

Tema V: BALANCES DE MATERIA

Esta obra está bajo una licencia Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 3.0 Internacional de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/>.

Tema V: BALANCES DE MATERIA

OBJETIVOS

Al concluir el capítulo el alumno:

- Conocerá los diversos **tipos** de balances de materia que pueden plantearse.
- Podrá **plantear** balances de materia en distintos equipos utilizados en IQ.
- Conocerá como se **representa gráficamente** un proceso.

FUNDAMENTOS BÁSICOS

El **cálculo y diseño** de equipos unitarios industriales **requiere ecuaciones** que relacionan entre sí las variables involucradas (caudal, T, P, composición, energía, etc.)

Ingeniería Química

Prof. Unai Iriarte



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

Leyes y principios fundamentales (4 grupos):

- Leyes de **conservación** de las tres propiedades extensivas: **materia** (Lavoisier), **energía** (2º princ. termodinámica) y **cantidad movimiento** (Newton).
- Leyes de **equilibrio** físico y químico
- Leyes **cinéticas** o ecuaciones de **transporte** de las tres P. Extens.: materia (Ley de Fick), energía (L. de Fourier) y cantidad movimiento (L. de Newton)
- Principios **económicos**

LEY DE CONSERVACIÓN DE LA MATERIA

El **balance de materia** se basa en la ley de conservación de la masa (Lavoisier, 1743)

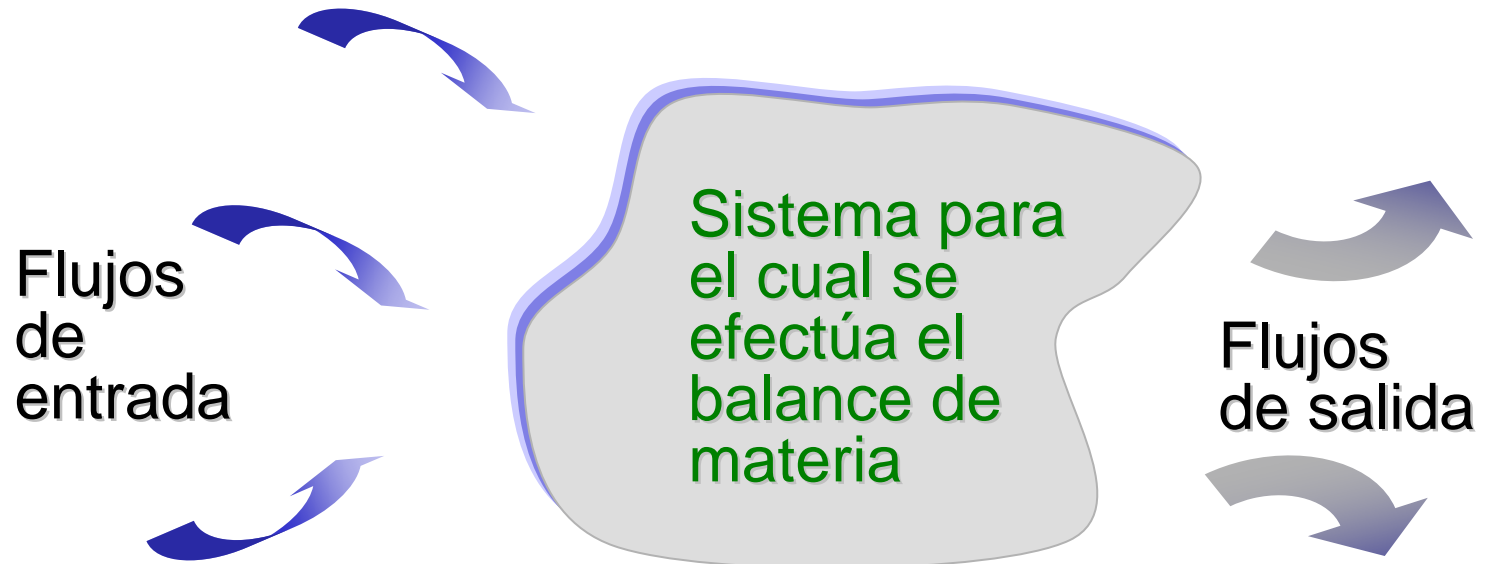
“Nada puede crearse y en cada proceso hay exactamente la misma cantidad de sustancia presente antes y después de que el proceso haya sucedido. Solamente hay un cambio o modificación de la materia.”

**LA MATERIA NO SE CREA NI SE DESTRUYE,
SÓLO SE TRANSFORMA**

CONSIDERACION IMPORTANTES A LA HORA DE REALIZAR BALANCES

Para que se pueda plantear un balance a un sistema es necesario conocer la **naturaleza** y el **comportamiento** de la **propiedad** de acuerdo con las **leyes de conservación**.

El **sistema** es un entorno perfectamente delimitado por una superficie cerrada.



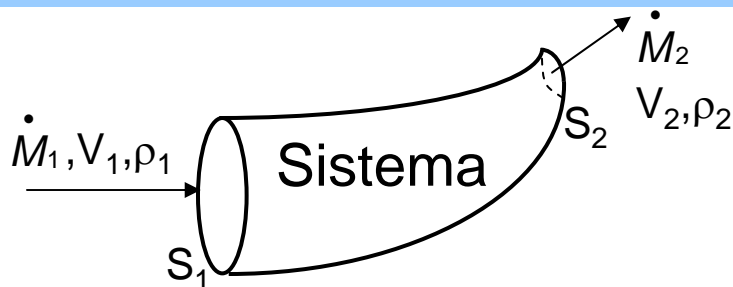
El **sistema abierto** que se considere podrá ser:

- Una **planta** química, por ejemplo, una planta de lácteos
- Un **proceso** de una planta, por ejemplo, el proceso de producción de yogures.
- Una **unidad** de la planta, por ejemplo, el reactor de pasteurización
- Una **parte** de la unidad, por ejemplo, el sistema de refrigeración del reactor.
- Un **tramo** de conducción, por ejemplo, la unión o bifurcación de dos conducciones en un sistema de flujo

5.1 Balance de materia macroscópico: Expresión general

Basándose en las leyes anteriores un proceso cualquiera se conforma por las siguientes etapas:

velocidad de Entrada de Materia	-	velocidad de Salida de Materia	+	velocidad de Generación de Materia	=	Velocidad neta de Acumulación de Materia en el sistema
--	---	---	---	---	---	--



M , masa total del sistema, kg

\dot{M} , flujo másico, kg s^{-1}

O más simplemente:

$$[E] - [S] + [G] = [A] \quad \left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right] \quad (1)$$

$$\dot{M}_1 - \dot{M}_2 = \frac{dM}{dt} \quad \left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right] \quad (2)$$

5.2 Balance de materia parcial (macroscópico)

En muchas ocasiones los balances de materia deben efectuarse para algunas de las sustancias en particular. Esto da origen a los **balances de materia parciales**.

velocidad de entrada de sustancia i - velocidad de salida de la sustancia i + **Generación** - **Desaparición** de sustancia i = velocidad neta **acumulación** de sustancia i

$$F_1 X_{i,1} - F_2 X_{i,2} \pm r_i V_T = \frac{dM_i}{dt} \quad \left[\frac{\text{Kg}_i}{s} \right] \quad (3)$$

F , flujo másico, kg s^{-1}

$X_{i,1}$, kg de i por kg total, $\text{kg}_i \text{ kg}^{-1}$

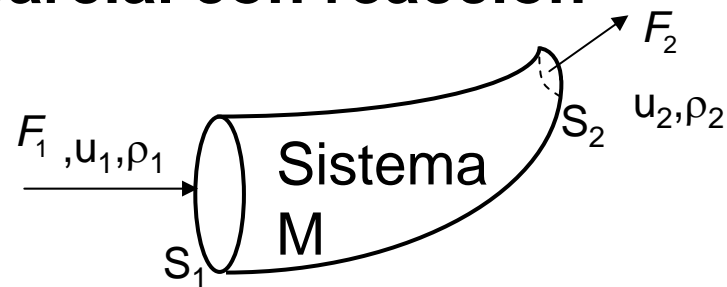
r_i , masa de i generada (+) o desaparecida (-) por unidad de tiempo y volumen, $\text{kg s}^{-1} \text{ m}^{-3}$

V_T , volumen del sistema, m^3

M , masa del sistema, kg

5.2 Balance de materia parcial con reacción

La ecuación (3) puede adoptar distintas formas:



$$\rho_1 Q_1 X_{i,1} - \rho_2 Q_2 X_{i,2} \pm r_i \cdot V_T = \frac{dM_i}{dt} \quad \left[\frac{Kg_i}{s} \right] \quad (4)$$

$$\rho_1 u_1 S_1 X_{i,1} - \rho_2 u_2 S_2 X_{i,2} \pm r_i \cdot V_T = \frac{dM_i}{dt} \quad \left[\frac{Kg_i}{s} \right] \quad (5)$$

$$u_1 S_1 C_{i,1} - u_2 S_2 C_{i,2} \pm r_i \cdot V_T = \frac{dM_i}{dt} \quad \left[\frac{Kg_i}{s} \right] \quad (6)$$

ρ_i , densidad de la corriente, $kg\ m^{-3}$

C_i , kg de i por m^3 , $kg_i\ m^{-3}$

S_i , superficie a través de la cual

entra o sale masa del sistema, m^2

Q_i , caudal volumétrico, $m^3\ s^{-1}$

u_i , velocidad del fluido, $m\ s^{-1}$

r_i , vel reacción, $kg\ s^{-1}\ m^{-3}$

$X_{i,1}$, fracción másica, $kg_i\ kg_T^{-1}$

5.3 Balance de materia en régimen estacionario

La expresión general sufre **modificaciones** en función de las características del sistema.

- Si el régimen de trabajo es **continuo**, el término **acumulación** puede **eliminarse**.

$$[E] - [S] + [G] = 0 \quad \left[\frac{\text{Kg}}{s} \right] \quad (1)$$

- A su vez se simplifica más **si no hay reacción** química

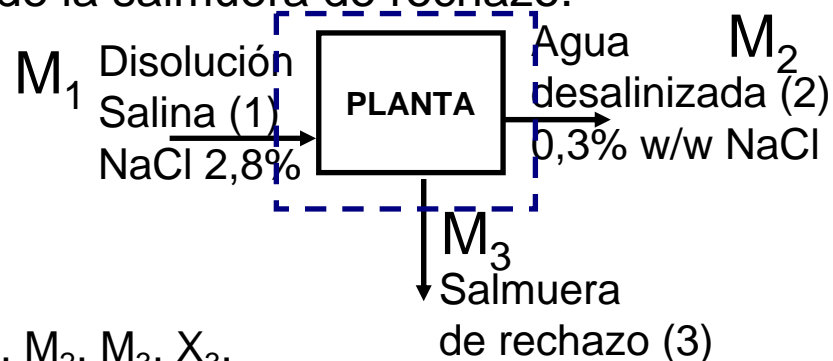
$$[E] = [S] \quad \left[\frac{\text{Kg}}{s} \right]$$

$$\rho_{entra} Q_{entra} = \rho_{sale} Q_{sale} \quad \left[\frac{\text{Kg}}{s} \right]$$

Ejemplo 5.1: Planta desalación

Una planta desalinizadora por osmosis inversa logra reducir el contenido en NaCl desde 2,8% en el agua de mar hasta el 0,3% a la salida de la planta. La planta opera en condiciones tales que el 10% en peso de la corriente de entrada sale como salmuera de rechazo. Cuantas toneladas diarias de agua de mar se deberían tratar para extraer una tonelada de NaCl. Cual es la concentración de la salmuera de rechazo.

a) $\dot{M}_1?$ $\dot{M}_3 X_{NaCl,3} = 1000 \text{ kg / día}$
 b) $X_{NaCl,3}?$



- **Variables desconocidas** son M_1 , M_2 , M_3 , X_3 .

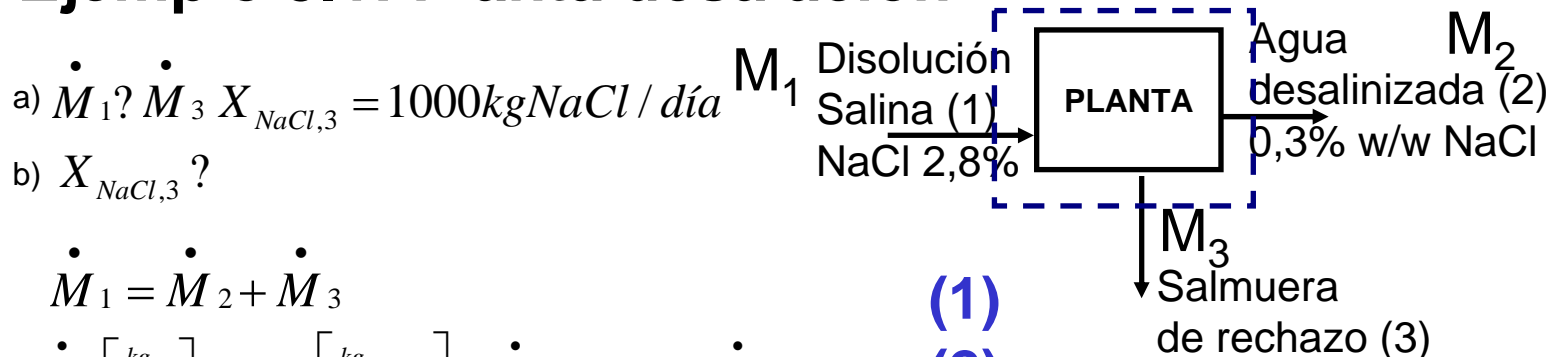
- **Cuatro variables desconocidas**, por tanto necesitamos 4 ecuaciones que describan el proceso y en las que aparezcan estas variables.

$$\text{BM TOTAL } [E] = [S] \quad \dot{M}_1 = \dot{M}_2 + \dot{M}_3 \quad [\text{Kg}_{\text{TOTAL}}/\text{día}] \quad (1)$$

$$\text{BM PARCIAL para NaCl } [E] = [S]$$

$$\dot{M}_1 \left[\frac{\text{kg}_T}{\text{día}} \right] X_{NaCl,1} \left[\frac{\text{kg}_{NaCl}}{\text{kg}_T} \right] = \dot{M}_2 X_{NaCl,2} + \dot{M}_3 X_{NaCl,3} \quad [\text{Kg}_{NaCl}/\text{día}] \quad (2)$$

Ejemplo 5.1: Planta desalación



Condiciones de operación/diseño:

$$\dot{M}_3 = 0,1 \dot{M}_1 \quad \text{Kg}_{\text{TOTAL}} / \text{día} \quad (3)$$

$$\dot{M}_3 X_{NaCl,3} = 1000 \quad [\text{Kg}_{NaCl} / \text{día}] \quad (4)$$

Ya disponemos de 4 ecuaciones, por tanto, resolvemos:

$$(1) \text{ y } (3) \quad \dot{M}_2 = 0,9 \dot{M}_1 \quad \text{Kg}_{\text{TOTAL}} / \text{día} \quad (5)$$

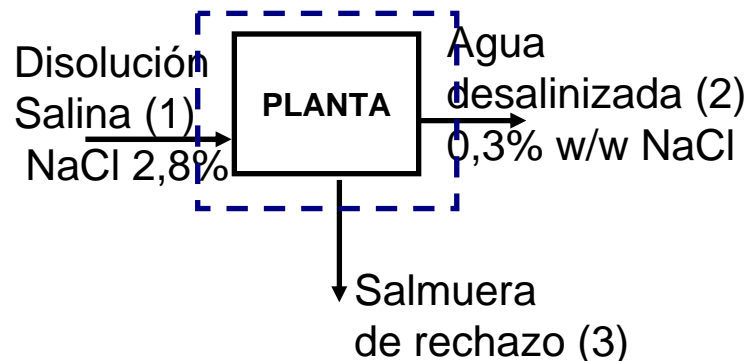
$$(4)(5) \text{ y } (2) \quad \dot{M}_1 0,028 = (0,9 \dot{M}_1) 0,003 + 1000 \quad [\text{Kg}_{NaCl} / \text{día}] \quad (6)$$

$$\dot{M}_1 = 39.525 \text{ Kg}_T / \text{día}$$

Ejemplo 5.1: Planta desalación

a) $\dot{M}_1? \dot{M}_3 X_{NaCl,3} = 1000 \text{ kg NaCl} / \text{día}$

b) $X_{NaCl,3} ?$



Finalmente, según la condición de diseño dada por la ecuación (4):

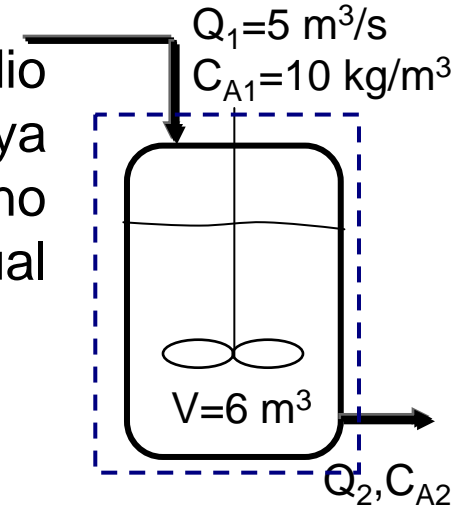
$$\dot{M}_3 X_{NaCl,3} = 1000 \text{ Kg}_{NaCl} / \text{día}$$

$$X_{NaCl,3} = \frac{1000}{\dot{M}_3} = \frac{1000}{0,1 \cdot 39525} = 0,253 \text{ Kg}_{NaCl} / \text{kg}_{Total}$$

$$X_{NaCl,2} = \% 25,3$$

Ejemplo 5.2: Reactor de Hidrólisis

Hidrolisis de un ester (A) se produce en medio ácido. Este sufre una reacción química cuya velocidad depende de la cantidad de ester no reaccionado. Calcule la concentración residual del ester (A) en la corriente de salida.



$$(-r_A) = -\frac{dC_A}{dt} = 3C_A \quad \left[\frac{kg_A}{m^3 s} \right]$$

Balance de materia total:

$$F_1 - F_2 = \frac{dM_T}{dt} \quad \left[\frac{kg_T}{s} \right] \quad (1)$$

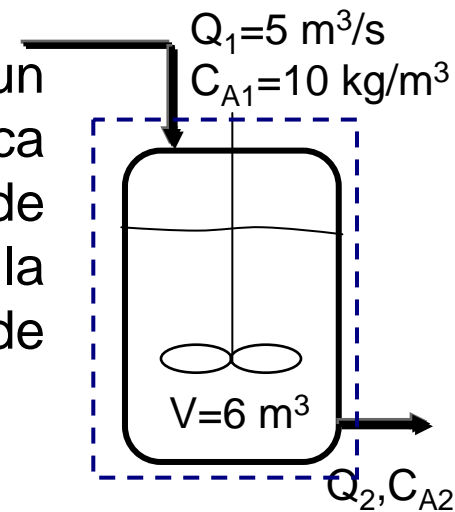
$$\cancel{\rho Q_1 - \rho Q_2} = \cancel{\frac{dM_T}{dt}} \quad \left[\frac{kg_T}{s} \right]$$

Si el reactor opera en estado **estacionario** y la **densidad** de las corrientes de **entrada y salida** es **constante**:

$$Q_1 - Q_2 = 0 \quad \longrightarrow \quad Q_1 = Q_2 \quad \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Ejemplo 5.2: Reactor de Hidrólisis

Un producto P se produce a partir de un ingrediente A . Este sufre una reacción química cuya velocidad depende de la cantidad de ingrediente A no reaccionado. Calcule la concentración residual de A en la corriente de salida.



$$(-r_A) = -\frac{dC_A}{dt} = 3C_A \quad \left[\frac{kg_A}{m^3 s} \right]$$

Balance materia parcial para **ingrediente A**:

$$Q_1 C_{A,1} - Q_2 C_{A,2} - (-r_A) \cdot V_T = \frac{dM_A}{dt} \quad \left[\frac{kg_A}{s} \right] \quad (2)$$

$$5 \left[m^3 / s \right] 10 \left[kg_A / m^3 \right] - 5 \left[m^3 / s \right] C_{A,2} \left[kg_A / m^3 \right] - 3 \cdot C_{A,2} \left[kg_A / m^3 s \right] \cdot 6 \left[m^3 \right] = 0$$

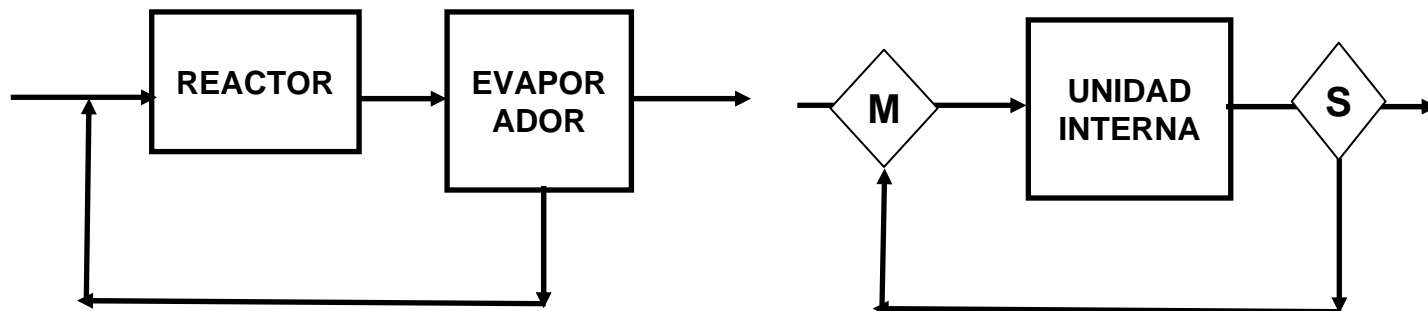
$$50 \left[kg_A / s \right] - 5 C_{A,2} \left[kg_A / s \right] - 18 C_{A,2} \left[kg_A / s \right] = 0$$

$$C_{A,2} = 2,2 \left[kg_A / m^3 \right]$$

5.4 Recirculación

Una corriente se toma de la descarga de una unidad y se **regresa** como alimentación a una unidad colocada anteriormente.

Puede asumirse como un proceso de tres unidades: mezclador, unidad interna y separador.



5.5 Balance de materia en régimen no estacionario

- Si el régimen de trabajo es **discontinuo**, el término **acumulación** no puede **eliminarse**.
- Habitualmente no existen corrientes de entrada ni salida del sistema.

El balance de materia para la sustancia i (producto)

queda: $[E] - [S] + [G] = [A]$

$\begin{matrix} \swarrow & \swarrow \\ 0 & 0 \end{matrix}$

$$[G] = [A]$$

$$r_m V = \frac{dM_i}{dt}$$

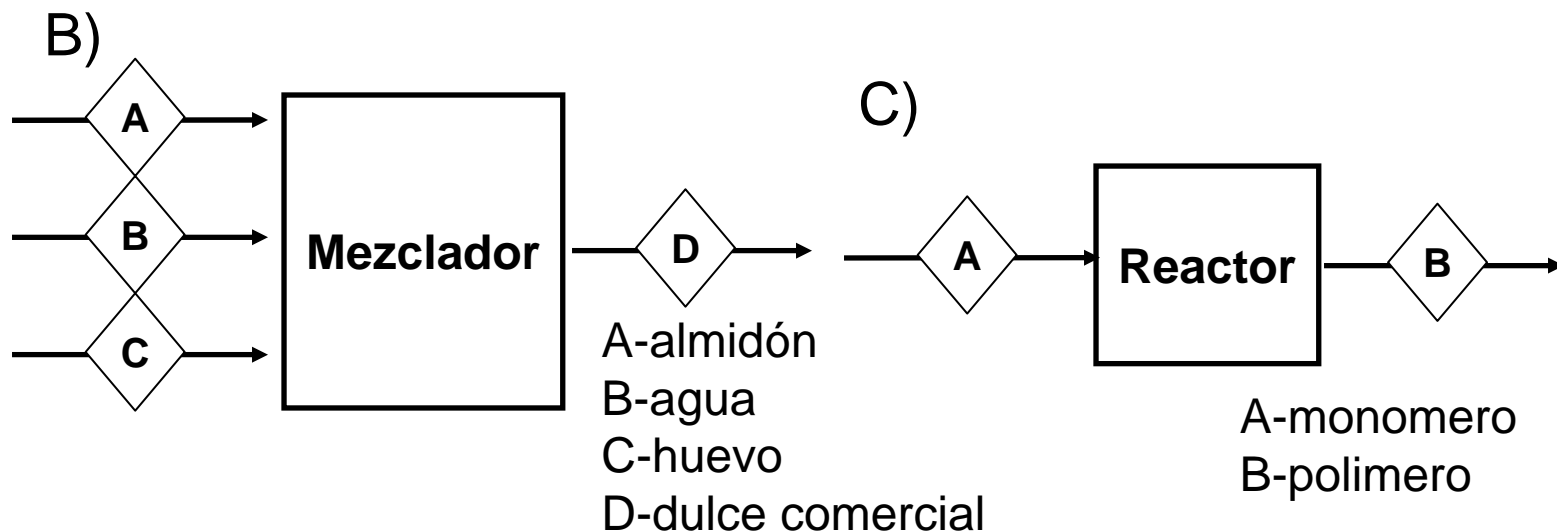
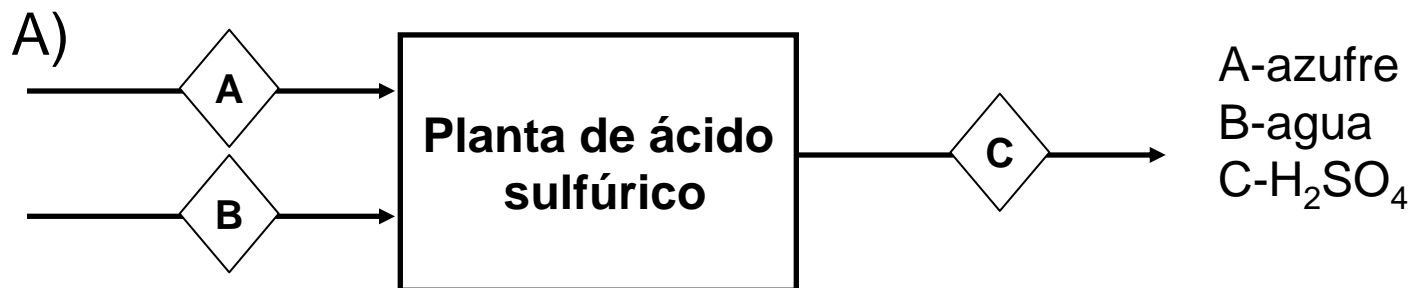
5.6 Diagramas de flujo

Ampliamente utilizados en ingeniería química. En esencia son dibujos que **ayudan a entender** cómo se lleva a cabo el **flujo de materiales o de energía** en un proceso o en un equipo.

- a) Diagramas de bloques o cajas
- b) Diagramas con equipos
- c) Diagramas con instrumentación

5.6.1 Diagramas de bloques

El proceso se representa por medio de **cajas** o rectángulos que tienen **entradas y salida**. Sobre cada rectángulo se indica lo que representa el mismo.



5.6.1 Diagramas de bloques

Representación de una Planta química.

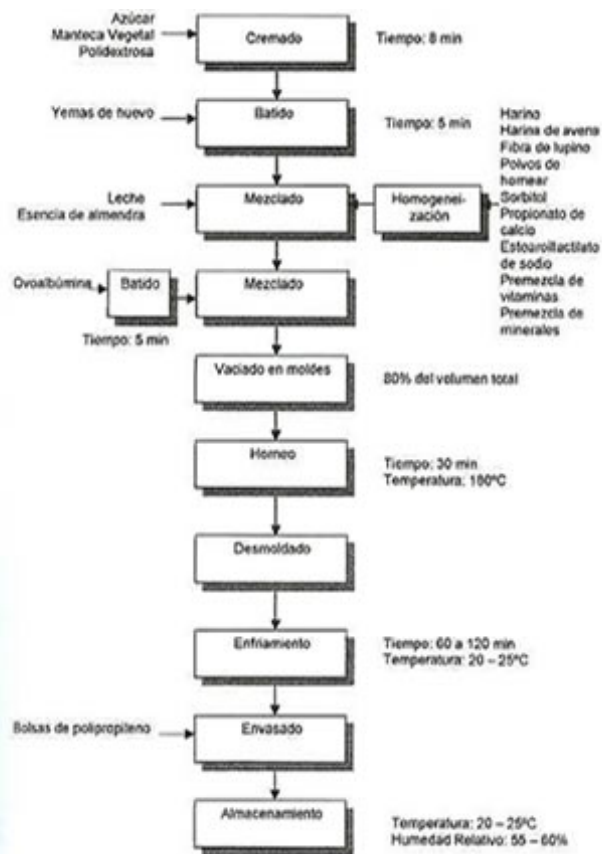


Imagen original de Cloker19 (publicada en Wikimedia Commons con licencia CC BY-SA 3.0)

5.6.2 Diagramas con equipos

Se usan **símbolos** que recuerdan el equipo.

Las **propiedades físicas**, las cantidades, temperatura y presiones de los materiales se pueden **indicar** en distintas formas: poniendo sobre cada línea los datos o identificando cada línea con un número que se refiere a una lista.

5.6.3 Diagramas con instrumentación

Son similares a los diagramas con equipos pero se incluyen la **instrumentación** y los **elementos de control**.

	T001	P001
SERVICE	STORAGE TANK	FEED PUMP
DATA	DIAMETER: 1000 mm HEIGHT: 3000 mm CAPACITY: 2.4 m ³	FLOW RATE: 5 m ³ /h DIFF. PRESSURE: 2.5 bar
DESIGN PRESSURE	10 barg	10 barg
DESIGN TEMP.	50 °C	50 °C

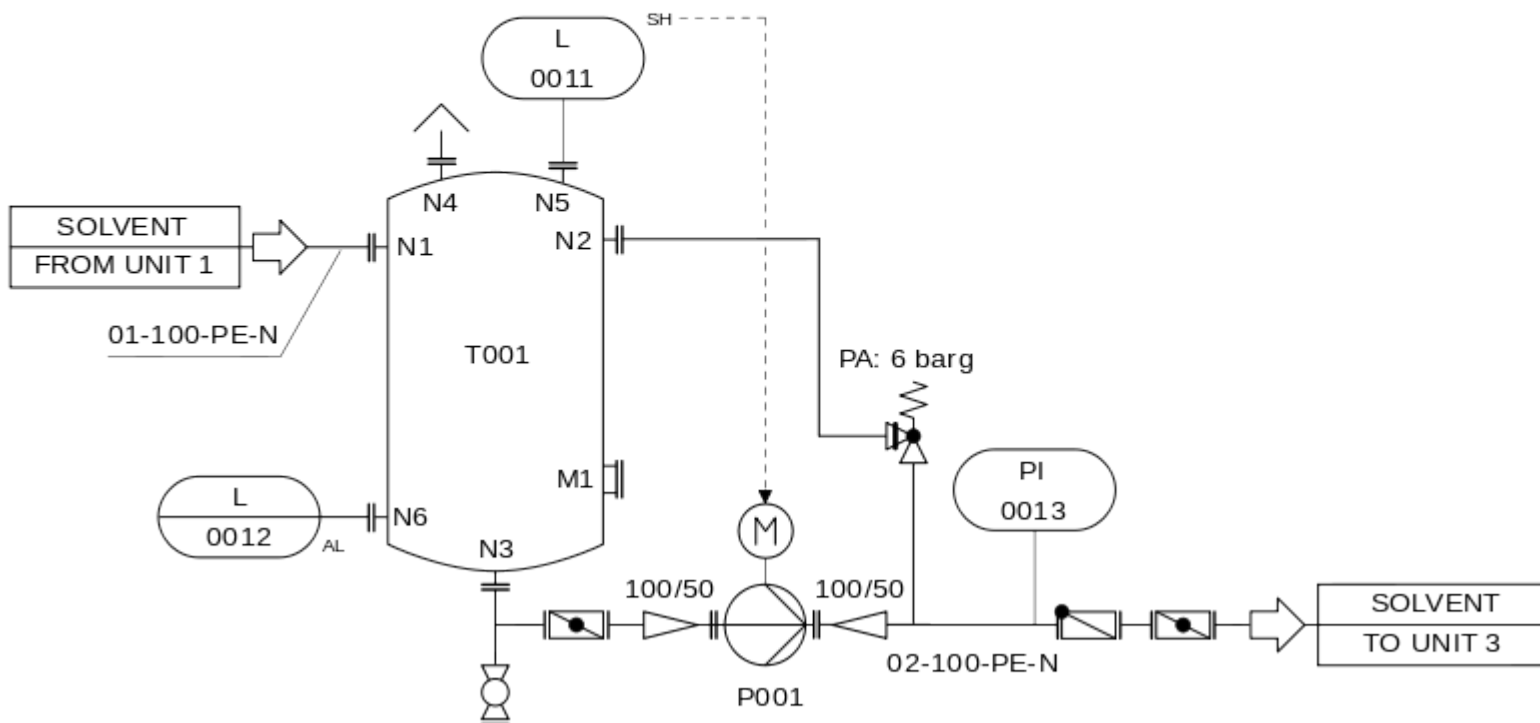


Imagen original de Con-strut (publicada en Wikimedia Commons con licencia CC BY-SA 3.0)

RESUMEN

La expresión general sufre **modificaciones** en función de las características del sistema.

$$\rho_1 V_1 S_1 C_{i,1} - \rho_2 V_2 S_2 C_{i,2} + r_i \cdot V_T = \frac{dM_i}{dt}$$

- Si el régimen de trabajo es **continuo**, el término **acumulación** puede **eliminarse**.
- Si el régimen de trabajo es **discontinuo**, los términos de velocidad de **entrada y salida son cero**.
- Si **no** hay **reacción química**, el término de **generación** en el balance parcial también se **eliminaría**.