

TEMA 3: BALANCES DE MATERIA

3.1 Conceptos básicos

Aplicación de la ecuación de conservación genérica:

$$E + G = S + A \quad [3.1]$$

Ecuación de conservación del componente i , macroscópica:

$$\frac{d}{dt} (m_{iT}) = \left[\rho_{i1} Q_1 - \rho_{i2} Q_2 \right] + r_{im} V \quad [3.2]$$

Ecuación de conservación de la materia total, macroscópica:

$$\frac{d}{dt} (m_T) = \left[\rho_1 Q_1 - \rho_2 Q_2 \right] \quad [3.3]$$

Balance de materia indispensable para:

- Tratamiento teórico de operaciones de separación y de reactores químicos.
- Completar datos en la elaboración de un proyecto.
- Comprobación de instalaciones en funcionamiento para determinar sus rendimientos.

3.1.1 Diagrama de flujo

Diagrama de flujo: Representación simbólica de los diferentes componentes de un proceso, con objeto de organizar la información disponible de la forma más conveniente para efectuar los cálculos posteriores.

Se representan **operaciones** (separadores, reactores) con **bloques geométricos** (rectángulos, círculos); se representan **corrientes** con **líneas con flechas**.

Se suelen añadir los valores (con unidades) de las variables conocidas y símbolos algebraicos (con unidades) para las variables desconocidas.

Sobre el diagrama de flujo se definen los límites del sistema, cuyo tamaño variará según las necesidades de cálculo (**Figura 3.1**):

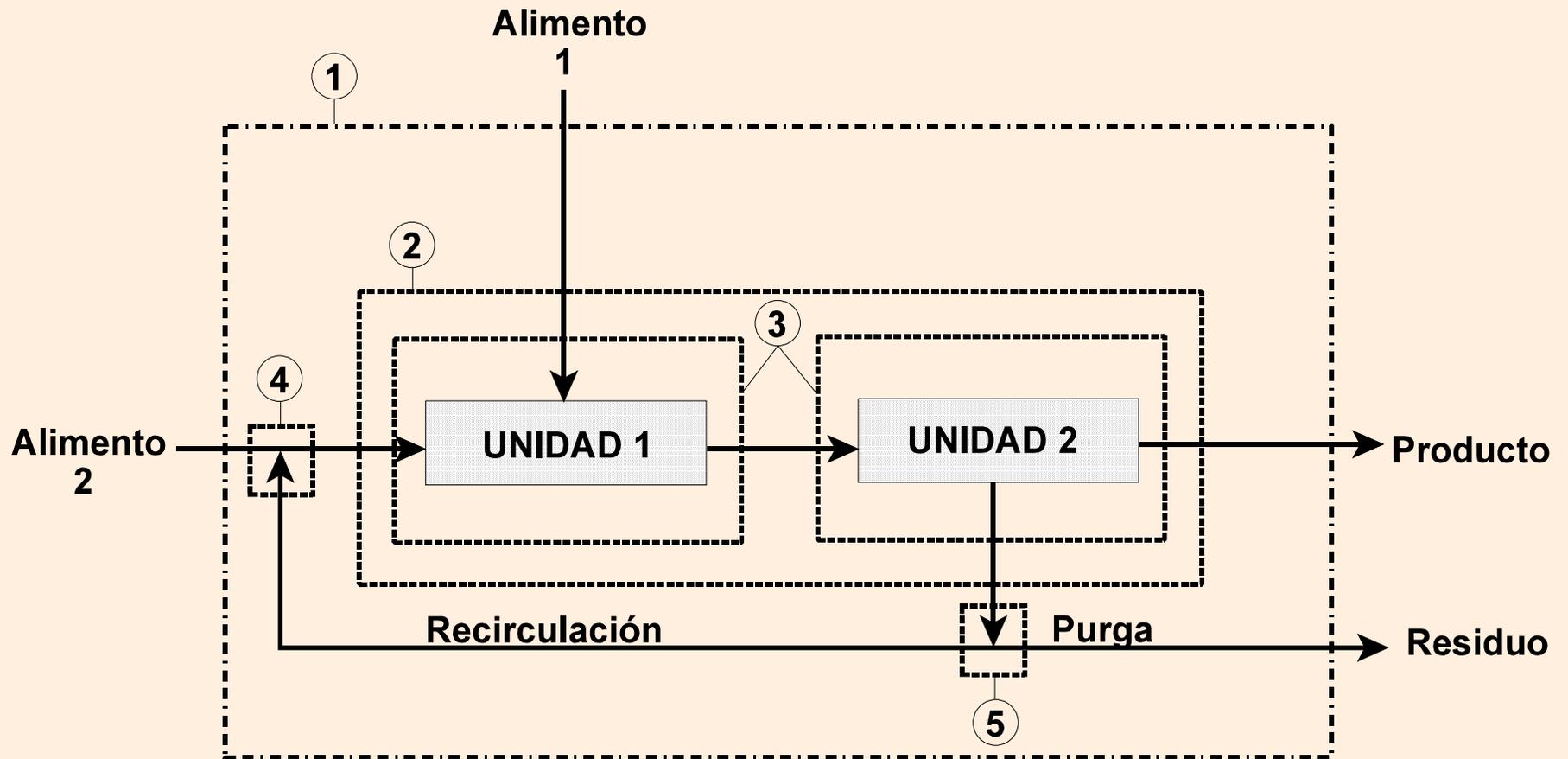


Figura 3.1: Diagrama de flujo para balances de materia.

- Una planta completa.
- Un proceso de una planta [*recinto 1*].
- Una parte del proceso [*recinto 2*].
- Una unidad [*recinto 3*].
- Una parte de una unidad.
- Un tramo de una conducción [*recintos 4 y 5*].

3.1.2 Base de cálculo

Base de cálculo: Valor numérico de una magnitud extensiva, generalmente sencillo (1, 100, 1.000, etc.), que se elige de forma arbitraria para facilitar los cálculos y sobre el cual están referidas otras magnitudes extensivas resultantes.

Criterios de prioridad para la elección de la base de cálculo:

1. **Una cantidad de uno de los componentes** del sistema, que no reaccione químicamente y que entre y salga del sistema formando parte de una sola corriente.
2. **Una cantidad de una de las corrientes** que entre o salga del sistema, generalmente de la que se disponga de más información.
3. **Un intervalo de tiempo.**

3.1.3 Tipos de balance

El balance de componente, [3.2], puede plantearse para cualquier especie, lo que permite distinguir los siguientes tipos de balance:

- De todos los componente (balance total, ecuación [3.3]).
- De un compuesto.
- De un grupo de átomos.
- De un tipo de átomos
- De cualquier sustancia que permanezca constante en el sistema, aunque su composición no esté especificada.

Las ecuaciones de balance planteadas han de ser independientes; obsérvese que el balance total es la suma de todos los balances de los componentes

3.2 Balances de materia en régimen estacionario

La mayoría de los procesos industriales están basados en **operaciones continuas**, que funcionan en **régimen estacionario** (las variables no dependen del tiempo, aunque pueden cambiar con la posición).

En régimen estacionario se anula el primer miembro (acumulación) de las ecuaciones [3.2] y [3.3], quedando:

$$\rho_{i1} Q_1 - \rho_{i2} Q_2 = r_{im} V \quad [3.4]$$

$$\rho_1 Q_1 - \rho_2 Q_2 = 0 \quad [3.5]$$

O expresada como caudales másicos (unidades másicas):

$$M_{i1} - M_{i2} = r_{im} V \quad [3.6]$$

$$M_1 = M_2 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad [3.7]$$

Si el balance se realiza de un tipo de átomos, la ecuación de componentes, [\[3.6\]](#), se simplifica a:

$$M_{i1} = M_{i2} \left[\frac{kg}{s} \right] \text{ ó } \left[\frac{kmol}{s} \right] \quad [3.8]$$

3.2.1 Derivación, recirculación y purga

Derivación (“*bypass*”): Corriente que se ha desviado de la principal para evitar que sufra una o más etapas de un proceso, llegando directamente a una etapa posterior para obtener una composición final deseada (**Figura 3.2**); se efectúa un balance alrededor de todo el sistema y un balance en el punto de mezcla.

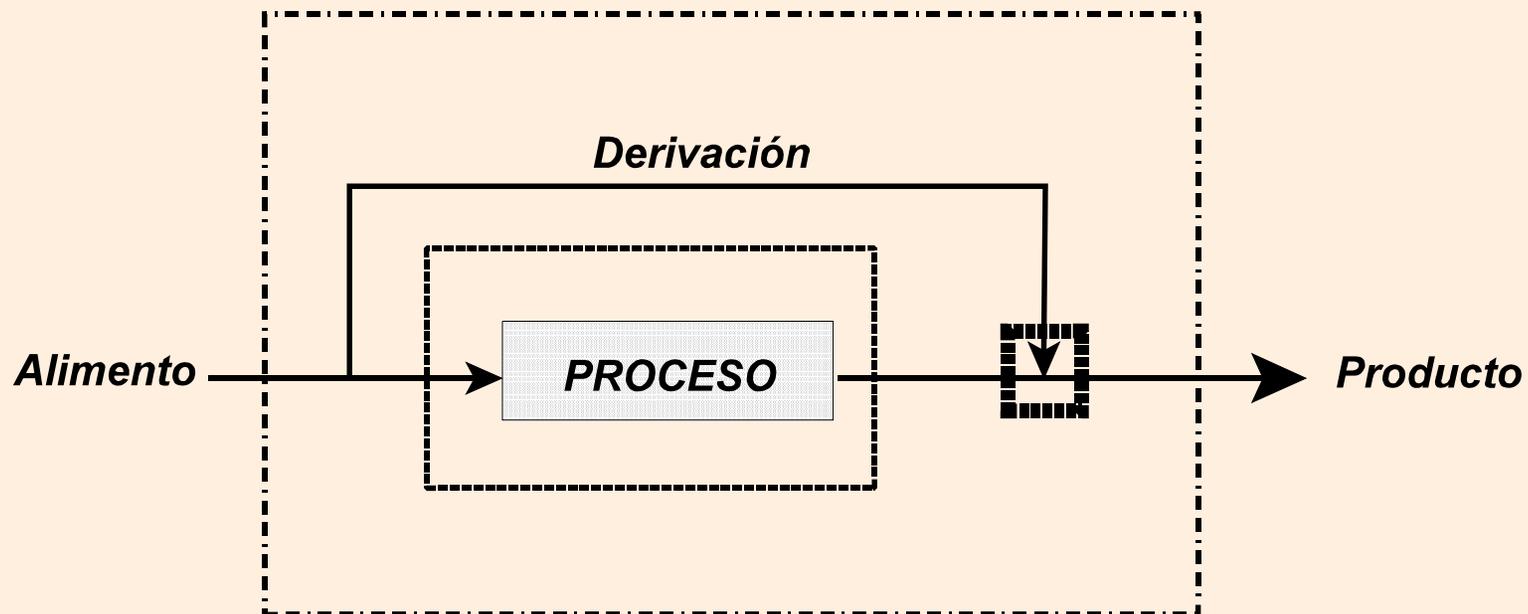


Figura 3.2: Derivación.

Recirculación (“recycle”): Corriente que se devuelve a la corriente de alimentación como resultado de una separación efectuada en la corriente de salida de un proceso para aprovechar disolventes valiosos o aumentar la conversión de reacciones reversibles (**Figura 3.3**); se efectúa un balance alrededor de todo el sistema, alrededor de cada bloque y en el punto de mezcla.

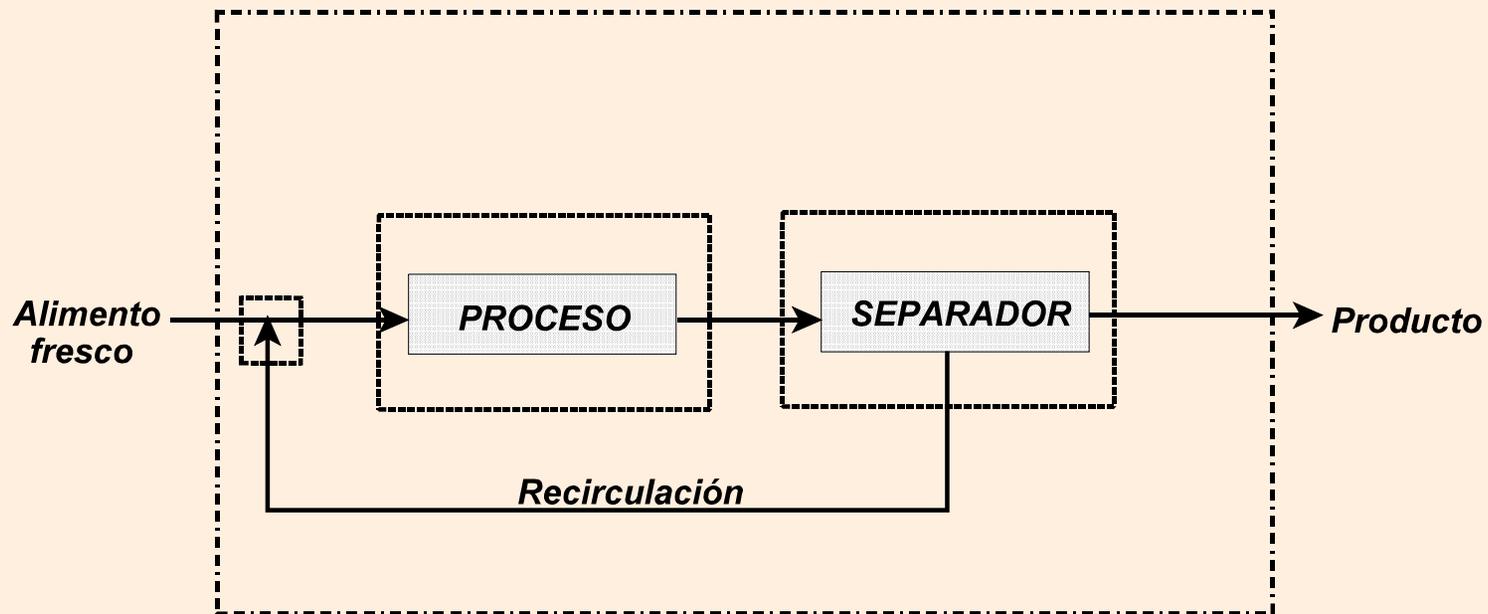


Figura 3.3: Recirculación.

Purga (“*purge*”): Corriente desviada de una recirculación hacia el exterior del sistema, con objeto de eliminar ciertas sustancias que de otra manera se acumularían en el interior del sistema (**Figura 3.4**); se efectúa un balance alrededor de todo el sistema, alrededor de cada bloque, en el punto de mezcla y en el de extracción de la purga.

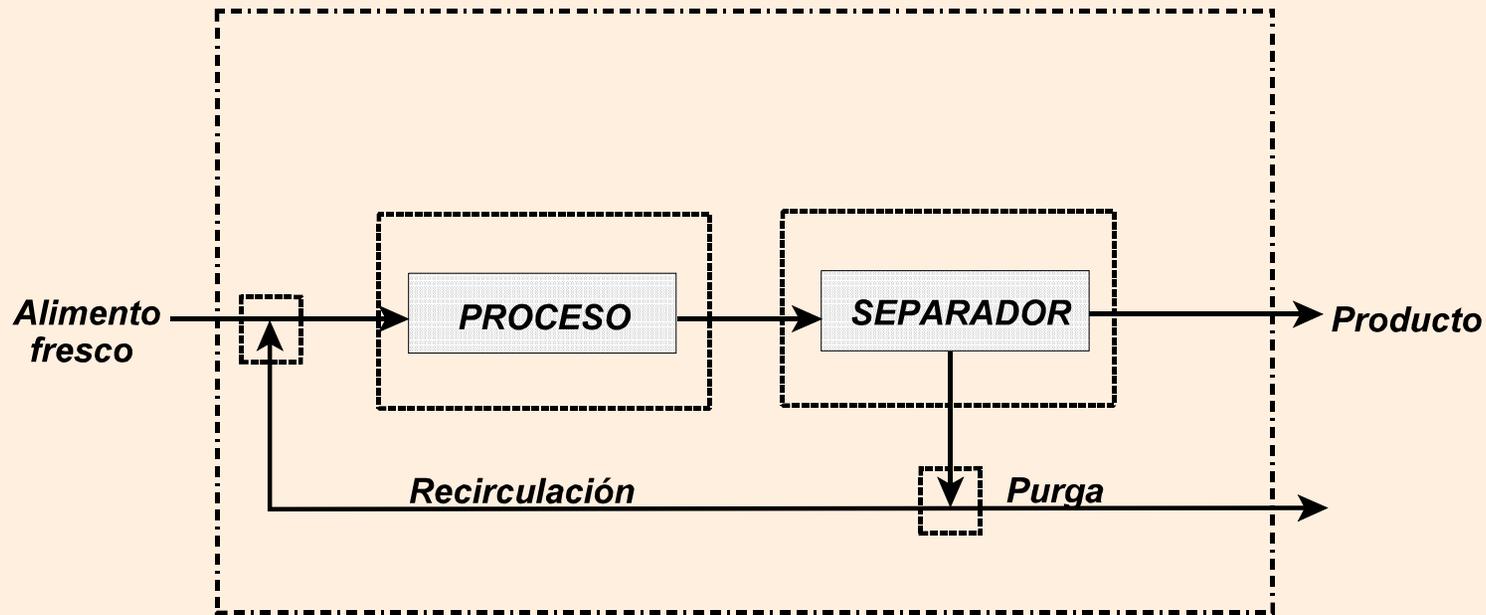


Figura 3.4: Purga.

3.2.2 Sistemas con reacciones químicas

Generalmente no se utilizan cantidades estequiométricas en los procesos químicos, lo que hace necesarias algunas definiciones:

- **Reactivo limitante:** Reactivo que está presente en la menor cantidad estequiométrica, es decir, aquél que desaparecería en primer lugar si la reacción se llevara a cabo hasta su término.
- **Reactivo en exceso:** Reactivo que está presente en cantidad superior a la necesaria para reaccionar con el reactivo limitante.
- **Conversión:** Fracción de un compuesto alimentado que reacciona.
- **Rendimiento:** Fracción de un compuesto alimentado que se transforma en el producto deseado.
- **Selectividad:** Fracción de producto que se transforma en el producto deseado.

Relación entre parámetros:

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} & \left[\frac{\text{mol A transformados en producto deseado}}{\text{mol A alimentados}} \right] = \\ \text{Selectividad} & \left[\frac{\text{mol A transformados en producto deseado}}{\text{mol A transformados}} \right] \cdot \text{[3.9]} \\ \text{Conversión} & \left[\frac{\text{mol A transformados}}{\text{mol A alimentados}} \right] \end{aligned}$$

3.2.2.1 La reacción de combustión

Combustión: Reacción rápida de un combustible con oxígeno.

Los productos de reacción no son valiosos, pero sí lo es la **producción de calor**.

Combustibles: Carbono o hidrocarburos (sólidos, líquidos o gaseosos), que producen como gases de combustión **CO₂ y H₂O**.

Comburente: Aire (fuente de oxígeno), que se suministra siempre en exceso y se considera con una composición de **21% O₂ y 79% N₂**.

Oxígeno teórico: Cantidad molar necesaria para una combustión estequiométrica completa de un combustible (**C a CO₂ y H a H₂O**).

Aire teórico: Cantidad de aire que contiene el oxígeno teórico.

Aire en exceso: Cantidad de aire alimentada por encima del valor teórico; suele expresarse como **porcentaje de aire en exceso**.

Expresión de la composición de los gases de combustión:

- **Base húmeda:** Composición de los gases, incluido su contenido en agua, tal como salen de la unidad de combustión.
- **Base seca:** Composición de los gases, excluido su contenido en agua, tal como se expresan en las técnicas de análisis usuales.

3.3 Balances de materia en régimen no estacionario

Algunos procesos industriales están basados en **operaciones discontinuas**, que funcionan en **régimen no estacionario** (las variables dependen del tiempo, variando desde un valor inicial hasta uno final).

Muchas veces, no hay corrientes de entrada ni de salida, por lo que las ecuaciones [3.2] y [3.3] se simplifican a:

$$\frac{d}{dt} (m_{iT}) = r_{im} V \quad [3.10]$$

$$\frac{d}{dt} (m_T) = 0 \quad [3.11]$$

Quando se trata de **operaciones semicontinuas** (carga inicial y corrientes que entran o salen durante la transformación), también se tiene un funcionamiento en **régimen no estacionario**, pero las ecuaciones [\[3.2\]](#) y [\[3.3\]](#) no pueden ser simplificadas.