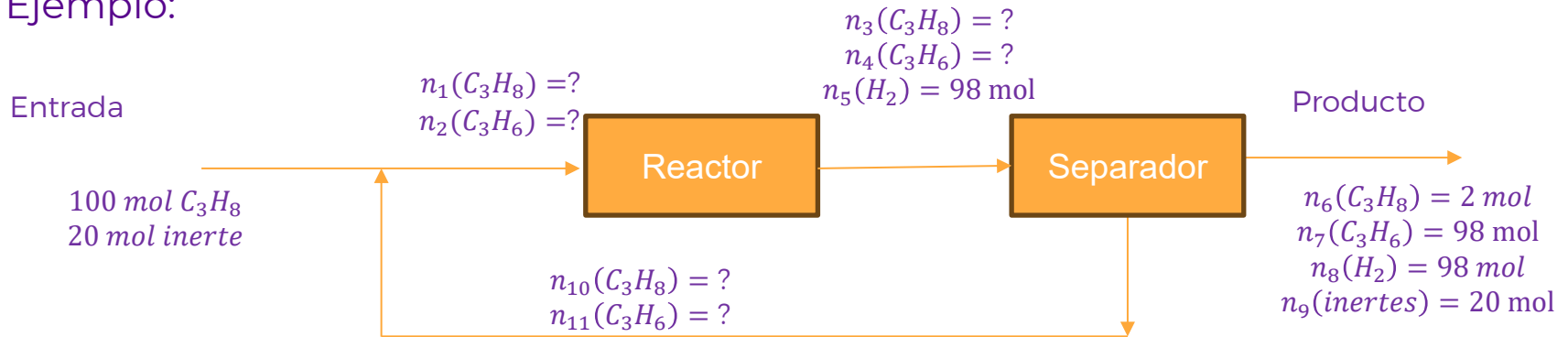
$$n_5(H_2) = n_8(H_2) = 98 \text{ mol } H_2$$

- Por tanto, en la salida, el 2% de C_3H_6 que no ha reaccionado $\rightarrow n_6(C_3H_8) = 0,02 \cdot 100 = 2 \text{ mol}$
- Todos los moles de inerte que entran deben salir sin reaccionar $\rightarrow n_9(inertes) = 20 \text{ moles}$



Balance de materia

Ejemplo:



Del enunciado sabemos que:

- La corriente de producto contiene un 0,2% del propano que sale del reactor →

$$n_6(C_3H_8) = \frac{0,2}{100} \cdot n_3(C_3H_8) = 2 \text{ mol} \rightarrow n_3(C_3H_8) = 1000 \text{ mol}$$

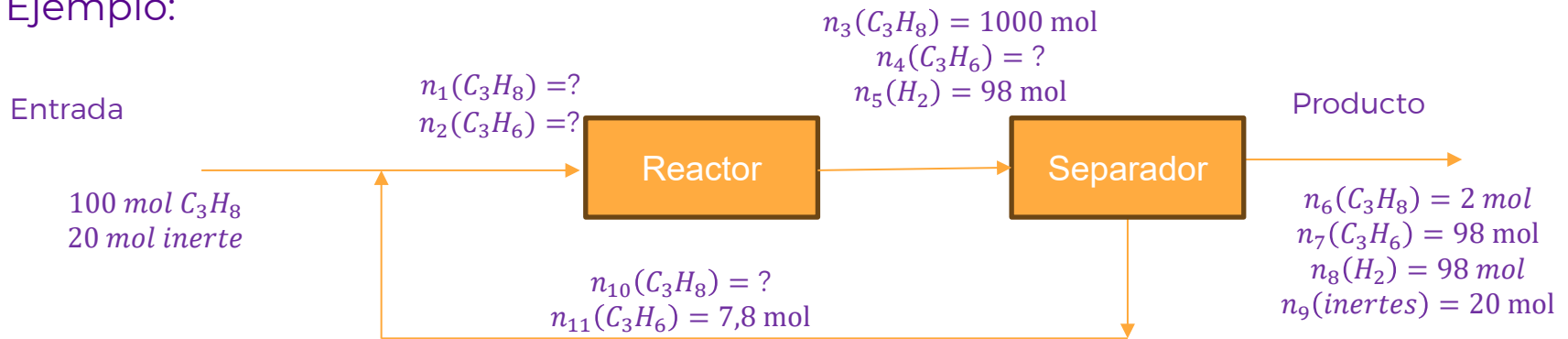
- La corriente que se recircula al reactor que contiene el 8% del propileno de la corriente producto:

$$n_{11}(C_3H_6) = \frac{8}{100} \cdot n_7(C_3H_6) = \frac{8}{100} \cdot 98 = 7,8 \text{ mol}$$



Balance de materia

Ejemplo:



BALANCE EN EL SEPARADOR:

- De C_3H_8

$$n_3(C_3H_8) = n_6(C_3H_8) + n_{10}(C_3H_8) \rightarrow 1000 = 2 + n_{10}(C_3H_8) \rightarrow n_{10}(C_3H_8) = 998 \text{ mol}$$

- De C_3H_6

$$n_4(C_3H_6) = n_7(C_3H_6) + n_{11}(C_3H_6) \rightarrow n_4(C_3H_6) = 98 + 7,8 \rightarrow n_4(C_3H_6) = 105,4 \text{ mol}$$

BALANCE EN EL PUNTO DE MEZCLA:

- De C_3H_8

$$n_1(C_3H_8) = n_{10}(C_3H_8) + 100 \rightarrow n_1(C_3H_8) = 998 + 100 \rightarrow n_1(C_3H_8) = 1098 \text{ mol}$$

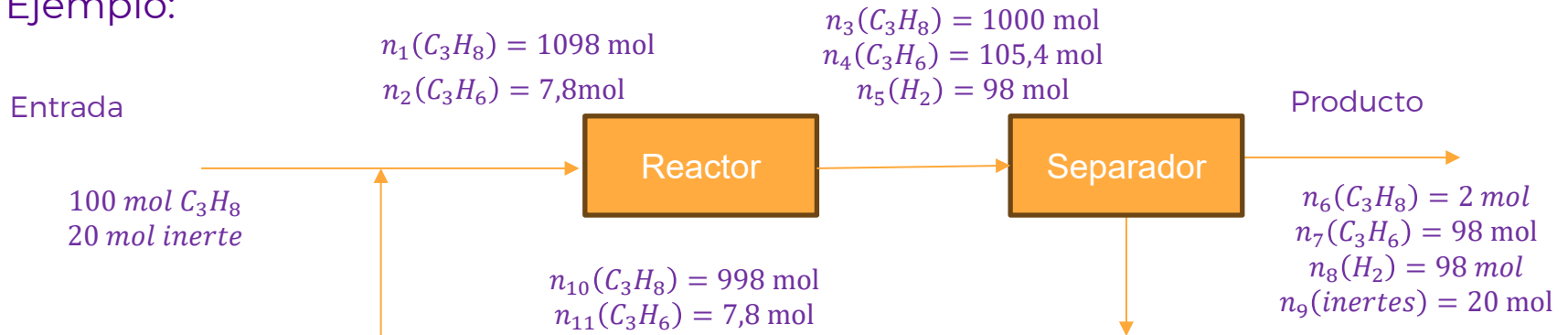
- De C_3H_6

$$n_2(C_3H_6) = n_{11}(C_3H_6) \rightarrow n_2(C_3H_6) = 7,8 \text{ mol}$$



Balance de materia

Ejemplo:



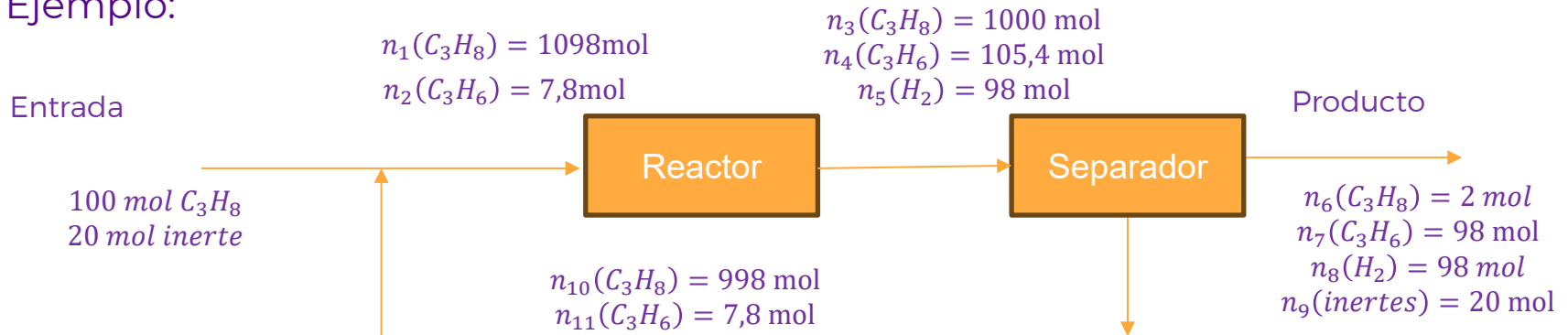
- Composición del producto:

Componente	Moles	Fracción
C_3H_8	2	0,009
C_3H_6	98	0,45
H_2	98	0,45
<i>inertes</i>	20	0,091
TOTAL	218	--



Balance de materia

Ejemplo:



- Proporción de moles recirculados, respecto a los moles totales que entran al reactor

Moles que entran al reactor: $n_1(C_3H_8) + n_2(C_3H_6) = 1105,8$

Moles recirculados: $n_{10}(C_3H_8) + n_{11}(C_3H_6) = 998 + 7,8 = 1005,8$

$$\text{Proporción de moles recirculados} = \frac{1005,8}{1105,8} = 0,91$$

- La conversión en un paso.

La conversión que se alcanza en el reactor:

$$\frac{n_1(C_3H_8) - n_3(C_3H_8)}{n_1(C_3H_8)} = \frac{1098 - 1000}{1098} = 0,09$$



