



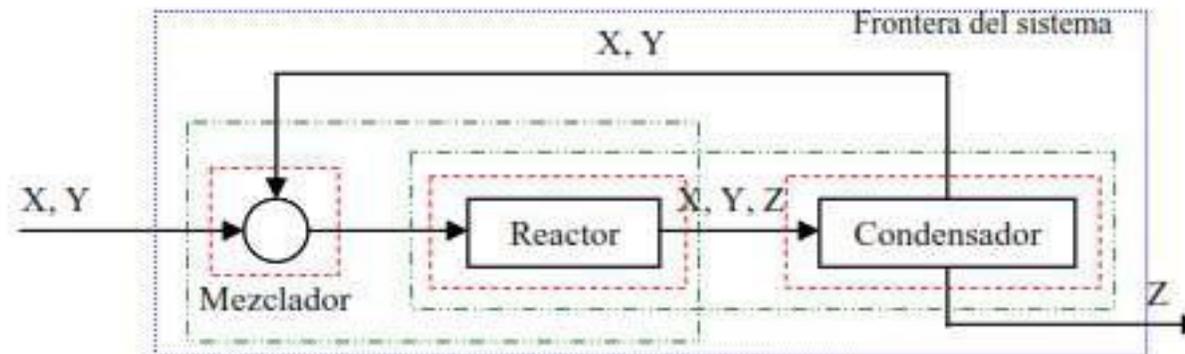
# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

## FACULTAD DE INGENIERÍA

### INGENIERÍA AMBIENTAL

## CÁLCULO DE LA INGENIERÍA AMBIENTAL (CIA)

### UNIDAD 2: BALANCES DE MATERIA



# CÁLCULO DE LA INGENIERÍA AMBIENTAL (CI)

## UNIDAD 2: BALANCES DE MATERIA

---

TEMA 2.1: Fundamentos del balance de masa

TEMA 2.2. Balance de masa en procesos sin reacción química: Balances en procesos de separación y mezclado

TEMA 2.3. Balance de masa en procesos con recirculación y purga

TEMA 2.4. Balances de masa en procesos múltiples

TEMA 2.5. Balance de masa en procesos con reacción química: Fundamentos y Tipos

TEMA 2.6. Aplicaciones del Balance de masa en procesos con reacción química

# Fundamentos del balance de masa

---

BALANCE DE MASA EN PROCESOS SIN REACCIÓN QUÍMICA

BALANCES EN PROCESOS DE SEPARACIÓN Y MEZCLADO

# ¿Qué son los balances?

Los cálculos de balance se basan en los principios de conservación de materia y energía

Son muy útiles para examinar un proceso o partes de él

Sirven para determinar los flujos, composiciones y temperaturas de todas las corrientes que intervienen en el proceso

Son la base del diseño de procesos

Determinará las cantidades de materias primas que se requieren y los productos que se producen

# ¿Para qué sirven?

---

Evaluar composiciones finales tras un mezclado

Determinar rendimientos y eficacias en procesos de separación, reacción, mezcla

Comprobar las mediciones de aquellas corrientes difíciles o imposibles de medir directamente

En el diseño de procesos para incluir todos los materiales, tanto de producción como de consumo, inclusive los residuales

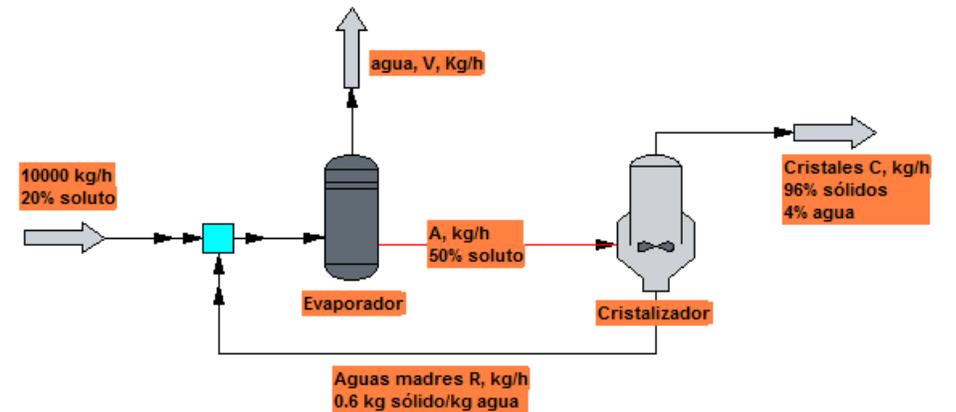
# DEFINICIONES

**Proceso:** Serie de acciones, operaciones o tratamientos que producen una transformación física o química dando como resultado un producto.



**Unidad de proceso:** Equipo donde se lleva a cabo cada una de las etapas básicas u operaciones unitarias que constituyen el proceso

**Flujo de Proceso:** Cantidad de materia o flujo de las entradas y salidas del proceso o del sistema objeto de estudio.



**Balance de materia:** Contabilización de la materia que entra y sale de un proceso.

# Clasificación de los Procesos

## En base a las características de los flujos de E y S:

### Proceso continuo:

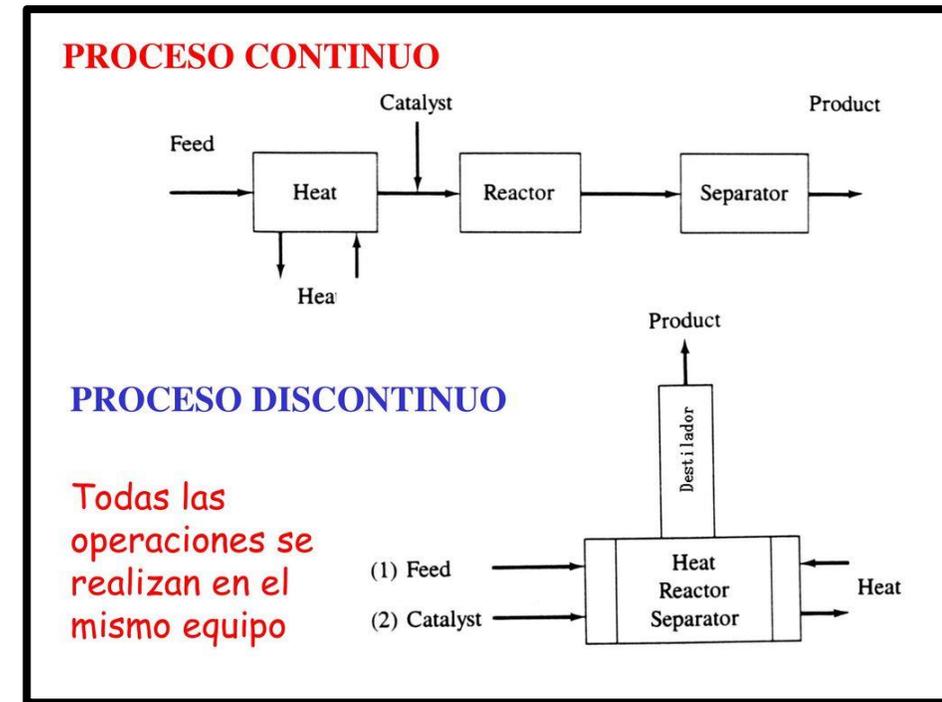
- Flujo continuo de entrada y salida del proceso (durante el periodo de tiempo que se analiza el proceso)
- Todos los flujos y propiedades son constantes con el tiempo, no hay término de acumulación.
- Régimen permanente ó estacionario

### Proceso discontinuo o intermitente:

- No existen flujos continuos de entrada y salida del proceso (entre el tiempo que se realiza la alimentación y el tiempo en que se extrae el producto)
- Se opera por lotes: las propiedades del sistema cambian con el tiempo. Existe acumulación
- Régimen no estacionario, transitorio, transiente, dinámico

### Proceso semicontinuo:

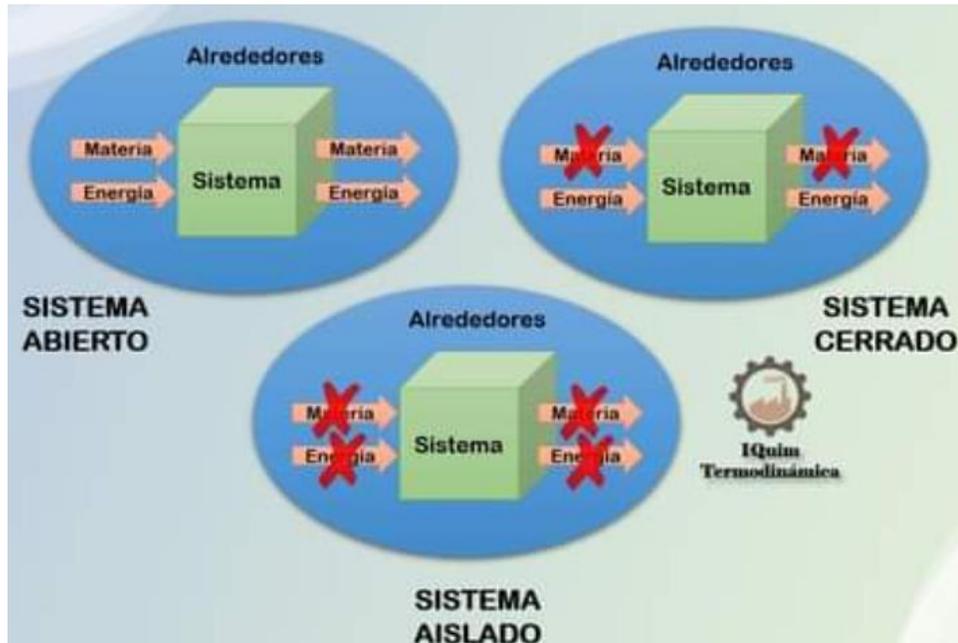
- Ni continuo ni discontinuo: continuo para unas corrientes y discontinuo para otras.



# Clasificación de los Procesos

## En base a la relación Sistema-Entorno

**Sistema:** parte del universo aislada objeto de estudio. En los procesos se define el sistema como la porción del mismo establecida específicamente para su análisis.



**Sistema Abierto:** existe transferencia de materia hacia o desde el exterior a través de su frontera. (*procesos continuos*).

**Sistema Cerrado:** no existe transferencia de materia hacia o desde el exterior a través de su frontera durante el intervalo de tiempo de interés (*procesos discontinuos*).

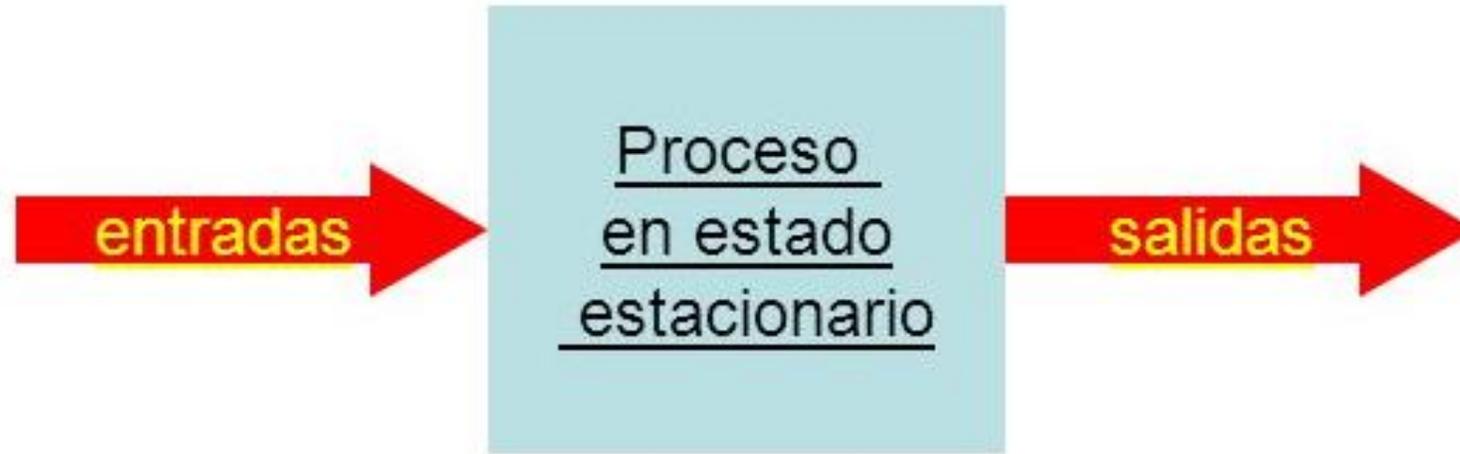
**Sistema Aislado:** sistema cerrado en el que no existe transferencia de energía a través de sus líneas frontera (sistema adiabático). *Sistema Isotermo* → la Energía fluye a través de la línea frontera para mantener la  $T^a$  constante.

# Principio de Conservación

Ley de conservación de la materia:

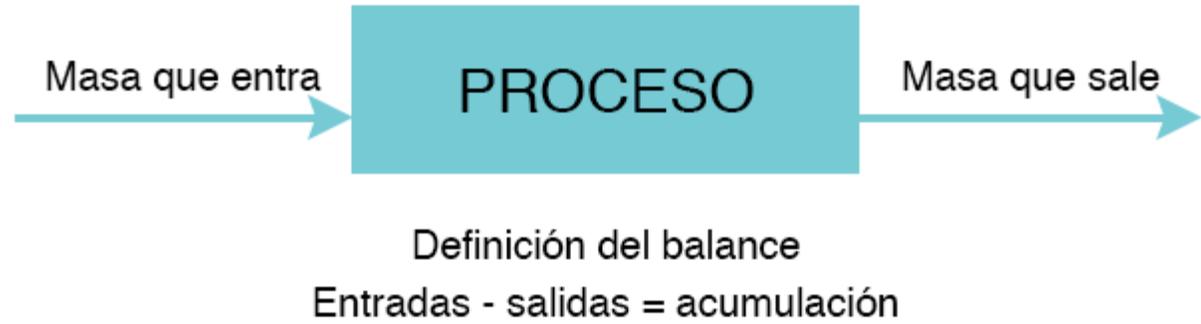
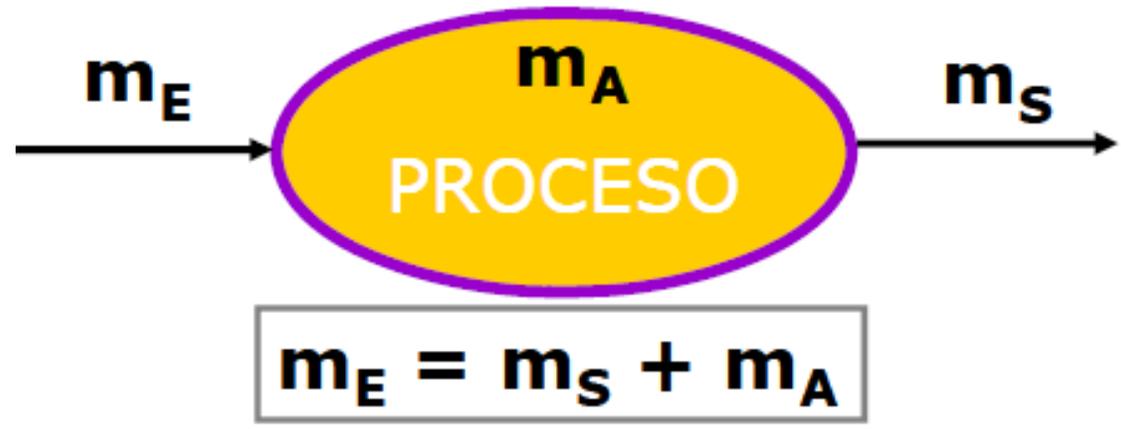
*"La materia no se crea ni se destruye, sólo se transforma"*

El principio de conservación de masa se ilustra con 3 ecuaciones aplicables a un sistema aislado y cerrado



Entradas = Salidas

Si el material se acumula dentro de un sistema



Si se produce o se consume material dentro del sistema



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Acumulación} \\ \text{dentro del sistema} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Entrada por las} \\ \text{fronteras del} \\ \text{sistema} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Salida por las} \\ \text{fronteras del} \\ \text{sistema} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Generación} \\ \text{dentro del} \\ \text{sistema} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Consumo} \\ \text{dentro del} \\ \text{sistema} \end{array} \right\}$$

# Base de Cálculo

**Base de cálculo:** es la cantidad de cierta variable involucrada en el problema a la que se refieren o transforman las demás, para efectuar los cálculos necesarios. Puede ser real o ficticia. Este concepto es crucial tanto para entender cómo debe resolverse un problema como así también hacerlo de la manera más expedita posible.

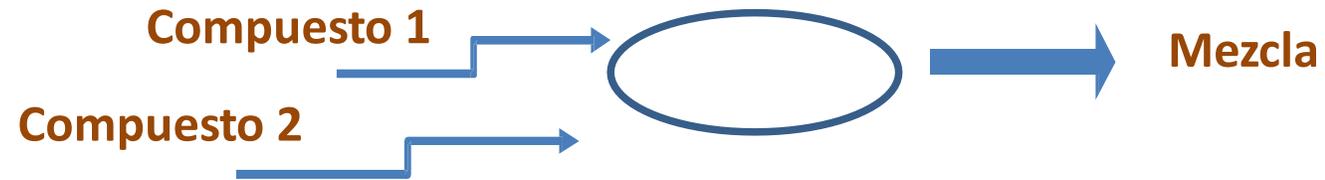
Al seleccionar una base de cálculo debemos preguntarnos ¿De qué se va a partir? ¿Qué respuesta se requiere? ¿Cuál es la base de cálculo más adecuada?

La elección de una base no siempre es sencilla, pero a modo de recomendaciones podemos decir que conviene elegir como base:

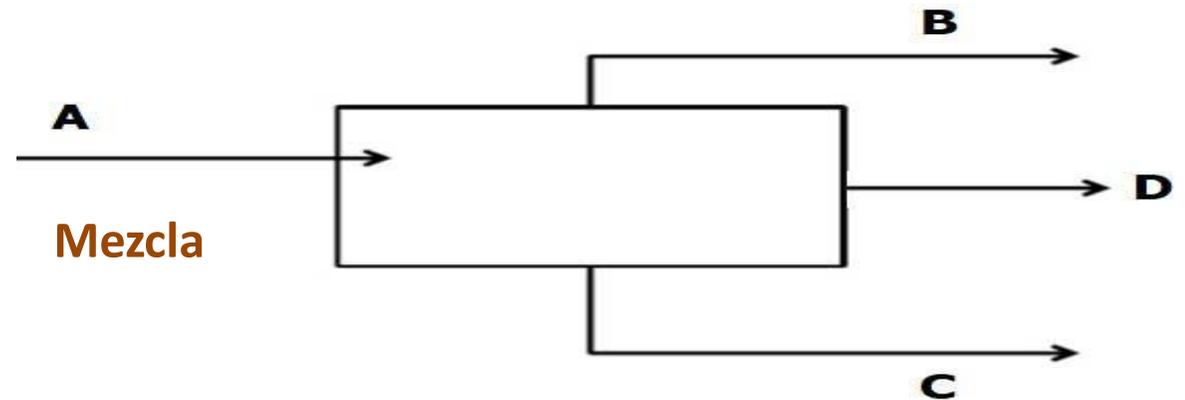
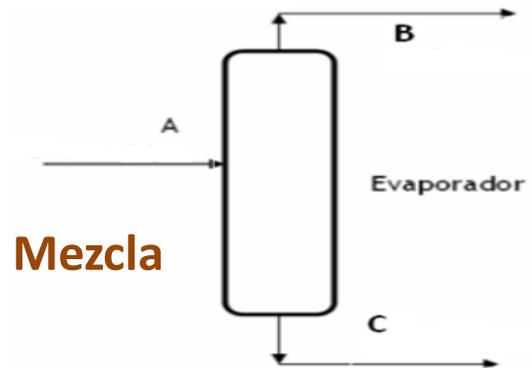
- la corriente que posea mayor información
- aquella que pasa por nuestro sistema sin alterarse
- un número entero 1, 10; 100

**Cuando se comienza con una base ésta debe ser mantenida durante todo el cálculo**

## Proceso de mezclado:



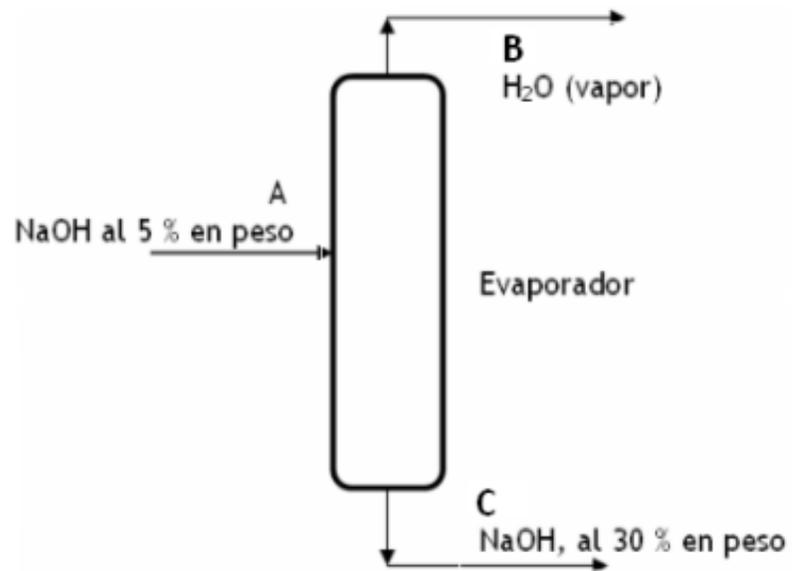
## Proceso de Separación:



Entrada = Salida

# Balances totales y por componentes

**Balances Globales o Balances Generales:** Se considera la masa total de cada corriente (flujo) implicada en el proceso.

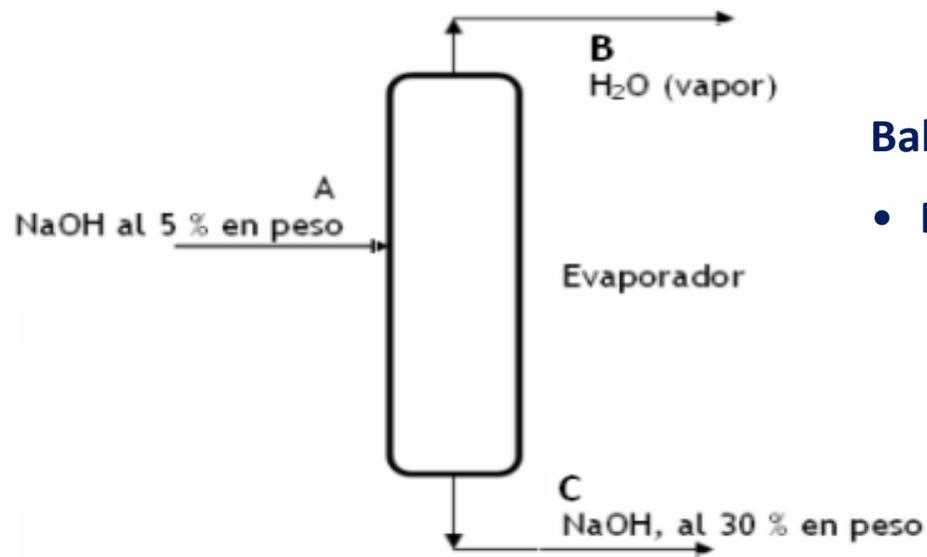


**Entrada = Salida**

**Balance Global (BG):  $A = B + C$  (1)**

# Balances totales y por componentes

**Balances por Componentes:** Se considera solamente la masa de los componentes que constituyen cada una de las corrientes del proceso.



**Entrada = Salida**

**Balance por componentes:**

• NaOH)  $\rightarrow$  NaOH en A = NaOH en B + NaOH en C

$$\bullet X_{\text{NaOH}})_A * A = X_{\text{NaOH}})_B * B + X_{\text{NaOH}})_C * C$$

$$0,05 * A = 0,3 * C \quad (2)$$

• Agua)  $\rightarrow$  H<sub>2</sub>O en A = H<sub>2</sub>O en B + H<sub>2</sub>O en C

$$0,95 * A = B + 0,7 * C \quad (3)$$

•  $X_{\text{H}_2\text{O}})_A * A = X_{\text{H}_2\text{O}})_B * B + X_{\text{H}_2\text{O}})_C * C \quad \rightarrow$

# Ejercicio 1

Un tanque de sedimentación se utiliza para separar sólidos en suspensión de aguas residuales. El caudal de aguas residuales que entra al tanque es de 10 L/s, y la concentración de sólidos suspendidos (SS) en el afluente es de 200mg/L. La eficiencia de separación de los SS en el tanque es de 60%. Calcule la cantidad de sólidos suspendidos (lodos) que se acumulan diariamente en la zona de sedimentos.

## Ejercicio 2

Una industria descarga sus residuos líquidos en un río que tiene un caudal mínimo de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . El contaminante principal depositado es un material orgánico no reactivo llamado P. La corriente residual tiene un gasto de  $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ , y la concentración de P en la corriente residual es de  $3000 \text{ mg/L}$ . La contaminación corriente arriba ha causado una concentración de  $20 \text{ mg/L}$  de P en las condiciones de caudal mínimo. El organismo regulador estatal ha fijado un límite máximo de  $100 \text{ mg/L}$  de P en el río. Suponga que en el río se produce un mezclado total. ¿Podrá la industria descargar sus residuos sin tratamiento?

# Ejercicio 3

Un flujo de agua residual entra a un río. La concentración de sodio en el cuerpo hídrico de 9 mg/L, y con flujo 25 m<sup>3</sup>/s de agua en el río. La concentración del sodio en el agua residual es de 300 mg/L, y el flujo 10 m<sup>3</sup>/s.

Si el límite máximo permisible para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieren desinfección es de 200 mg/L, indique si después de la mezcla se cumple o no con esta reglamentación (TULAS, 2002).

Qué pasará si en época de estiaje disminuye el caudal del río al 10%.

# Ejercicio 4

A una planta de tratamiento de aguas urbanas ingresa un flujo de  $300 \text{ m}^3/\text{min}$  con una concentración de sólidos de  $120 \text{ mg/L}$  y una concentración de DBO de  $250 \text{ mg/L}$ . Se ha instalado una industria en las cercanías de la planta de tratamiento y ha comenzado a descargar sus residuos líquidos en la misma. Una medición antes de su descarga al alcantarillado dio como resultado concentraciones de DBO y Sólidos de  $950$  y  $500 \text{ mg/L}$  respectivamente. En la planta de tratamiento se consume el  $8\%$  del flujo total de residuos líquidos. Calcular la concentración de sólidos y DBO que descarga la industria si los residuos líquidos fluyen a  $30 \text{ m}^3/\text{min}$ .

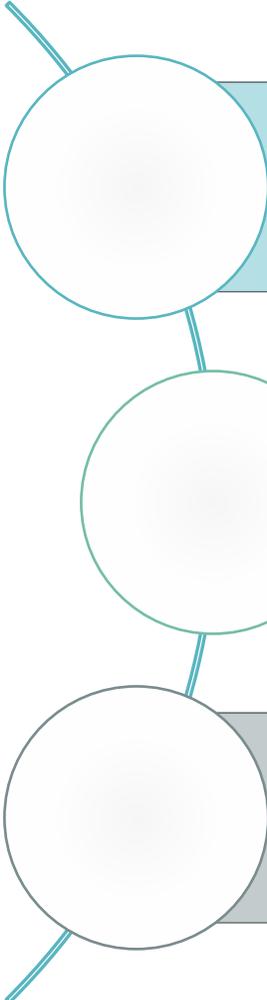
# Fundamentos del balance de masa

---

BALANCES DE MASA EN PROCESOS MÚLTIPLES

BALANCE DE MASA SIN REACCIÓN QUÍMICA EN PROCESOS CON RECIRCULACIÓN Y PURGA

En la industria química es frecuente que los procesos comprendan varias unidades. Para realizar los balances de masa, en este caso, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:



Se pueden escoger varios sistemas para resolver el balance de materia: Todo el proceso, una sola unidad de proceso, varias unidades de proceso, un punto de mezcla, un punto de separación (estos dos últimos casos, por ejemplo, cuando se presenta recirculación o derivación).

En cada uno de los sistemas se pueden realizar balances de masa totales y parciales; si el sistema es todo el proceso, los balances se denominan globales.

Se sugiere que el orden de selección de los sistemas para llevar a cabo los balances de masa, sea desde el sistema con menor número de incógnitas hasta el sistema que tenga el mayor número de incógnitas.

# Cómo hacer un balance de materia

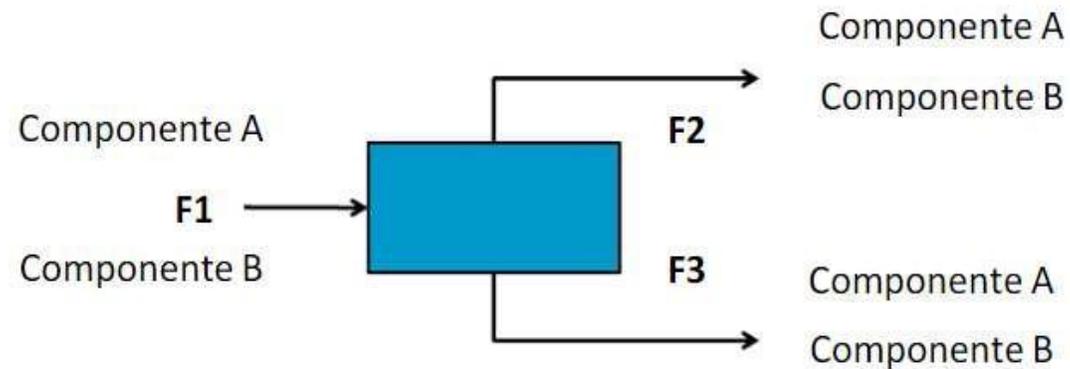
**Diagrama de flujo de proceso:** representación esquemática de las etapas y líneas de proceso que constituyen el mismo. Es un esquema del proceso en el que se muestra:

- La disposición de los equipos para llevar a cabo el proceso.
- Las conexiones entre las corrientes.
- Los flujos y composiciones de las corrientes.
- Las condiciones de operación (P, T<sup>a</sup> ...)

Al seleccionar una base de cálculo debemos preguntarnos ¿De qué se va a partir? ¿Qué respuesta se requiere? ¿Cuál es la base de cálculo más adecuada?

## Cómo hacer un balance de materia:

**Procesos con sistema simple (una unidad):** Las entradas y salidas al sistema son las corrientes del proceso que intersectan a las fronteras del sistema.

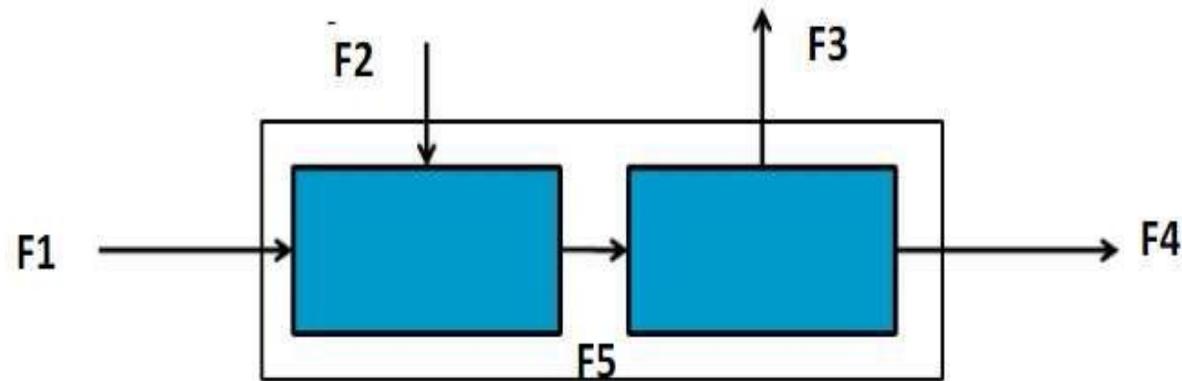


Se pueden plantear

**3** balances:

- Todo el proceso (global):  $F1 = F2 + F3$
- Por componente:  $F_{1,A} = F_{2,A} + F_{3,A}$
- Por componente:  $F_{1,B} = F_{2,B} + F_{3,B}$

**Procesos de Unidades Múltiples:** Las entradas y salidas al sistema son las corrientes del proceso que intersectan a las fronteras del sistema.

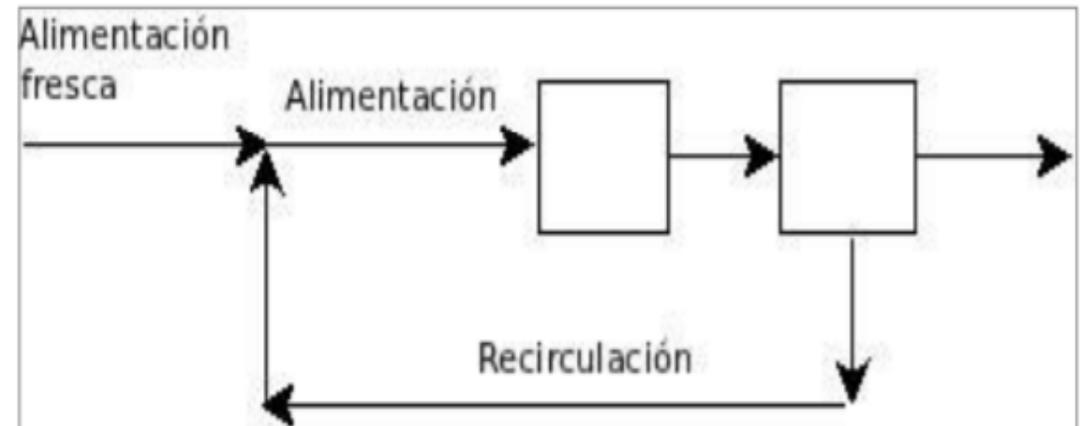


Se pueden plantear **3**  
balances generales:

- Todo el proceso (global):  $F1 + F2 = F3 + F4$
- unidad 1 :  $F1 + F2 = F5$  y
- unidad 2 :  $F5 = F3 + F4$

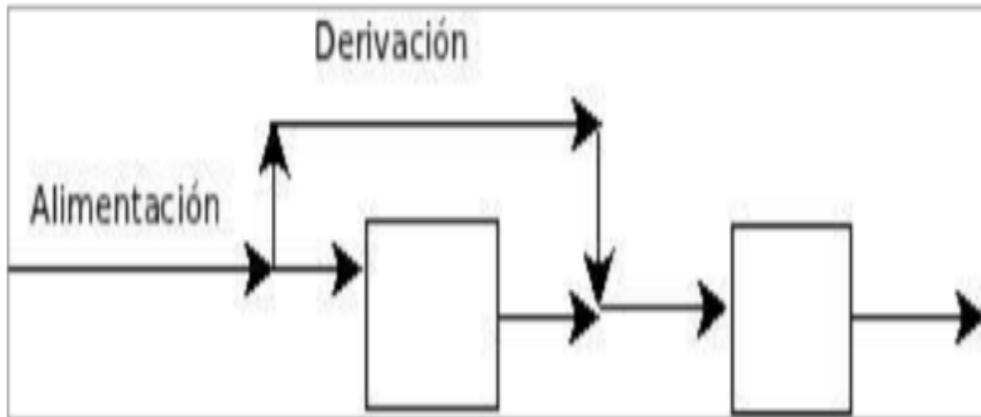
# Balance de masa sin reacción química en procesos con recirculación

En algunos procesos industriales se utiliza la recirculación de algunos de sus flujos, lo cual consiste en devolver un flujo (o parte de él), que abandona una unidad de proceso hacia una unidad anterior. Esto se hace porque se desea recuperar uno o varios reactivos o catalizadores no consumidos, o porque se desea diluir un flujo, o porque un fluido de trabajo está circulando como es el caso de los refrigeradores.



# Balance de masa sin reacción química en procesos con derivación

---

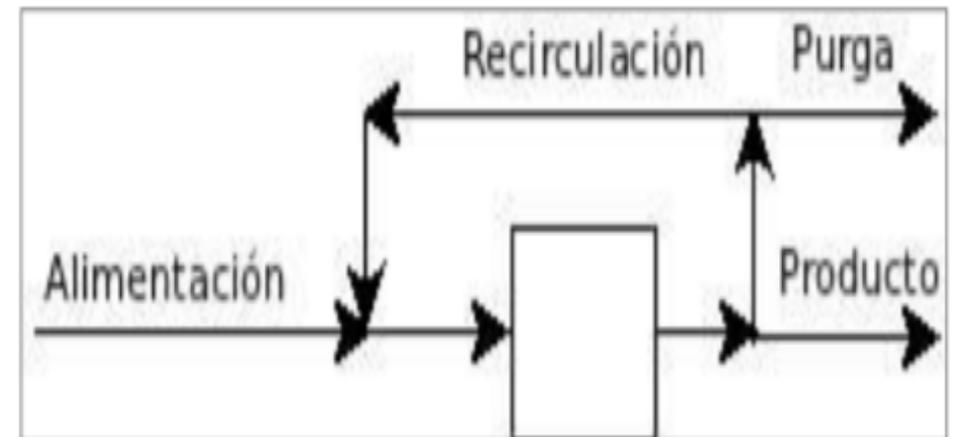


En otros procesos industriales se utiliza lo que se denomina derivación o desviación o bypass, que consiste en no permitir que una parte de una alimentación a una unidad de proceso ingrese a esa unidad, sino que vaya a otra unidad posterior.

# Balance de masa sin reacción química en procesos con purga

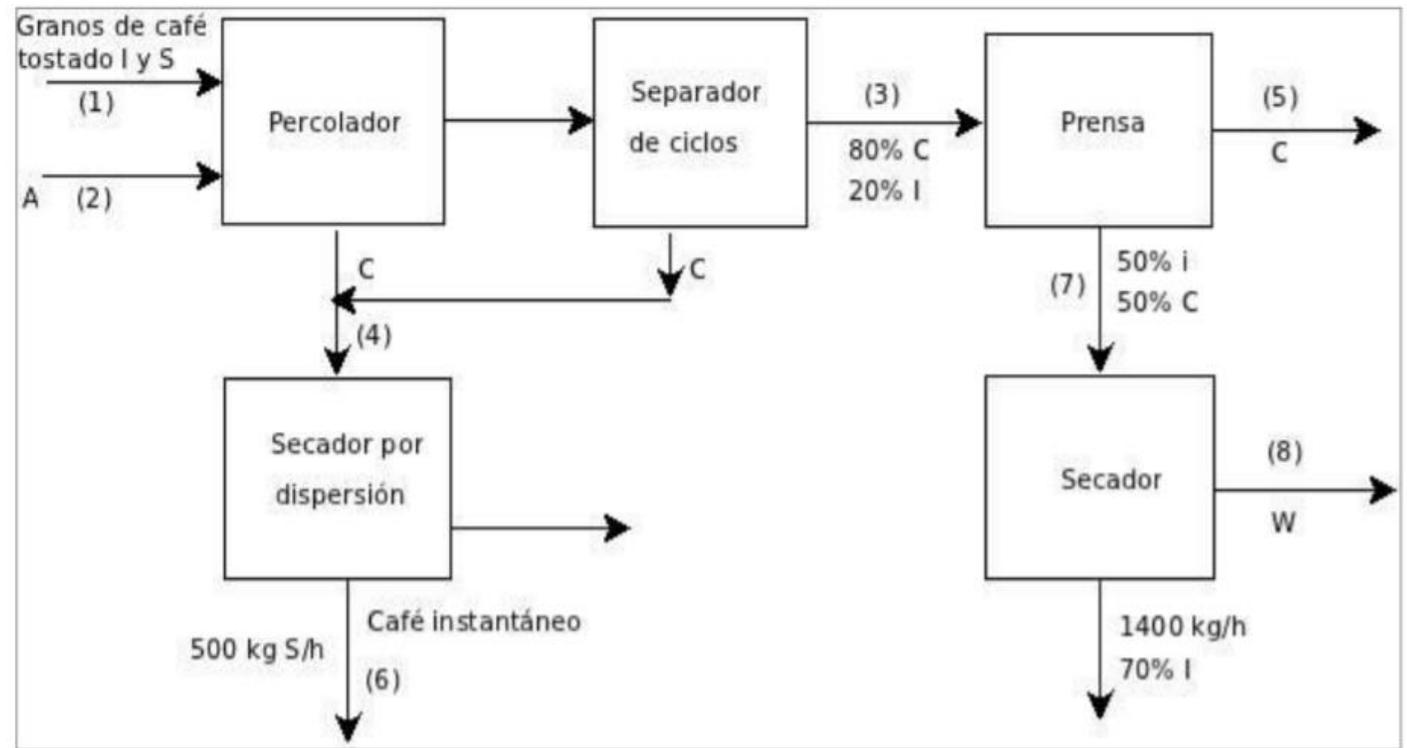
---

Si una parte de una corriente de recirculación es retirada del proceso, por ejemplo, con el fin de evitar que materiales inertes o indeseados se acumulen dentro del proceso, se presenta una purga.

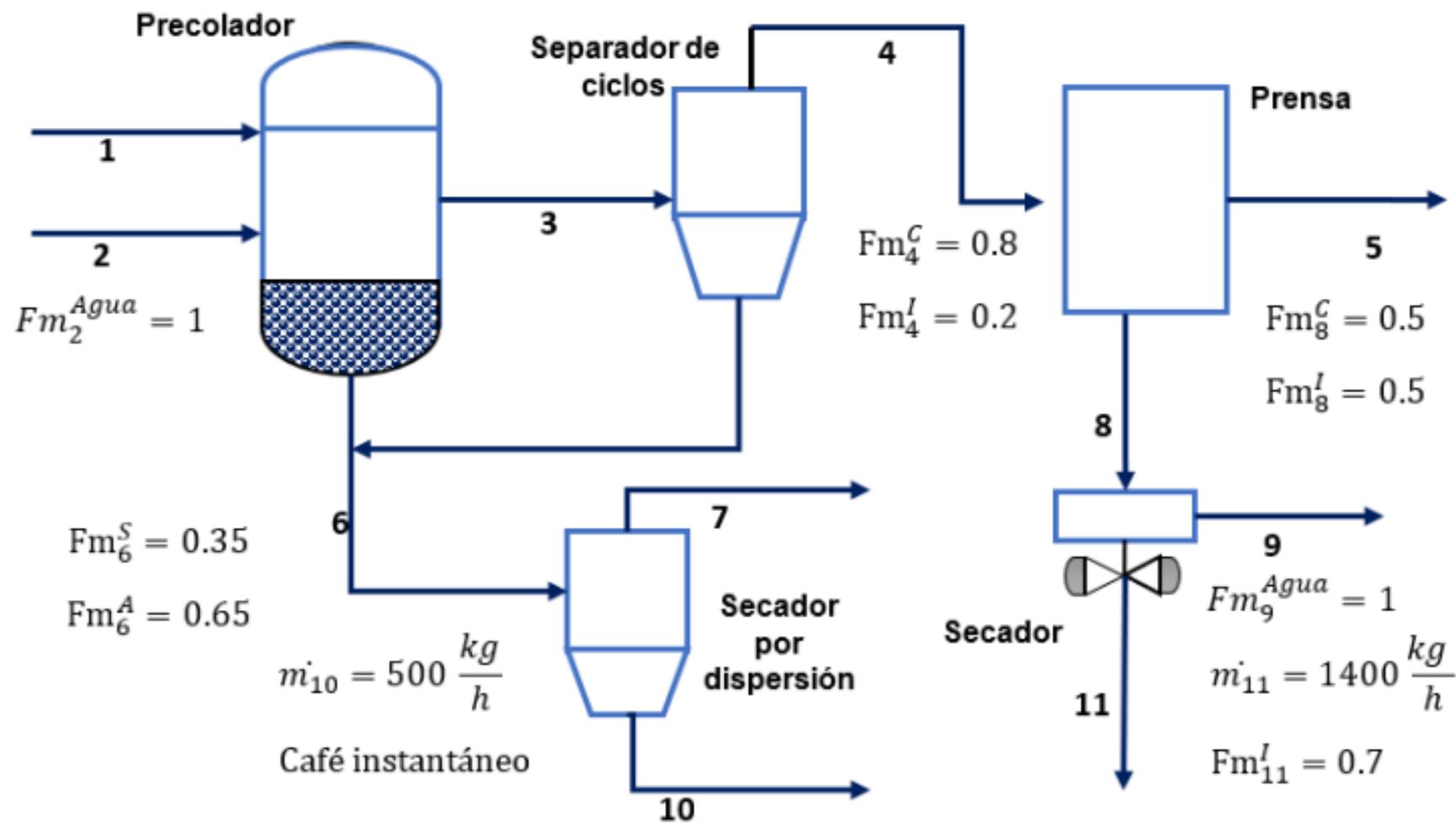


# Ejercicio

Los granos de café contienen sustancias solubles en agua y otras que no lo son. Para producir café instantáneo, se disuelve la porción soluble en agua hirviendo (es decir, preparando café) en percoladores grandes, y se alimenta después con el café un secador en el que se evapora el agua, dejando el café soluble como un polvo seco. La porción insoluble de los granos de café (el sedimento) pasa a través de varias operaciones (diferentes secados) y los sedimentos secos pueden usarse para rehabilitación de tierras. La disolución extraída de los sedimentos en la primera etapa de secado (separador de ciclos) se junta con el flujo de salida de los percoladores y esa es la alimentación del secador. Aquí se muestra el diagrama de flujo de este proceso, en el cual S e I representan los componentes solubles e insolubles de los granos de café, A es el agua y C la disolución que contiene 35% en masa de S y 65% en masa de A.

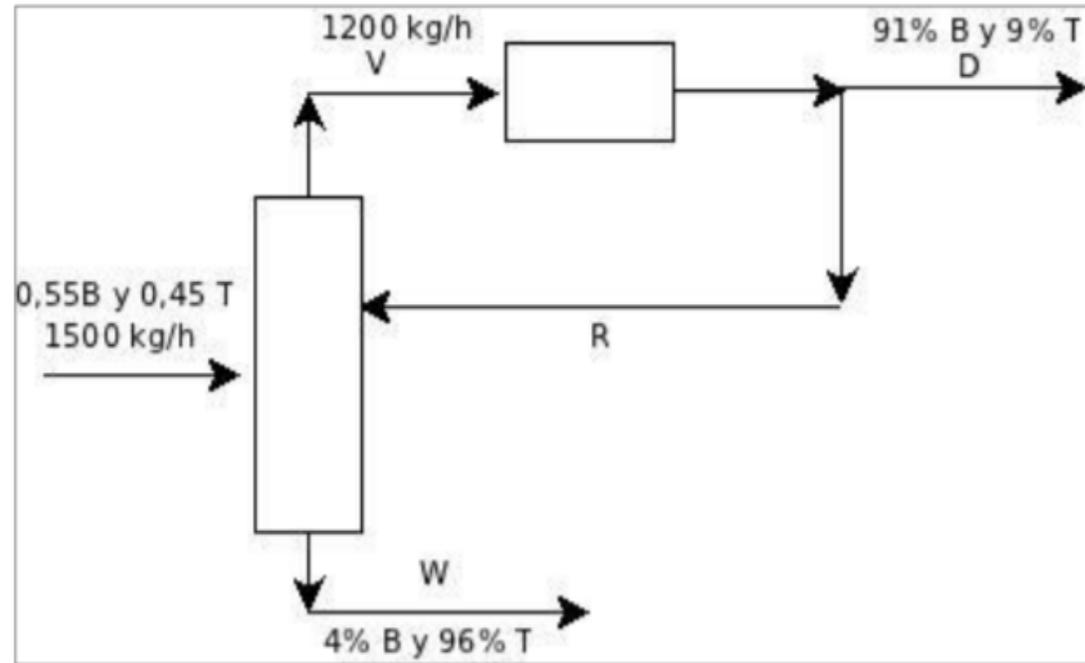


- Calcule las velocidades de flujo (kg/h) en los flujos 1 a 8.
- Si el líquido de salida de la prensa puede alimentar el secador por dispersión sin afectar el sabor del producto, ¿en qué porcentaje se puede aumentar la velocidad de producción del café instantáneo?



# Ejercicio

Una columna de destilación separa 1500 kg/h de una mezcla de benceno y tolueno que contiene 55% en masa de benceno. El producto recuperado del condensador en el domo de la columna contiene 91% de benceno y los fondos de la columna contienen 96% de tolueno. La corriente de vapor que entra al condensador de la parte superior de la columna es 1200 kg/h. Una parte del producto se regresa a la columna como reflujo y el resto se saca para utilizarlo en otra parte. Suponga que las composiciones de las corrientes en la parte superior de la columna (V), del producto retirado (D) y del reflujo (R) son idénticas. Encuentre la relación entre el reflujo y el producto retirado.



# Ejercicio

En una planta de tratamiento que opera bajo condiciones estables, se reduce el contenido de impurezas nocivas de un líquido residual de 2,5% en peso hasta 0,05% en peso. Se permite una concentración máxima de estas impurezas nocivas de 0,5% en peso para ser descargadas en el río local. ¿Qué porcentaje del líquido residual inicial puede ser derivado y cumplir aún las normas establecidas? Base de cálculo: 100 kg de líquido residual.

