

# TEMA 3: BALANCES DE MATERIA

# OBJETIVOS

- Aplicar la ecuación de conservación al análisis de la materia contenida en un sistema.
- Plantear los diagramas de flujo como aspectos fundamentales en la elección del sistema.
- Definir la base de cálculo como referencia para facilitar los cálculos.
- Estudiar los balances relativos a operaciones continuas que se desarrollan en régimen estacionario.
- Analizar los casos específicos de derivación, circulación y purga de corrientes.
- Definir los conceptos fundamentales referidos a los sistemas con reacción química.
- Comprender el caso concreto de la reacción de combustión.
- Estudiar los balances relativos a operaciones discontinuas que se desarrollan en régimen no estacionario.

## 3.1 Conceptos básicos

Aplicación de la ecuación de conservación genérica:

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

al sistema representado en la **Figura 3.1**:

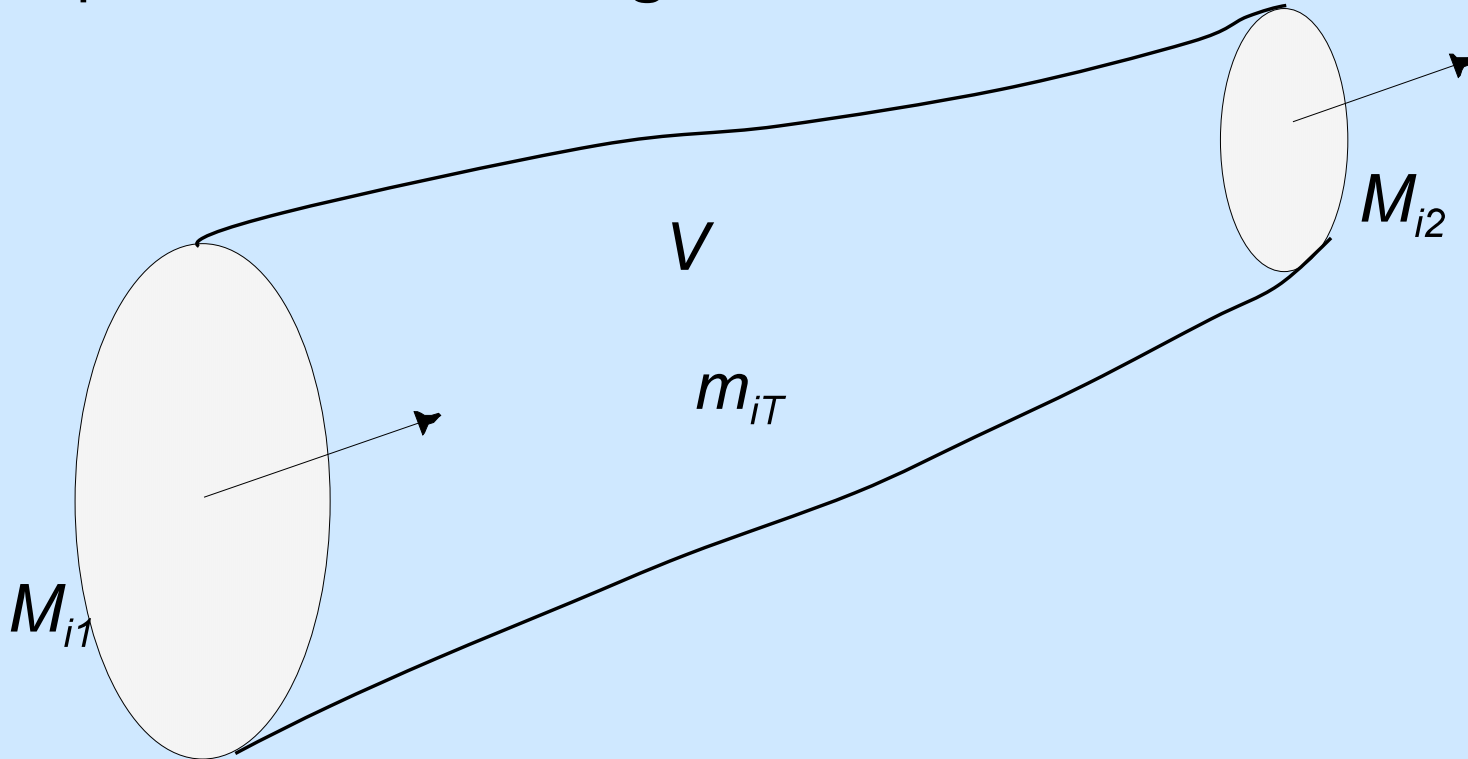


Figura 3.1: Elemento macroscópico de fluido.

**Ecuación de conservación del componente  $i$ , macroscópica:**

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

**Ecuación de conservación de la materia total, macroscópica:**

$$\frac{d}{dt} ( m_T ) = [ M_1 - M_2 ] \quad \left[ \frac{kg}{s} \right] \quad [3.3]$$

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 3.2**).

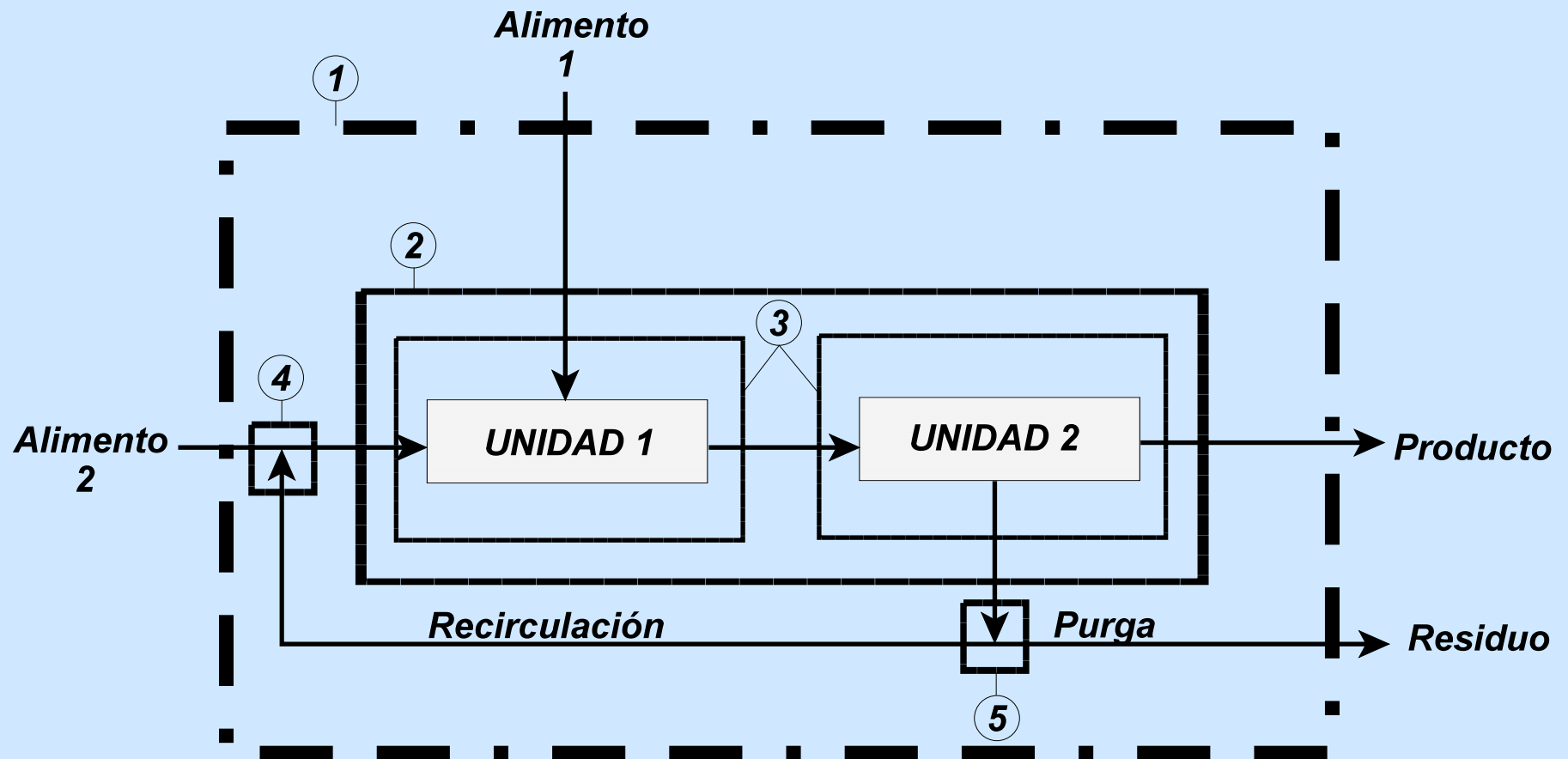


Figura 3.2: Diagrama de flujo para balances de materia.

## 1.1.1 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.**



## 1.1.2 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

## 1.2 Balances de materia en régimen estacionario (operaciones continuas)

Muchos procesos se basan en **operaciones continuas**, que funcionan en **régimen estacionario** (las variables no dependen del tiempo).

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

$$M_{i1} - M_{i2} = r_{im} V \quad [3.4]$$

$$M_1 = M_2 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad [3.5]$$

Si el balance se realiza de un tipo de átomos, la ecuación de componentes, [3.4], se simplifica a:

$$M_{i1} = M_{i2} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \text{ ó } \left[ \frac{\text{kmol}}{\text{s}} \right] \quad [3.6]$$

## 1.2.1 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 3.3**); se efectúa un balance alrededor de todo el sistema y un balance en el punto de mezcla.

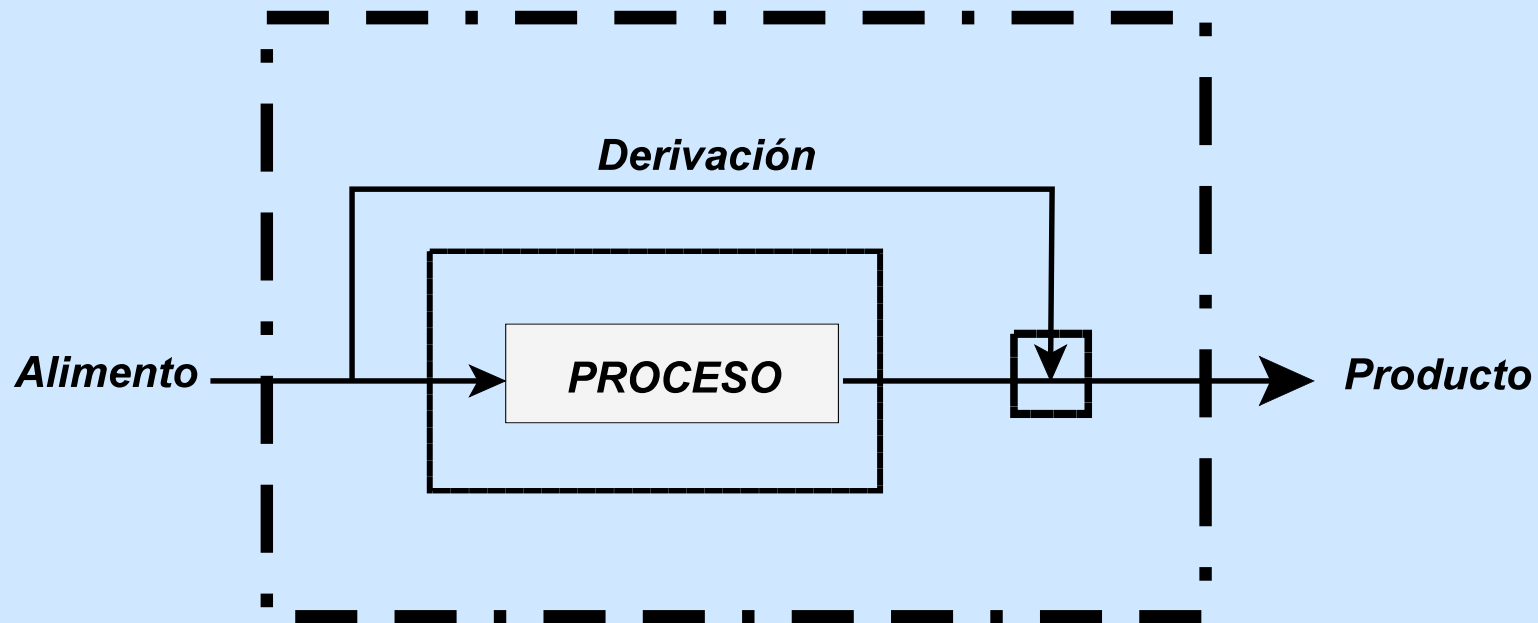


Figura 3.3: Derivación.

**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 3.4**); se efectúa un balance alrededor de todo el sistema, alrededor de cada bloque y en el punto de mezcla.

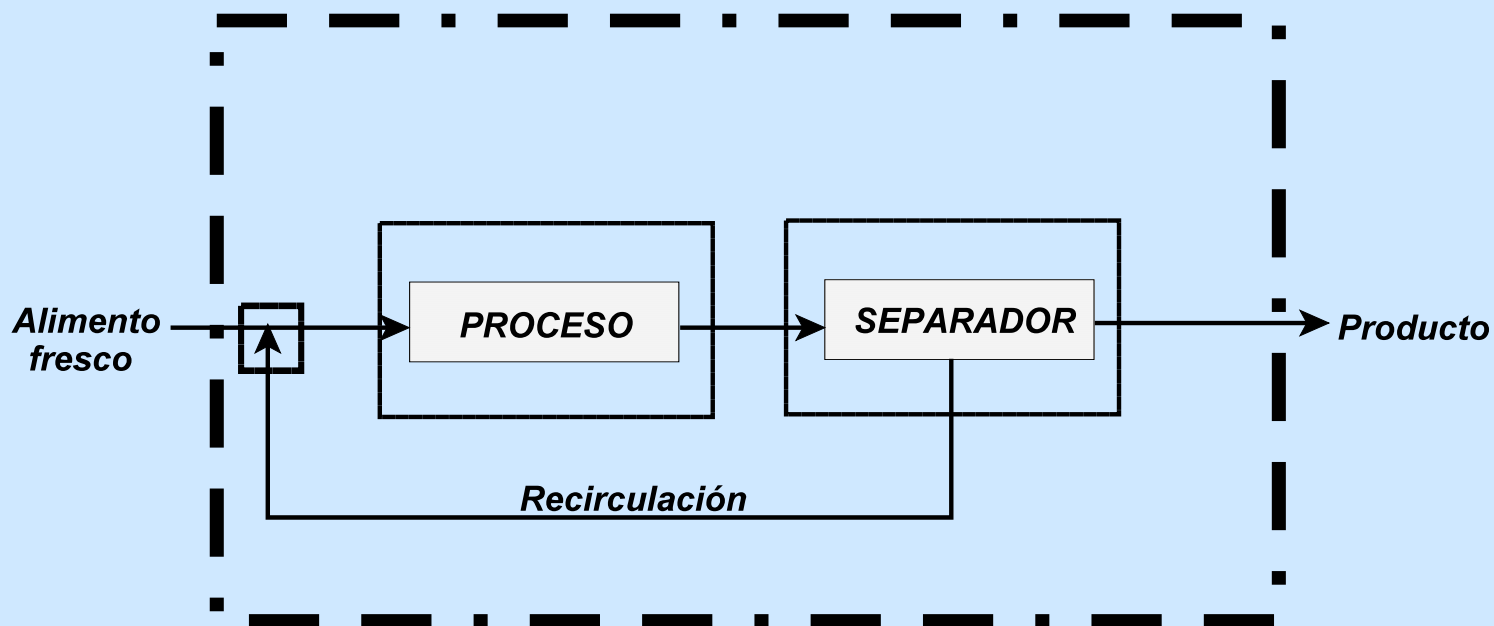


Figura 3.4: Recirculación.

**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 3.5**); 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.

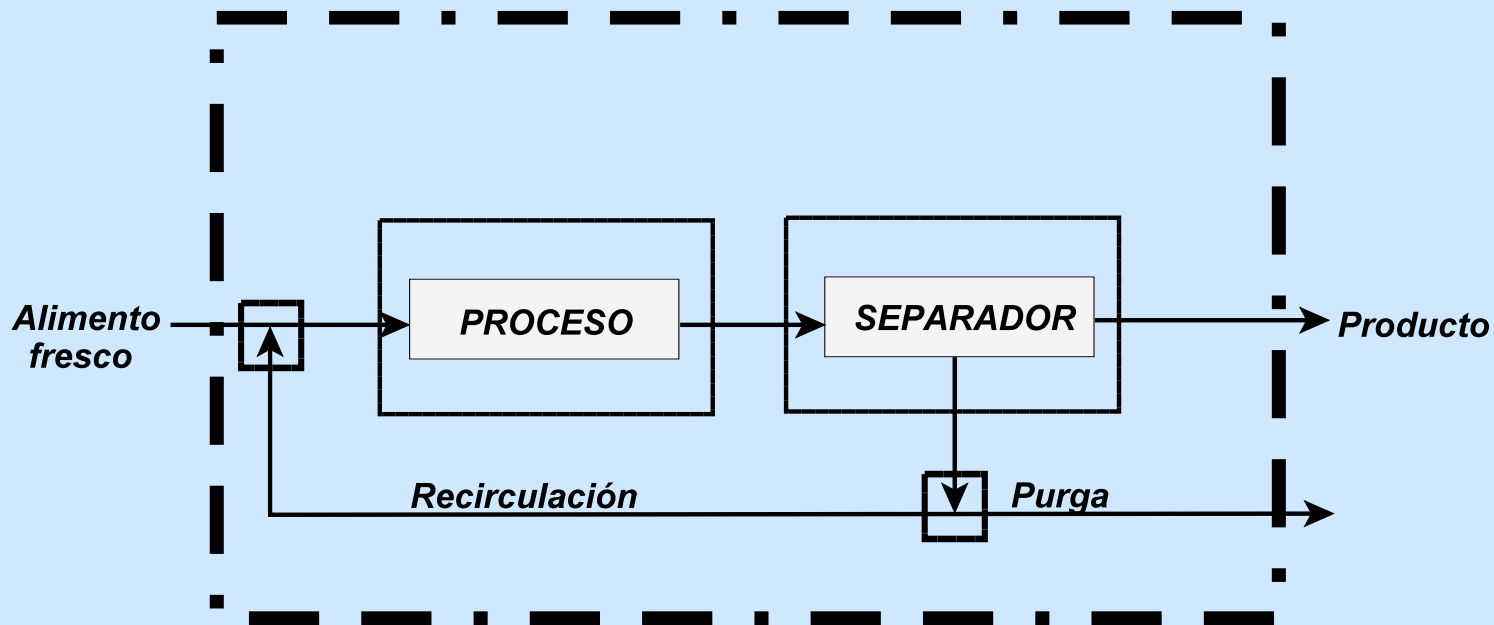


Figura 3.5: Purga.

## 1.2.2 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.

Matemáticamente:

$$x_A = \left[ \frac{\text{mol } A \text{ transformados}}{\text{mol } A \text{ alimentados}} \right] = \frac{N_{A0} - N_A}{N_{A0}} \quad [3.7]$$

De esta definición se desprende que:

$$\text{moles de } A \text{ transformados} = N_{A0} \cdot x_A \quad [3.8]$$

$$\text{moles de } A \text{ alimentados} = N_{A0} \cdot (1 - x_A)$$

## 1.2.2.1 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 **CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O**.

**Comburente:** Aire (fuente de oxígeno), que se suministra siempre en exceso y se considera con una composición de **21% O<sub>2</sub> y 79% N<sub>2</sub>**.



**Oxígeno teórico:** Cantidad molar necesaria para una combustión estequiométrica completa de un combustible (**C a CO<sub>2</sub> y H a H<sub>2</sub>O**).

**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.

## 1.3 Balances de materia en régimen no estacionario (operaciones discontinuas)

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:

$$\frac{d}{dt} ( m_{iT} ) = r_{im} V \quad [3.9]$$

$$\frac{d}{dt} ( m_T ) = 0 \quad [3.10]$$