

TEMA 6: INTRODUCCIÓN A LAS OPERACIONES BÁSICAS

OBJETIVOS

- Establecer los conceptos principales relativos a las operaciones básicas, destacando las operaciones de separación y, en un segundo plano, aquellas que implican la transmisión de calor y el flujo de fluidos.
- Definir los tipos de operaciones básicas, las escalas de operación, los modos de contacto entre fases y los tipos de flujo.
- Analizar las operaciones básicas según la propiedad transportada, haciendo especial énfasis en las operaciones de separación.
- Esquematizar las operaciones básicas más importantes en forma de cuadros-resumen que especifican el objetivo de la operación, algún ejemplo de aplicación y algún equipo utilizado para llevarla a cabo, incluyendo el diagrama correspondiente.

5.1 Conceptos de operación básica y operación de separación

Operación básica (operación unitaria): Cada una de las operaciones o etapas individuales con una función específica diferenciada que, coordinadas, permiten llevar a cabo un proceso químico; se basan en **principios científicos comunes** y tienen **técnicas de cálculo semejantes**.

Operaciones de separación: Conjunto de operaciones básicas en las que se produce una **transferencia de materia**; actúan sobre una corriente formada por una mezcla de componentes y separan éstos en diferentes corrientes.

Otras operaciones básicas que **no** son de separación (pero muy importantes): **flujo de fluidos y transmisión de calor**.

Componentes **en una sola fase**: Se necesita una segunda fase inmiscible para separar algunos componentes; la segunda fase se forma a partir de la primera (cambiando P y T) o añadiendo una nueva fase, independiente de la original.

Componentes **en varias fases**: Al estar las fases dispersas, es necesario cambiar las condiciones para que se separen las fases y, con ellas, los componentes.

Aplicación de **barreras**: Métodos actuales de separación en una sola fase, aplicando barreras o campos para que los componentes migren selectivamente a través de ellas.

5.1.1 Tipos de operaciones

Tres tipos de operaciones (**Figura 6.1**): continuas (régimen estacionario), discontinuas o semicontinuas (régimen no estacionario).

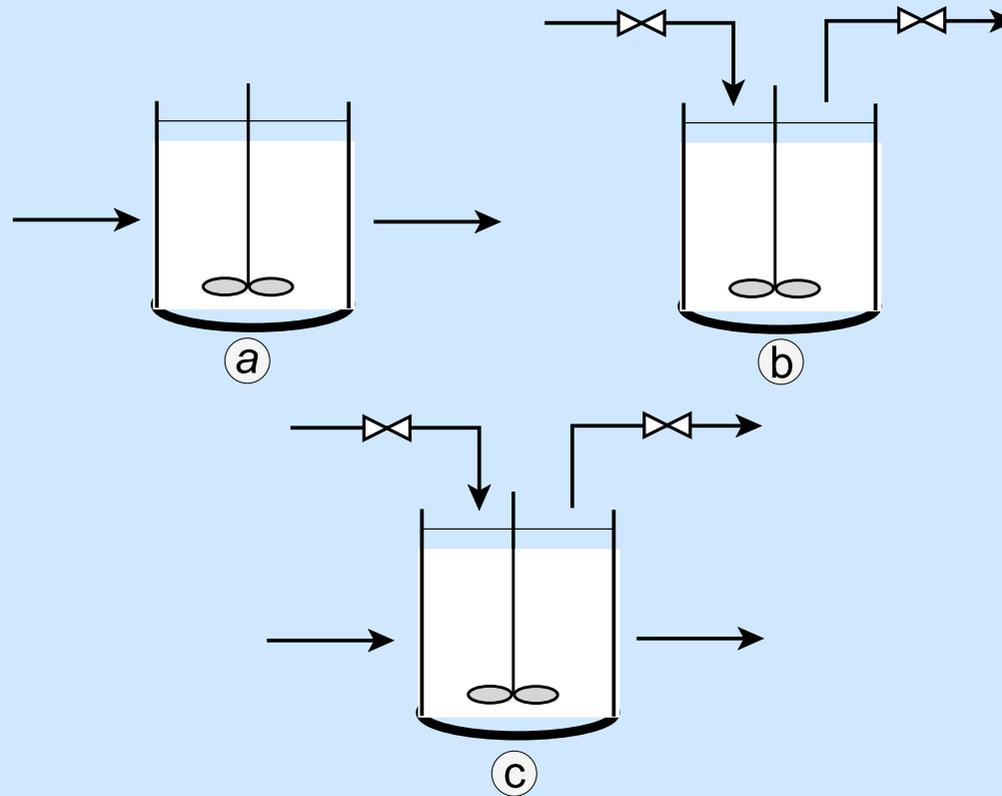


Figura 6.1: Esquemas de tipos de operaciones:

- a) Continua.
- b) Discontinua.
- c) Semicontinua.

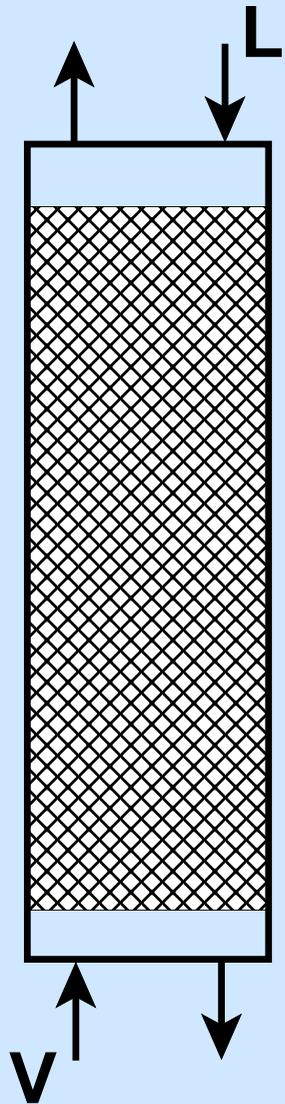
5.1.2 Escalas de operación

- Escala de **laboratorio**: Usada para estudiar detalles, empleando pequeñas cantidades de materias primas; económica.
- Escala de **planta piloto**: Usada para estudiar restricciones del proceso industrial; las cantidades procesadas varían mucho.
- Escala **semiindustrial** (demostración): Instalación industrial de menor tamaño (10%) que sólo se utiliza en ocasiones específicas; muy costosa.
- Escala **industrial**: Tamaño final de la planta comercial que ha de reproducir los resultados de laboratorio.

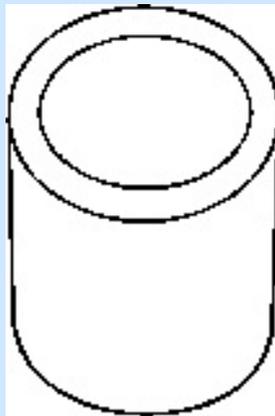
5.1.3 Modos de contacto entre fases

Dos modos de contacto: continuo o intermitente.

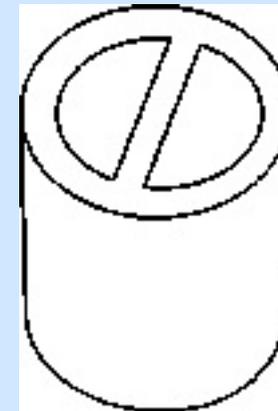
- **Contacto continuo (Figura 6.2):** *columnas de relleno*
- **Contacto intermitente (Figura 6.3):** *columnas de platos o de pisos* (contacto por etapas)



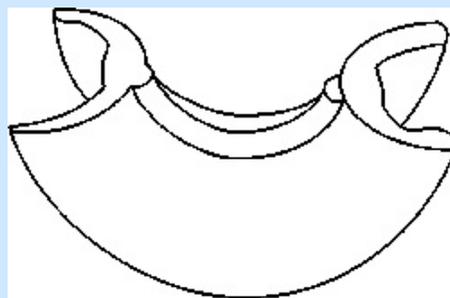
Columna
de
Relleno



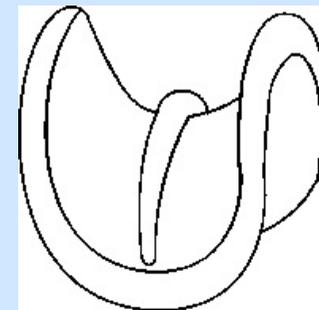
Anillo Raschig



Anillo Lessing



Silla Intalox



Silla Berl

Figura 6.2: Contacto continuo en columna de relleno.

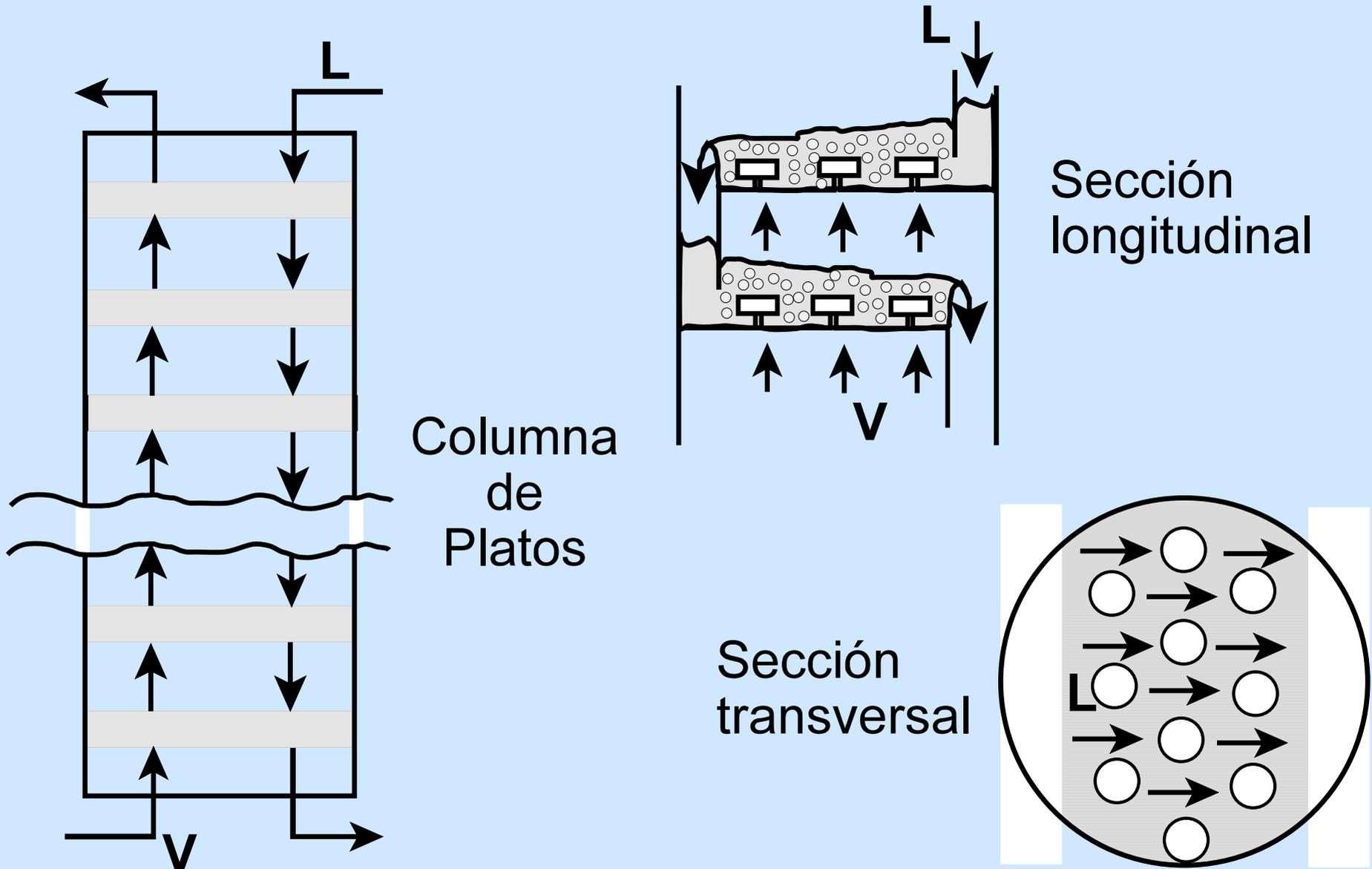


Figura 6.3: Contacto intermitente en columna de platos.

5.1.4 Tipos de flujo

Tres tipos de flujo o características de circulación de las fases a través del equipo: en paralelo, en contracorriente o cruzado.

- **Flujo en paralelo (Figura 6.4):** Las corrientes se mueven en la misma dirección y sentido a través del equipo.
- **Flujo en contracorriente (Figura 6.5):** Las corrientes se mueven en la misma dirección pero en sentidos opuestos a través del equipo
- **Flujo cruzado (Figura 6.6):** Las corrientes se mueven en direcciones perpendiculares entre sí a través del equipo; el contacto puede ser continuo o repetido.
- **Reflujo (Figura 6.7):** Corriente procedente del producto de salida que se vuelve a introducir en el equipo para conseguir una separación más completa.

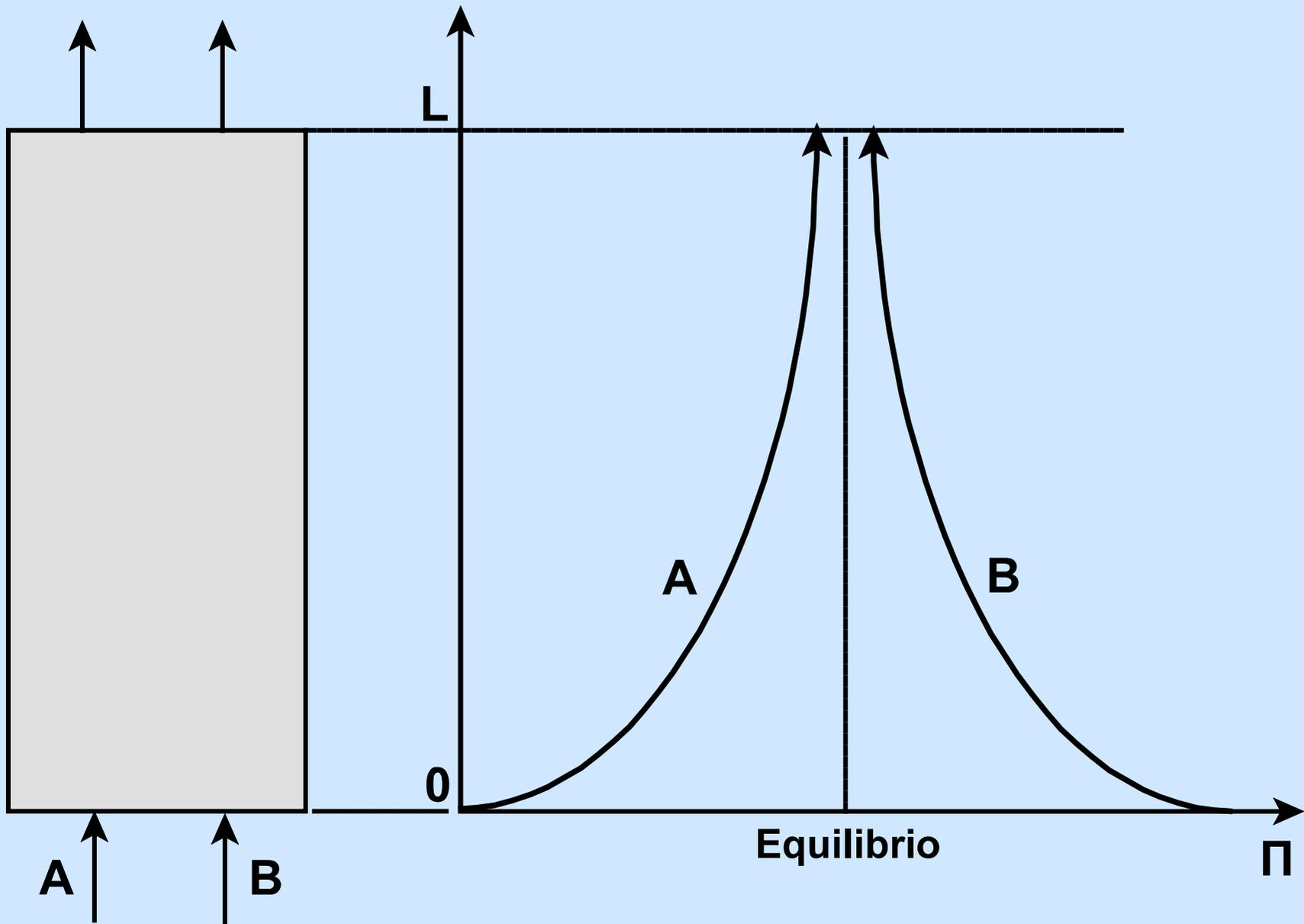


Figura 6.4: Flujo en paralelo.

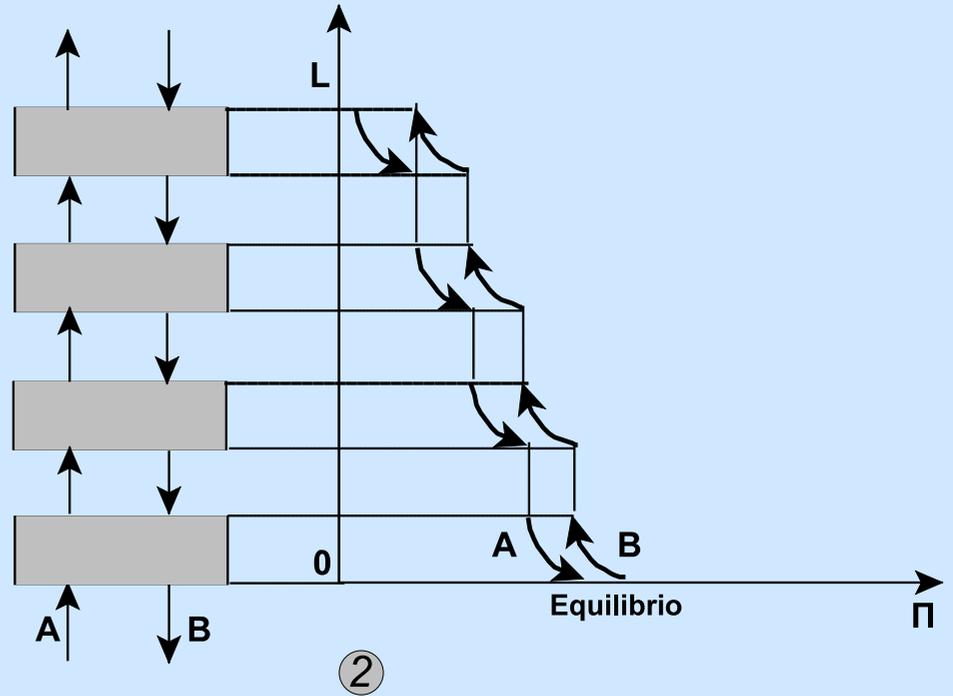
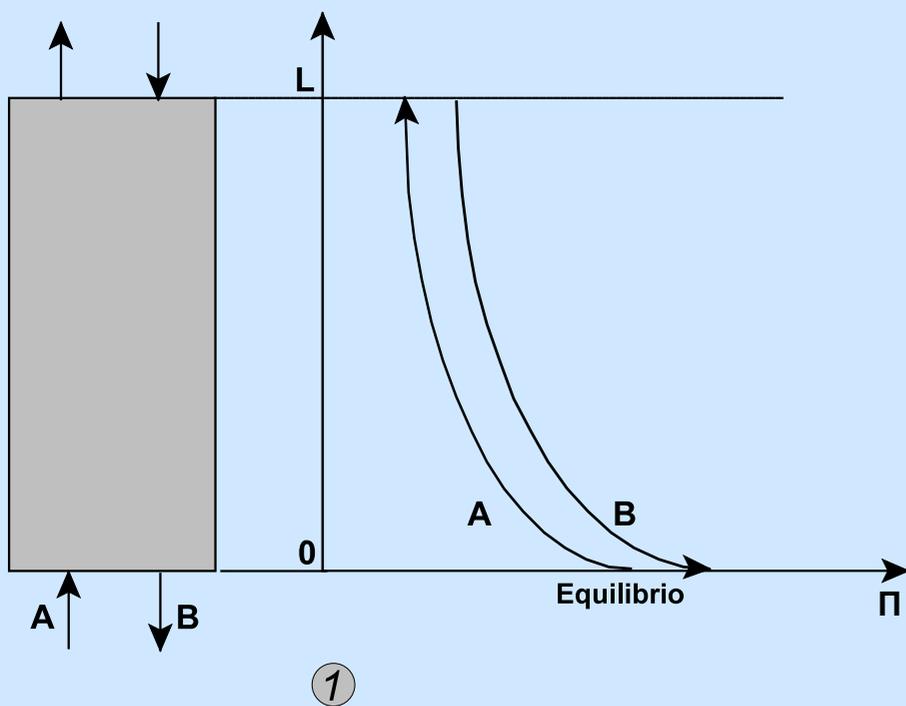


Figura 6.5: Flujo en contracorriente:

- 1) Contacto continuo
- 2) Contacto intermitente

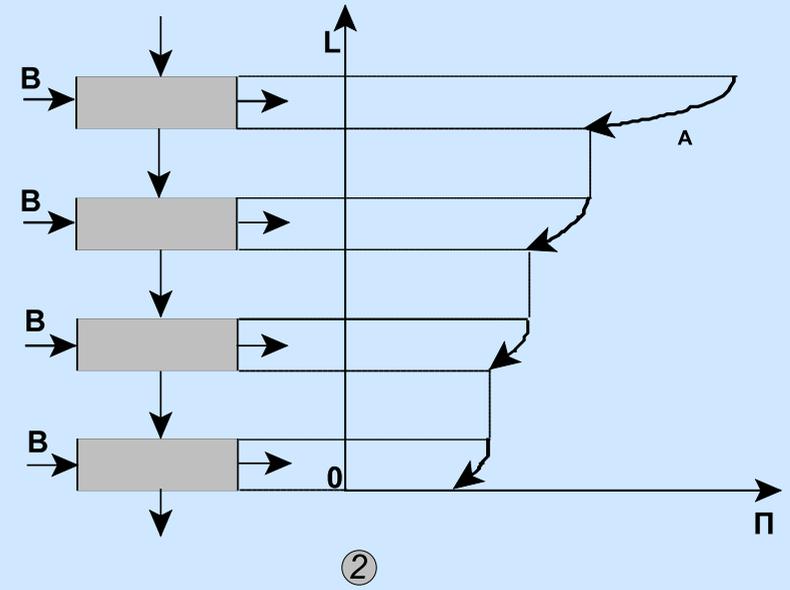
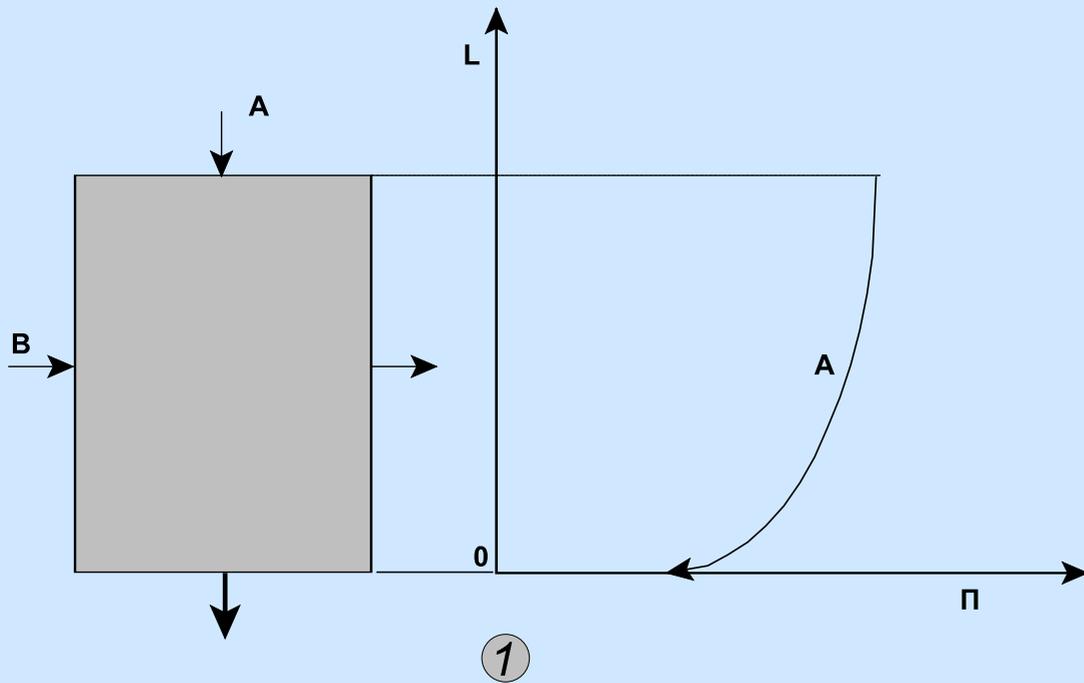


Figura 6.6: Flujo cruzado:
 1) Contacto continuo
 2) Contacto repetido

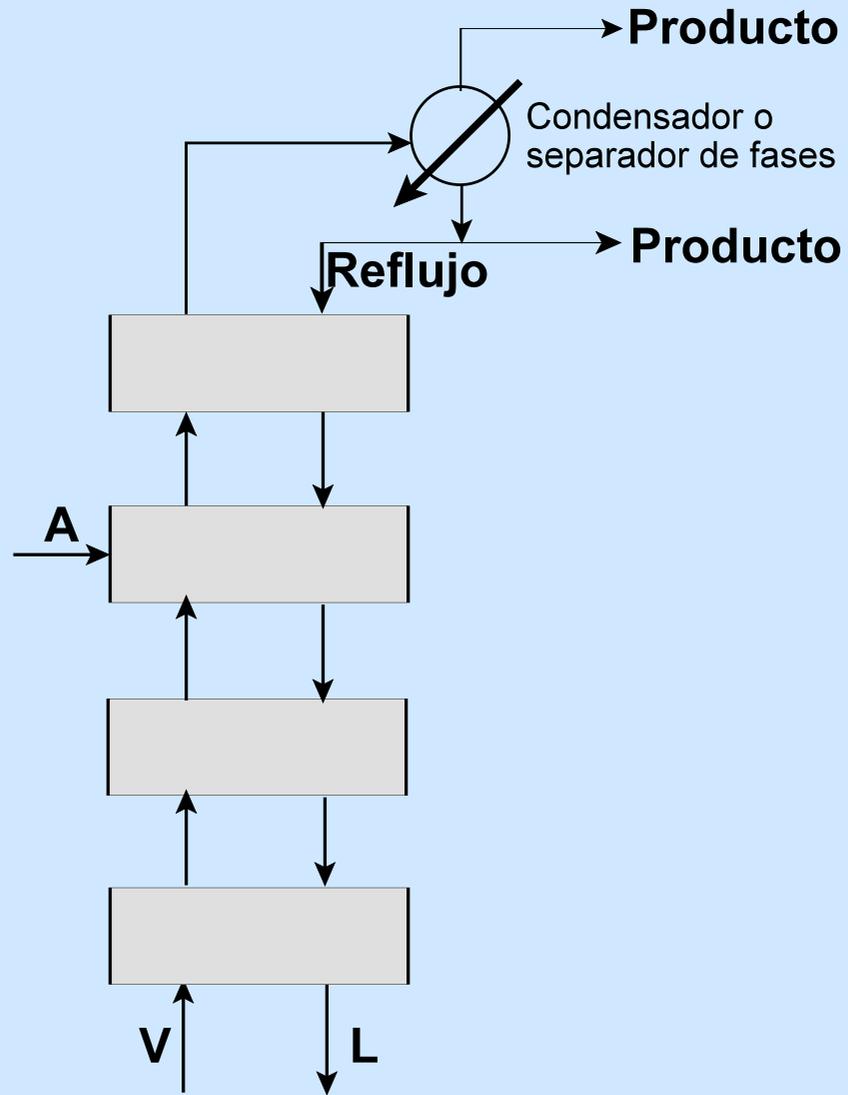


Figura 6.7: Reflujo.

5.2 Análisis de las operaciones básicas

Esquema de desarrollo en función de la propiedad involucrada:

- Operaciones de separación (**transporte de materia**).
- Operaciones de transmisión de calor (**transporte de energía**).
- Operaciones de flujo de fluidos (**transporte de momento**).
- Otras operaciones.

5.2.1 Operaciones de separación

Criterios de clasificación de las operaciones de separación:

- **Superficie interfacial:** Superficie que se forma entre las dos fases entre las que se produce el transporte de materia; la segunda fase puede generarse con un **agente energético de separación** (cambio de estado), o con un **agente material de separación** (fase ajena); en la migración selectiva de componentes la interfase es una **membrana**.
- **Mecanismo controlante:** Fenómeno mucho más lento que los demás y que determina la velocidad con que transcurre un proceso global; la transferencia de materia va acompañada de transporte de energía y cantidad de movimiento que pueden influir de modo decisivo.

Relación de las operaciones de separación más habituales, clasificadas según los dos criterios mencionados:

OPERACIONES		Mecanismo controlante			
Fases		Materia	Energía	Materia + Energía	Momento
Sólido	Fluido (Gas o Líquido)	<ul style="list-style-type: none"> ● Adsorción / Desorción 			<ul style="list-style-type: none"> ● Filtración ● Sedimentación / Centrifugación
Sólido	Gas			<ul style="list-style-type: none"> ● Secado / Liofilización ● Sublimación 	
Sólido	Líquido	<ul style="list-style-type: none"> ● Lixiviación ● Intercambio iónico 		<ul style="list-style-type: none"> ● Cristalización 	<ul style="list-style-type: none"> ● Flotación
Líquido	Líquido	<ul style="list-style-type: none"> ● Extracción 			
Líquido	Vapor	<ul style="list-style-type: none"> ● Destilación / Rectificación 	<ul style="list-style-type: none"> ● Evaporación 		
Líquido	Gas	<ul style="list-style-type: none"> ● Absorción / Desabsorción 		<ul style="list-style-type: none"> ● Interacción aire - agua (Deshumidificación de aire, Humidificación de aire, Enfriamiento de agua) 	
Membranas		<ul style="list-style-type: none"> ● Difusión de gases ● Permeación de gases ● Diálisis ● Ósmosis inversa ● Ultrafiltración 			

5.2.2 Operaciones de transmisión de calor

Transporte de energía no mecánica, que se clasifica en dos grupos:

- **Aislamiento térmico:** Diseño de paredes con materiales de baja conductividad teórica para lograr condiciones adiabáticas.
- **Intercambio de calor sin cambio de fase: Calentamiento o enfriamiento de sólidos** a lo largo del tiempo, **diseño de cambiadores de calor**, dispositivos en los que se intercambia calor entre un fluido frío y otro caliente; **diseño de hornos**, en los que el calor generado por un combustible se transmite por radiación a un fluido que circula por tubos.

5.2.3 Operaciones de flujo de fluidos

Transporte de cantidad de movimiento debido a diferencias de velocidad. El rozamiento provocado por la viscosidad del fluido produce una degradación de la energía mecánica; será necesario suministrar energía para conseguir la circulación del fluido.

Se clasifican en dos grupos:

- **Operaciones de flujo interno:** El fluido circula por conducciones; se diseñan las **tuberías**, los **dispositivos de impulsión**, los de **regulación del flujo** y los de **extracción de la energía mecánica** contenida en el fluido.
- **Operaciones de flujo externo:** El fluido circula alrededor de partículas sólidas, en lechos; las operaciones más importantes son la **fluidización** (suspensión de partículas sólidas en el seno de un fluido ascendente), y el **transporte neumático** (arrastre de partículas sólidas por un gas).

5.2.4 Otras operaciones

Otras operaciones básicas que no encajan en las clasificaciones anteriores pero que pueden tener importancia:

- **Trituración y molienda:** Reducción de tamaño de materiales sólidos por compresión (trituración) o por fricción e impacto (molienda).
- **Tamizado:** Separación por tamaños de las partículas de un sólido a través de una malla (tamiz) de paso definido (luz).
- **Mezclado:** Puesta en contacto de diversos componentes para la obtención de una fase lo más homogénea posible; los líquidos se mezclan con agitadores de paletas, mientras que los sólidos se mezclan agitando el recipiente.
- **Almacenamiento:** Disposición de los materiales en recipientes para permitir la mejor interacción entre operaciones continuas y discontinuas; los **sólidos** se almacenan a la intemperie o en silos, los **líquidos** en tanques y los **gases** en gasómetros o esferas (presión).

5.3 Cuadros - resumen de las operaciones básicas

Se presentan en forma esquemática cada una de las operaciones básicas que se han mencionado, concediéndose mayor importancia a las que implican una separación.

Adsorción / Desorción (Figura 6.8) (Materia; sólido - fluido):

Adsorción:

Separación de uno o varios componentes de una mezcla fluida mediante un sólido adsorbente ajeno a la misma.

Separación de compuestos fenólicos en disolución acuosa mediante carbón activo.

Desorción

Separación de las sustancias adsorbidas sobre un sólido mediante un disolvente líquido o gaseoso; operación inversa a la adsorción.

Recuperación de olefinas, previamente adsorbidas sobre zeolitas, mediante vapor de agua.

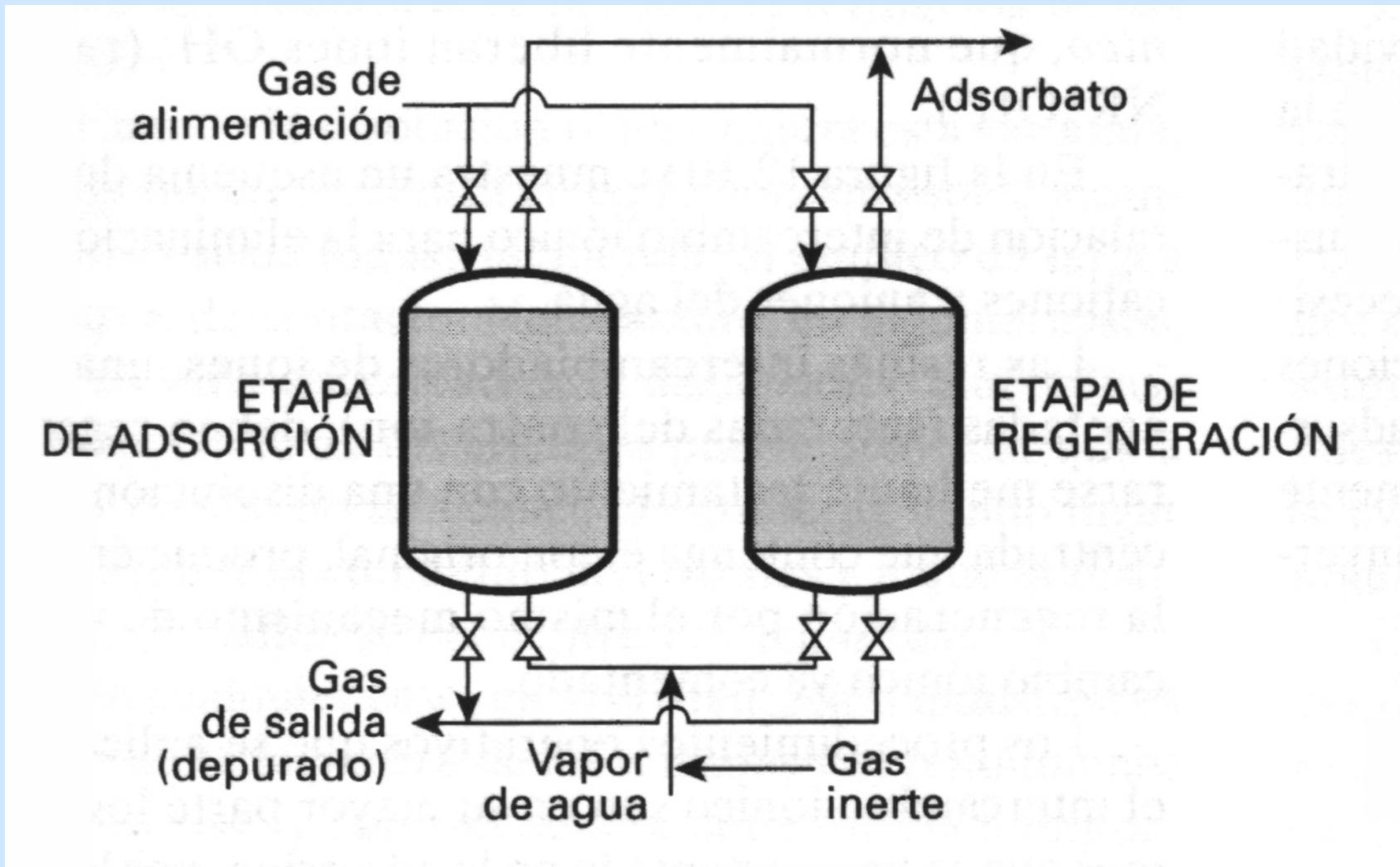
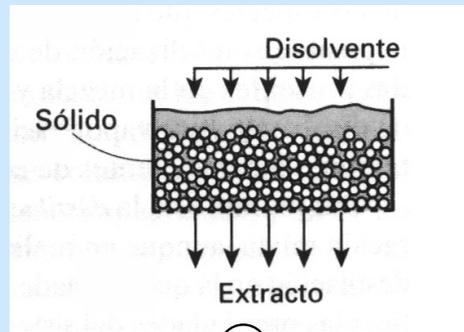


Figura 6.8: Adsorción por ciclos.

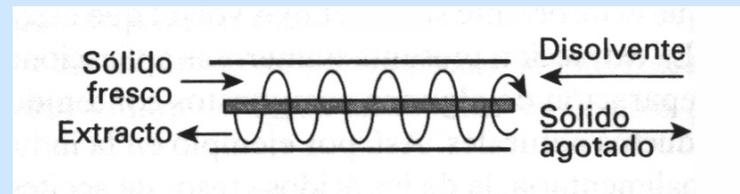
Lixiviación (Figura 6.9) (Materia; sólido - líquido):

Separación de uno o varios componentes contenidos en una mezcla sólida mediante un disolvente líquido ajeno a la misma.

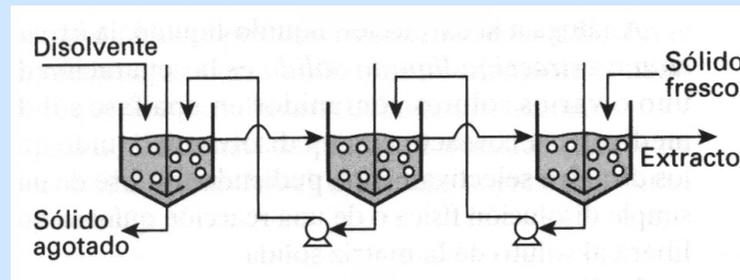
Separación del aceite de las semillas del cacahuete por tratamiento con n -hexano.



a



b



c

Figura 6.9: Lixiviación:
 a) Lecho fijo.
 b) Lecho móvil.
 c) Tanques agitados.

Intercambio iónico (Figura 6.10) (Materia; sólido - líquido):

Separación de algunos de los iones de una disolución líquida mediante un sólido iónico con el que intercambia ciertos iones del mismo tipo de carga.

Ablandamiento de aguas duras (eliminación de iones Ca^{+2} y Mg^{+2}) utilizando resinas naturales (zeolitas) o sintéticas de intercambio catiónico, que liberan iones H^+ contenidos en su matriz.

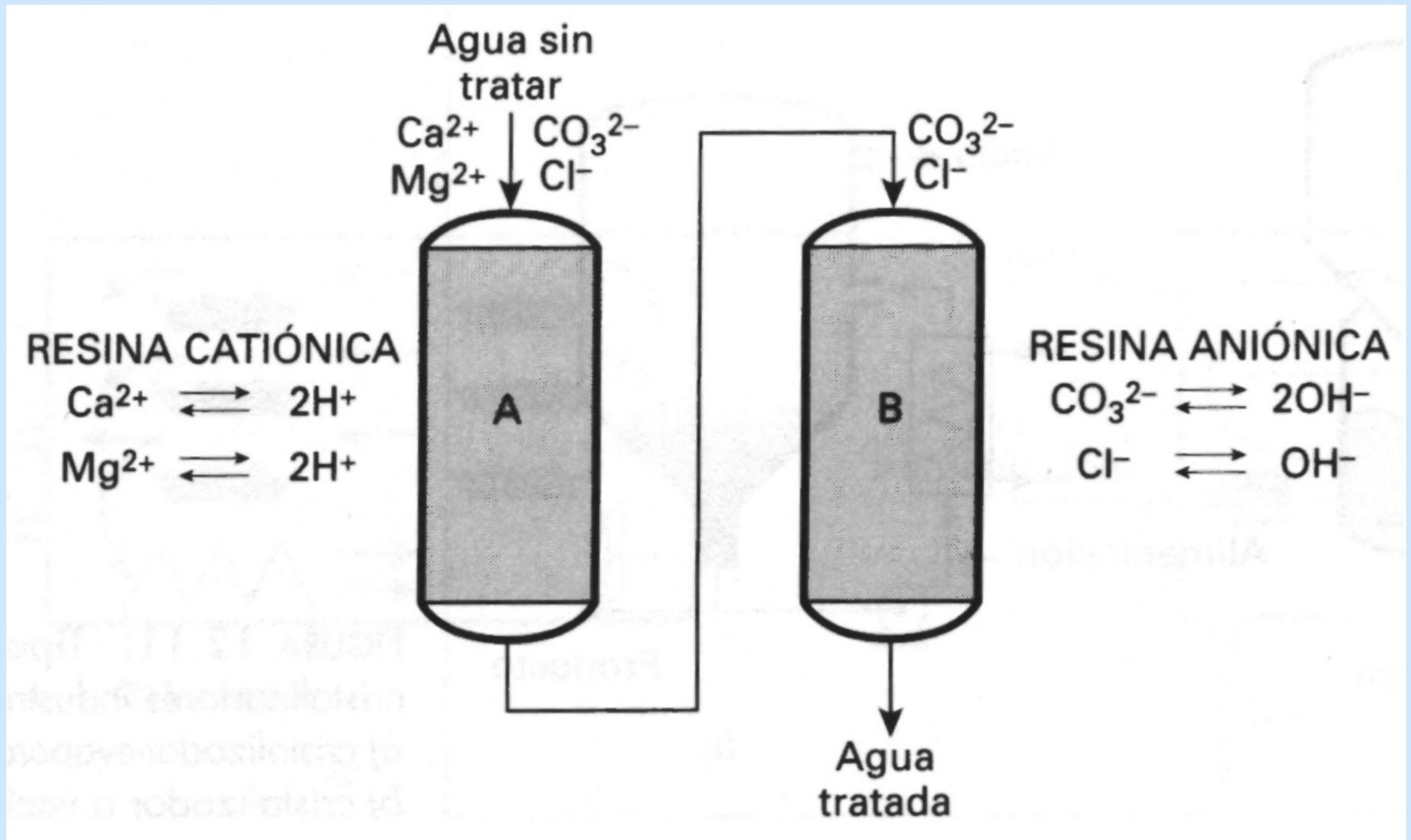
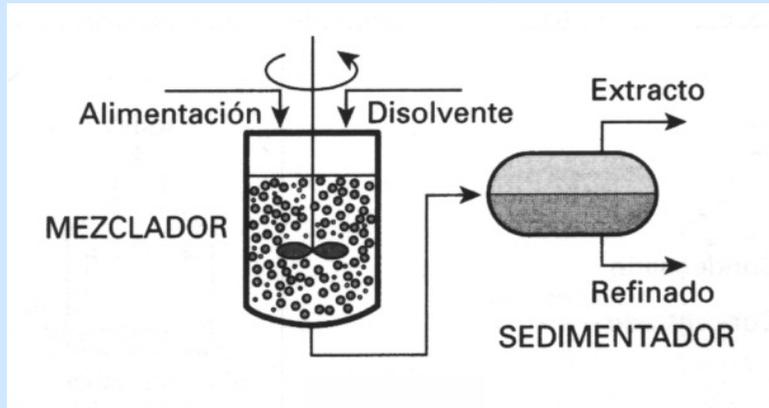


Figura 6.10: Intercambio iónico.

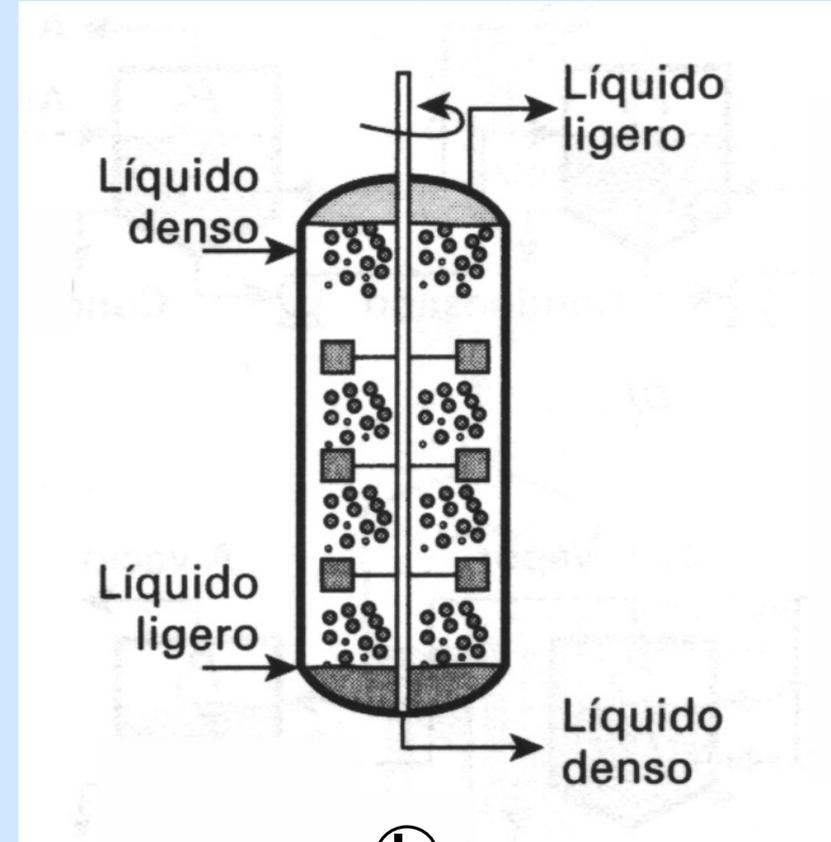
Extracción (Figura 6.11) (Materia; líquido - líquido):

Separación de los componentes de una mezcla líquida mediante un disolvente inmiscible con ella y ajeno a la misma.

Desparafinado (separación de hidrocarburos parafínicos) de aceites lubricantes mediante propano líquido.



a



b

Figura 6.11: Extractores de contacto discontinuo:
 a) Mezclador-sedimentador.
 b) Columna de extracción (agitada).

Destilación / Rectificación (Figura 6.12) (Materia; líquido - vapor):

Destilación:

Separación de los componentes de una mezcla líquida por vaporización parcial de la misma y condensación del vapor generado.

Obtención de etanol comercial a partir de mezclas hidroalcohólicas resultantes de fermentaciones artesanales.

Rectificación:

Separación de uno o varios componentes de una mezcla líquida por vaporizaciones y condensaciones parciales sucesivas para enriquecer el vapor en el componente más volátil.

Producción de aguardientes industriales a partir de residuos de fermentación.

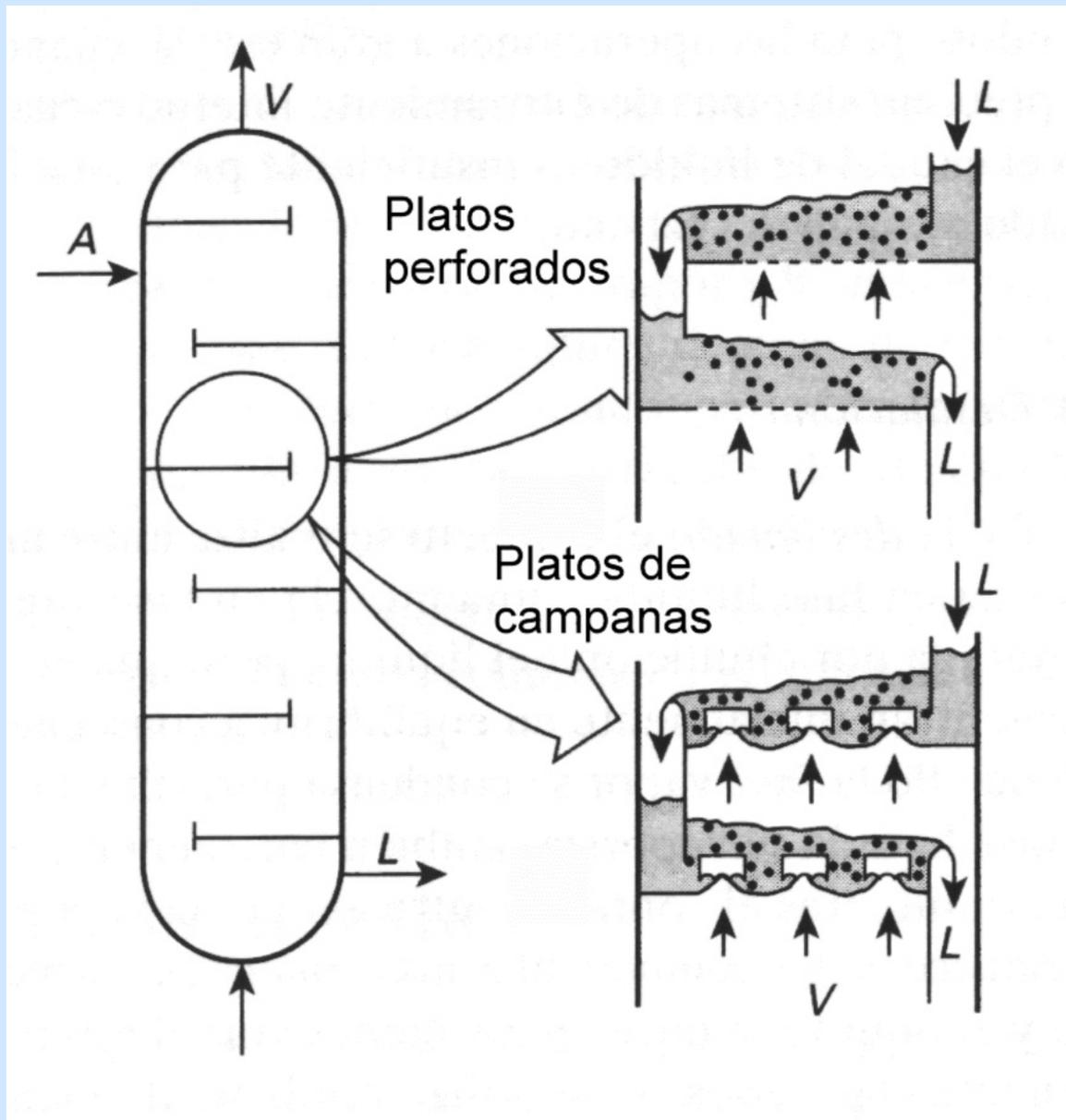


Figura 6.12: Columna de platos.

Absorción / Agotamiento (Figura 6.13) (Materia; gas - líquido):

Absorción:

Separación de uno o más componentes de una mezcla gaseosa mediante su disolución selectiva en un líquido ajeno a la misma.

Separación del SO_2 de un gas de combustión mediante agua.

Agotamiento:

Separación de uno o varios componentes de una mezcla líquida mediante un gas ajeno a la misma; operación inversa de la absorción.

Depuración de aguas contaminadas por compuestos volátiles mediante arrastre con aire.

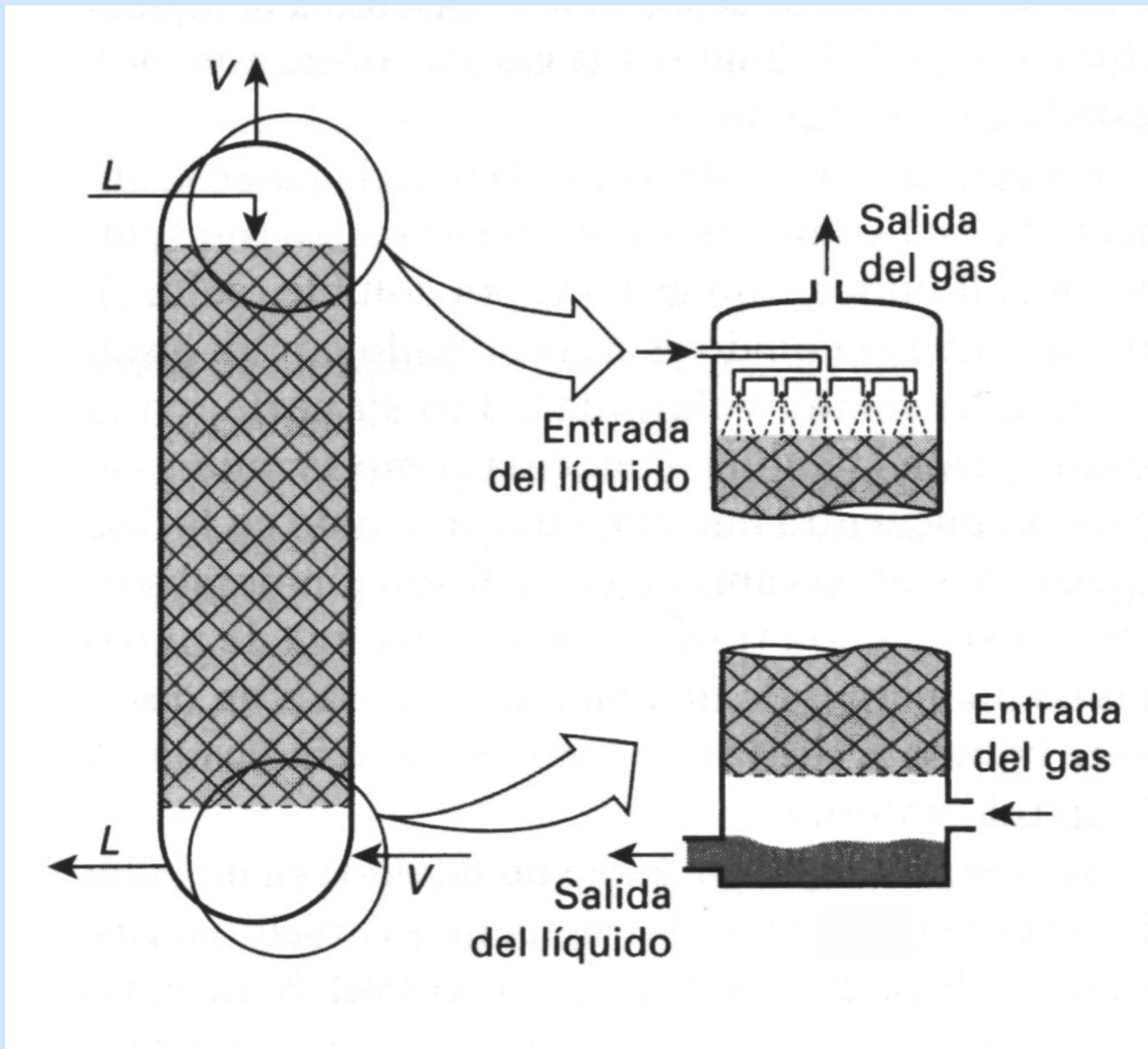


Figura 6.13: Columna de relleno.

Procesos con membranas (Figura 6.14) (Materia; membranas):

En estos procesos existe un medio ajeno al sistema que actúa como barrera de separación y que es atravesado por el componente que se separa, pero no por los demás.

- ***Difusión de gases:***

- Separación de gases basada en la diferencia de difusividades efectivas de los componentes de la mezcla, que dependen del peso molecular del gas y del tamaño de los poros de la membrana.
- *Separación de los isótopos del uranio.*

- ***Permeación de gases:***

- Separación de gases basada en la diferencia de difusividad y solubilidad de los componentes de la mezcla a través de una membrana sólida no porosa.
- *Separación de helio del gas natural.*

- **Diálisis:**

- Separación de moléculas de distinto tamaño contenidas en líquidos a través de membranas porosas.
- *Reducción del contenido alcohólico de la cerveza.*

- **Ósmosis inversa:**

- Separación de disolventes a través de membranas semipermeables que permiten su paso, pero no el de solutos de bajo peso molecular, aplicando gradientes de presión superiores e inversos a la presión osmótica de la disolución.
- *Separación del agua de las sales en la potabilización del agua de mar.*

- **Ultrafiltración:**

- Separación de compuestos basada en su tamaño, forma o estructura química de su molécula, propiedades que son discriminadas por ciertas membranas poliméricas semipermeables.
- *Separación de sustancias coloidales en procesos de producción de vinos.*

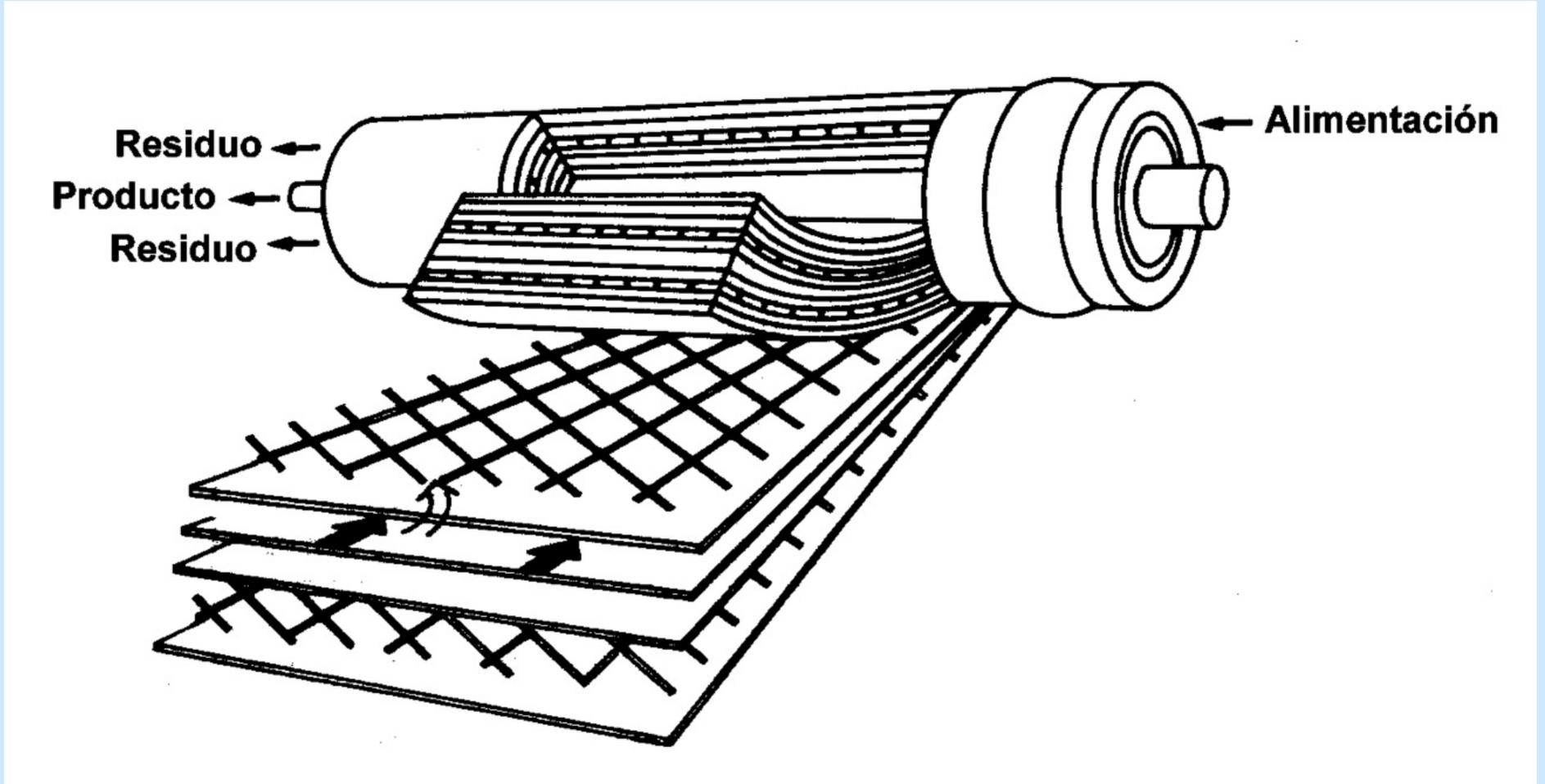


Figura 6.14: Cartucho para ósmosis inversa.

Evaporación (Figura 6.15) (Energía; líquido - vapor):

Separación de los componentes volátiles de una disolución en la que el soluto no es volátil, por generación de su vapor a partir de la misma mediante calefacción.

Concentración de zumos de fruta por eliminación del agua.

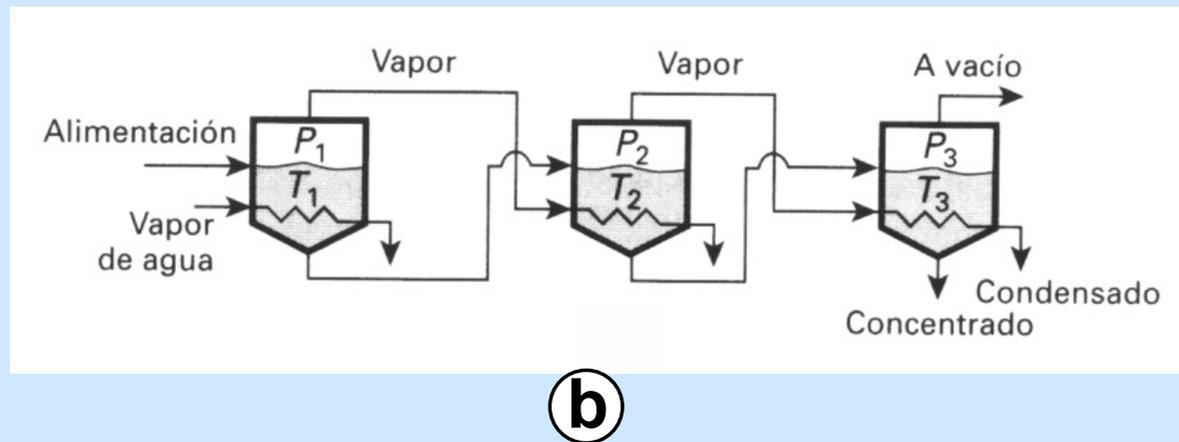
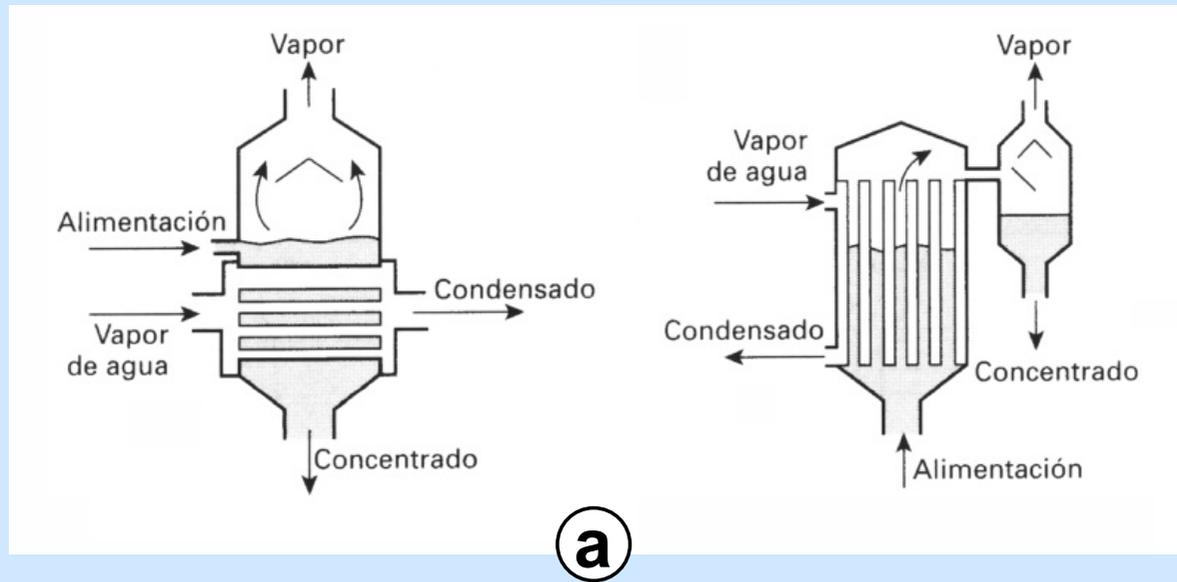


Figura 6.15:

- a) Evaporadores de tubos.
- b) Evaporación en múltiple efecto.

Secado / Liofilización / Sublimación (Figura 6.16)

(Materia + energía; sólido - gas):

Secado:

Separación de un líquido que impregna un sólido mediante su vaporización en un gas, normalmente aire, ajeno al mismo.

Eliminación del agua de forrajes para su ensilado.

Liofilización:

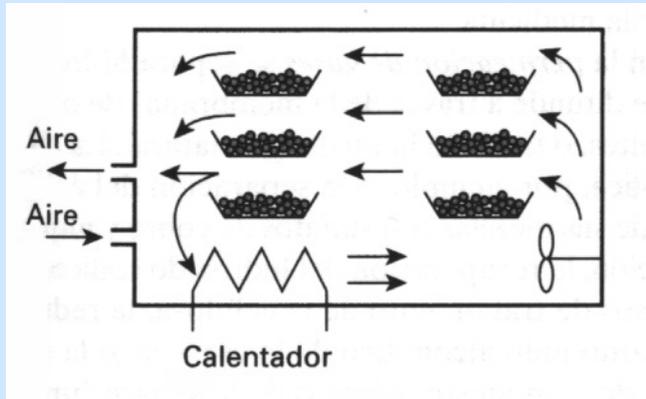
Separación de un líquido que impregna un sólido mediante su congelación y posterior sublimación a vacío.

Deshidratación de extracto de café para la obtención de café instantáneo sólido.

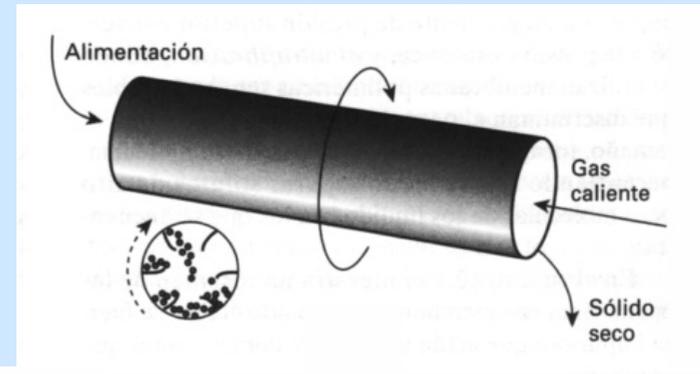
Sublimación:

Separación de un componente de una mezcla sólida mediante su vaporización directa (sin pasar por estado líquido) por calefacción en el seno de una corriente gaseosa (frecuentemente aire) ajena a aquélla.

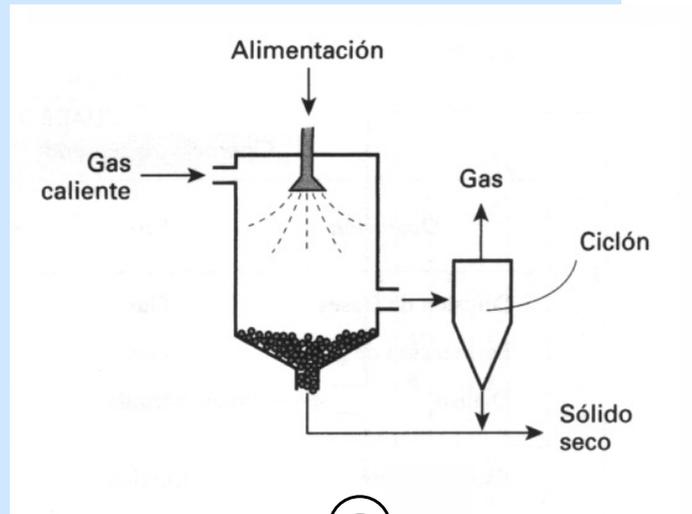
Separación del yodo contenido en las algas marinas (sólido a vapor); purificación de azufre (vapor a sólido).



a



b



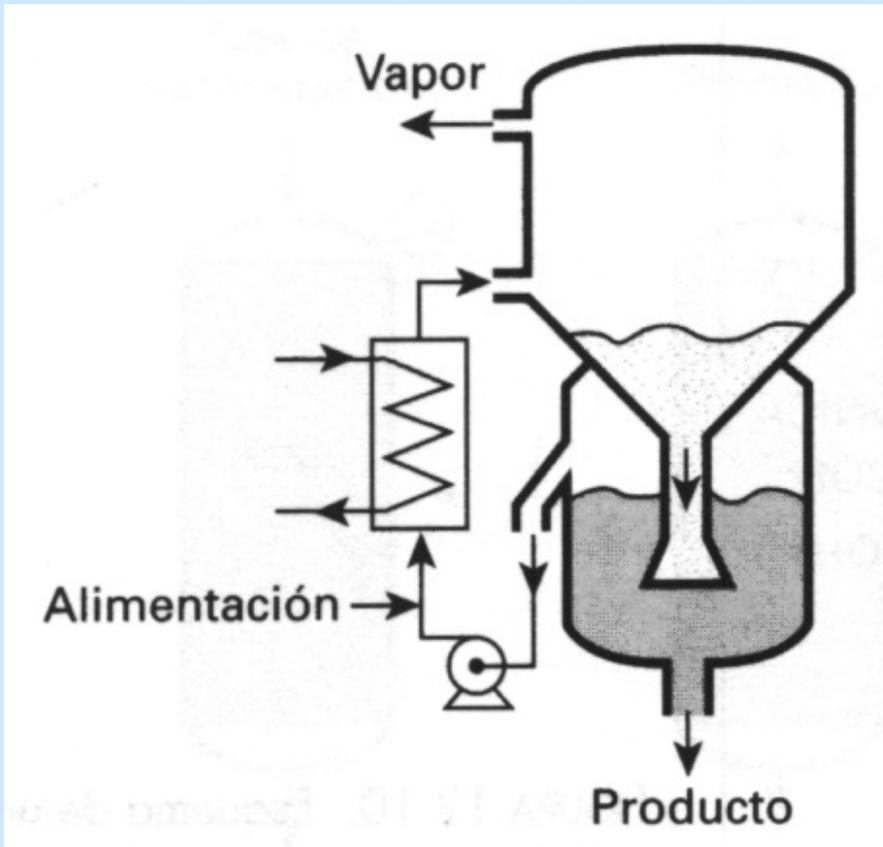
c

Figura 6.16: Secaderos:
 a) De bandejas.
 b) Rotativo.
 c) De pulverización.

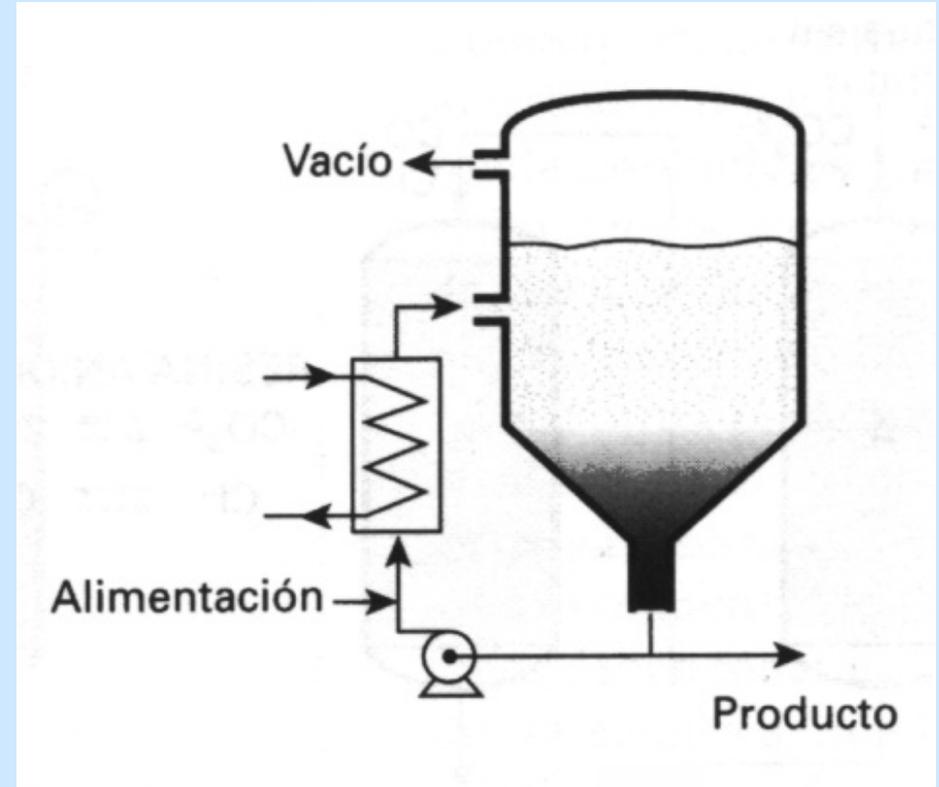
Cristalización (Figura 6.17) (Materia + energía; sólido - líquido):

Separación de un componente de una disolución líquida mediante contacto con una fase sólida generada a partir de aquélla.

Obtención de cloruro sódico a partir del agua del mar.



a



b

Figura 6.17: Cristalizadores continuos:
 a) Cristalizador- evaporador.
 b) Cristalizador de vacío.

Interacción aire - agua (Figura 6.18) (Materia + energía; líquido - gas):

Las operaciones de separación incluidas en las operaciones de interacción aire - agua son:

Deshumidificación de aire: separación parcial del vapor de agua contenido en un aire húmedo mediante agua a una temperatura suficientemente baja.

Humidificación de aire: incorporación de vapor de agua a un aire de baja humedad mediante agua a una temperatura suficientemente elevada.

Acondicionamiento de aire.

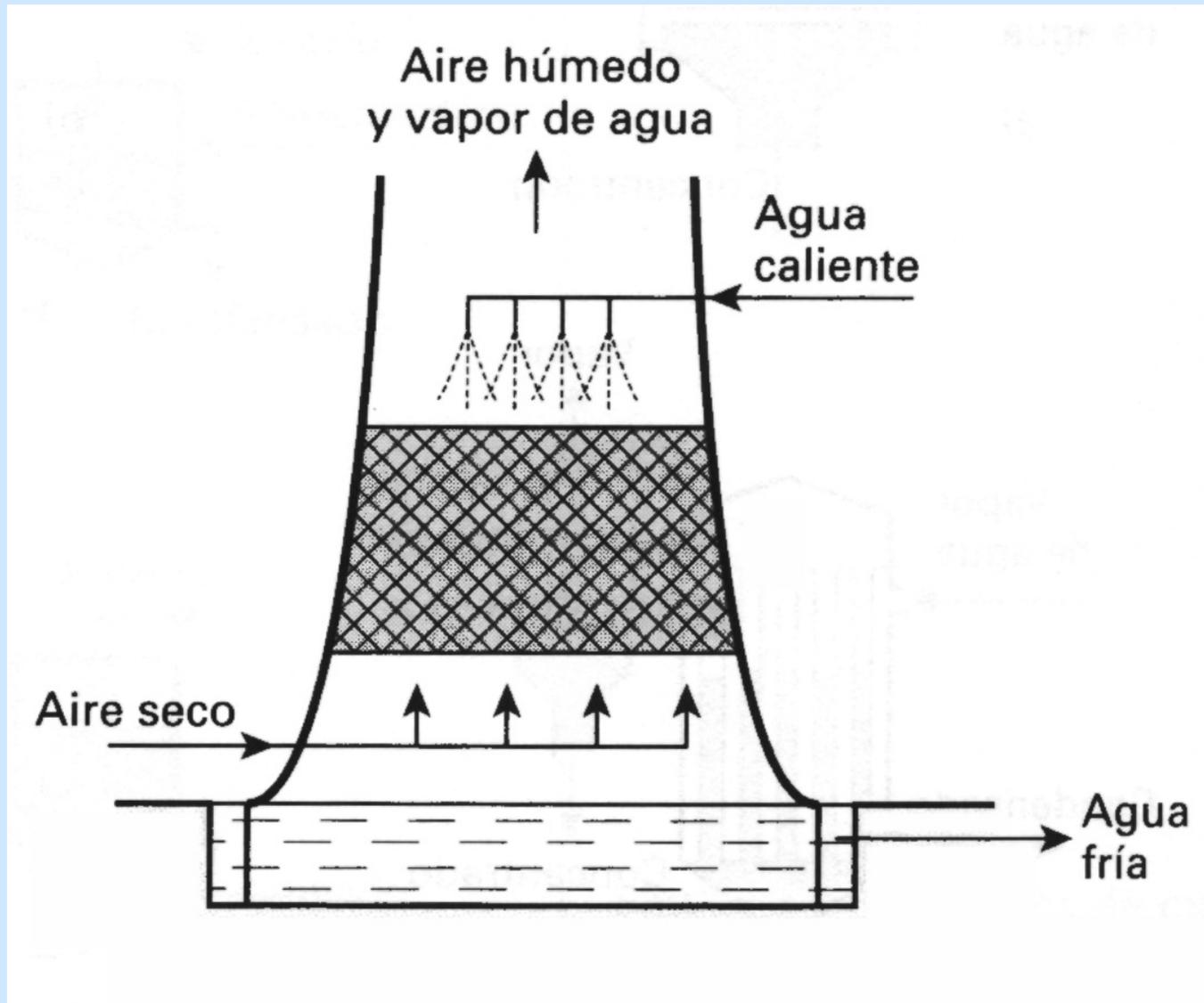
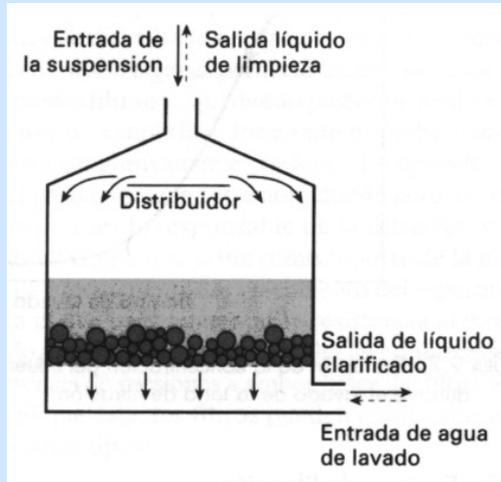


Figura 6.18: Torre de enfriamiento de agua.

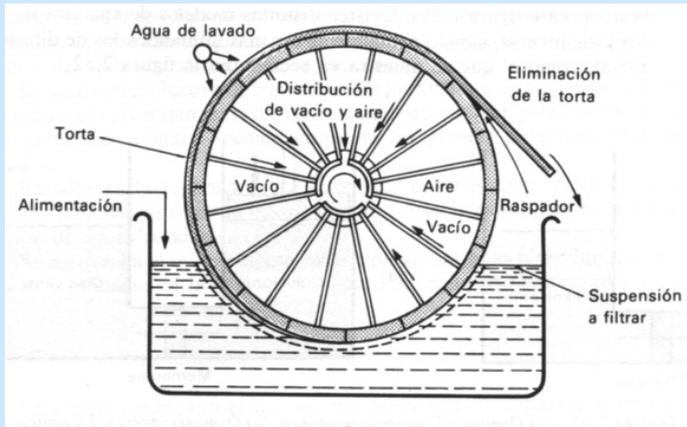
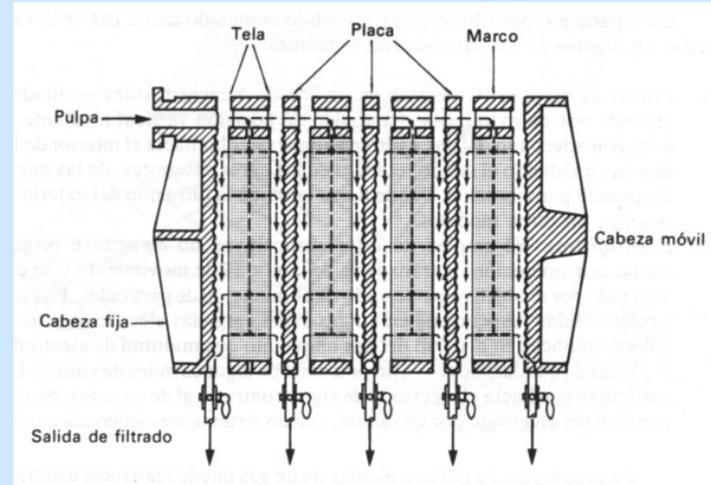
Filtración (Figura 6.19) (Momento; sólido - fluido):

Separación de las partículas sólidas o líquidas suspendidas en un fluido mediante su retención sobre un material poroso que es atravesado por el fluido.

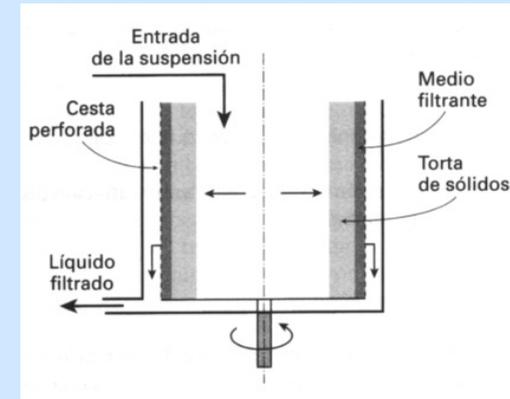
Clarificación de aguas residuales mediante lechos de arena.



a



b



c

Figura 6.19: Filtros:
 a) De presión.
 b) De vacío.
 c) Centrifugo.

Sedimentación (Figura 6.20) (Momento; sólido - fluido):

Separación de partículas sólidas o líquidas de un fluido mediante la actuación de la gravedad.

Separación de la levadura en exceso en la fermentación de cerveza.

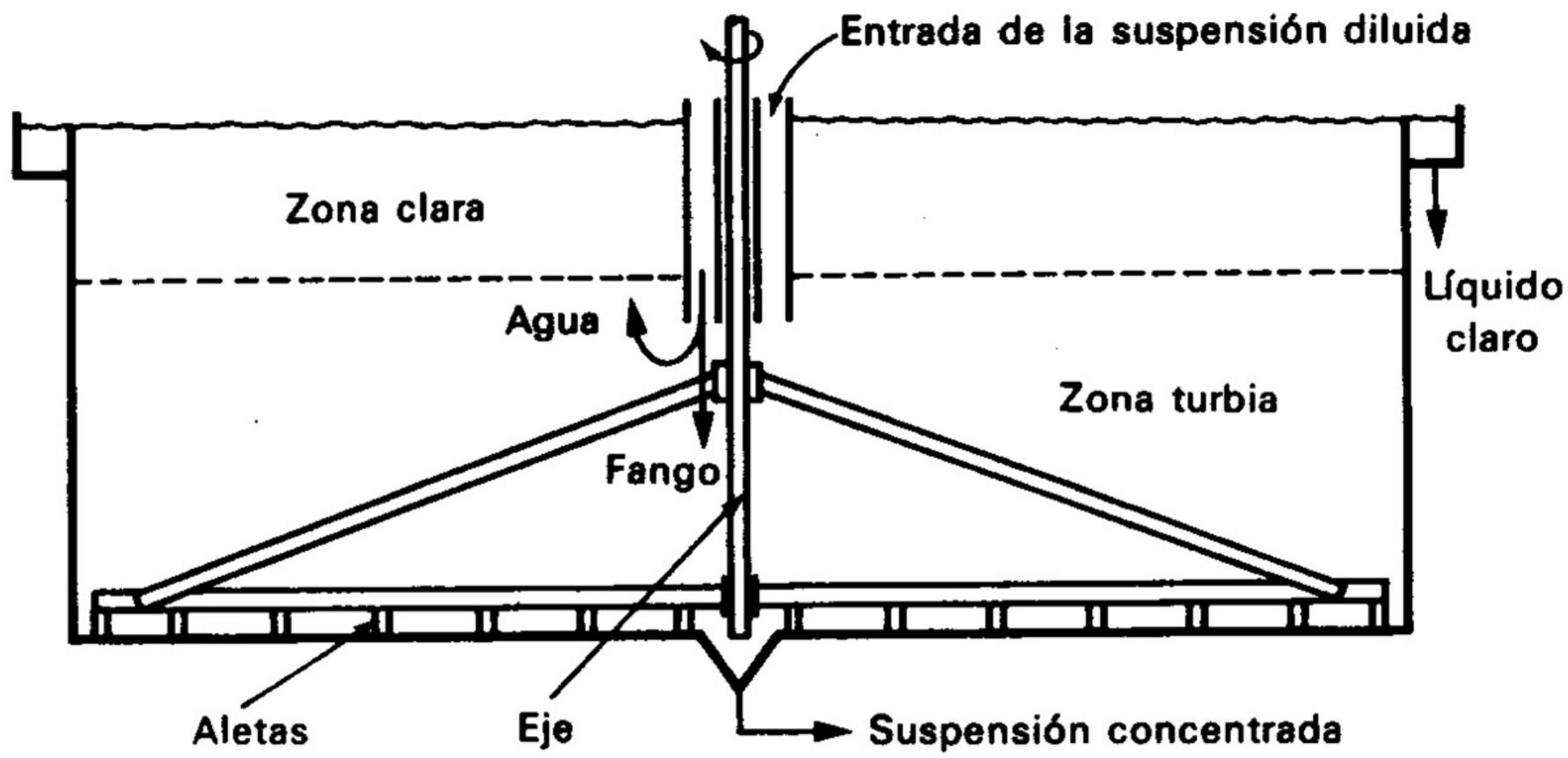
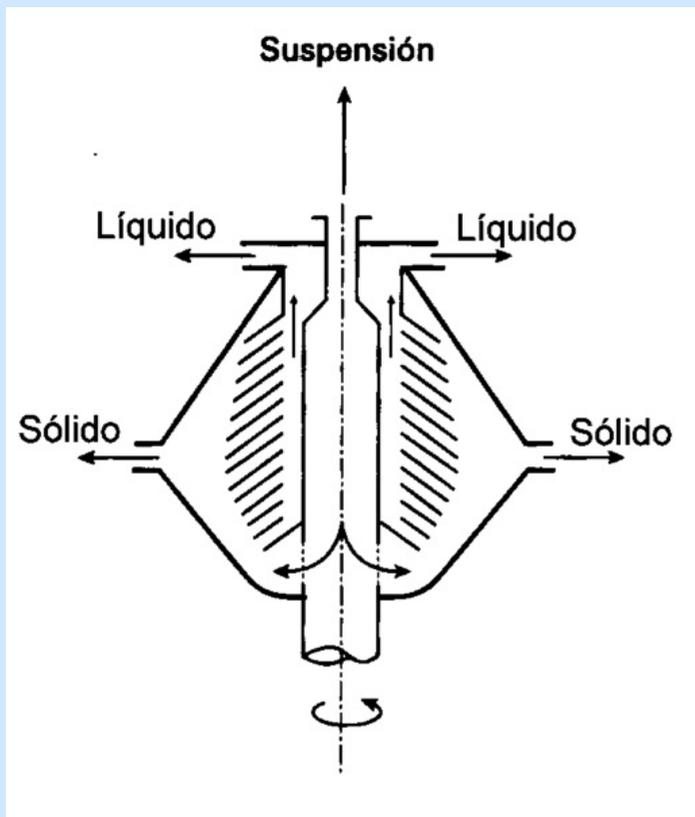


Figura 6.20: Sedimentador

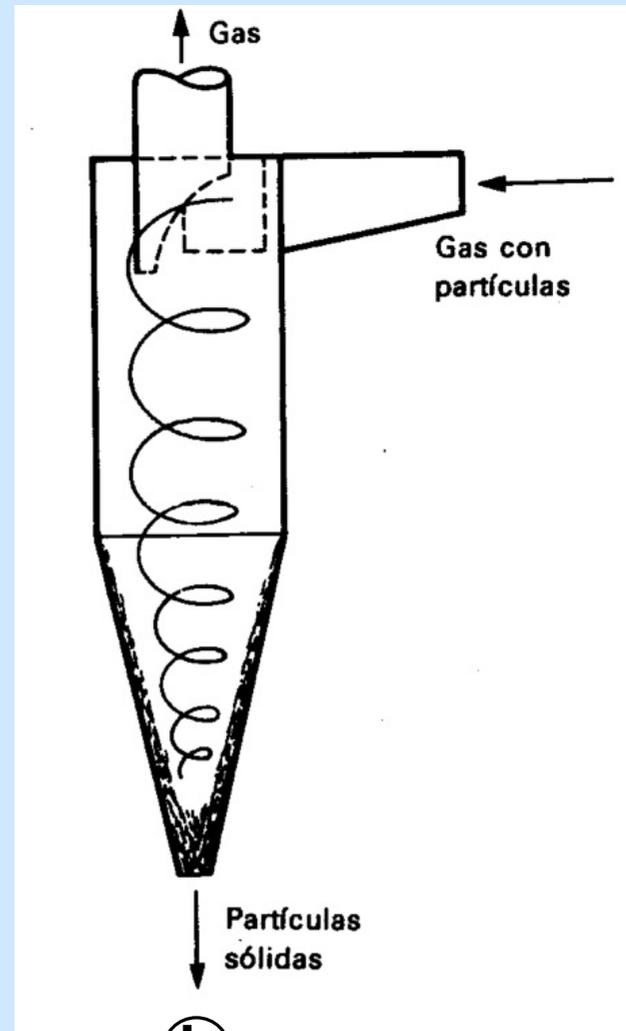
Centrifugación (Figura 6.21) (Momento; sólido -fluido):

Separación de partículas sólidas o líquidas de un fluido aplicando una fuerza superior a la de la gravedad, acelerando el fluido mediante un movimiento giratorio; se trata en realidad de un proceso de sedimentación forzada.

Separación de la nata de la leche.



a



b

Figura 6.21: Aparatos de centrifugación:
 a) Centrífuga de discos.
 b) Ciclón.

Flotación (Figura 6.22) (Momento; sólido - líquido):

Separación de los componentes sólidos de una suspensión líquida por su diferencia de densidad y propiedades superficiales, que generalmente se potencian añadiendo “agentes de flotación”, como aire o agentes tensoactivos.

Separación de grasas minerales durante el tratamiento primario de las aguas residuales.

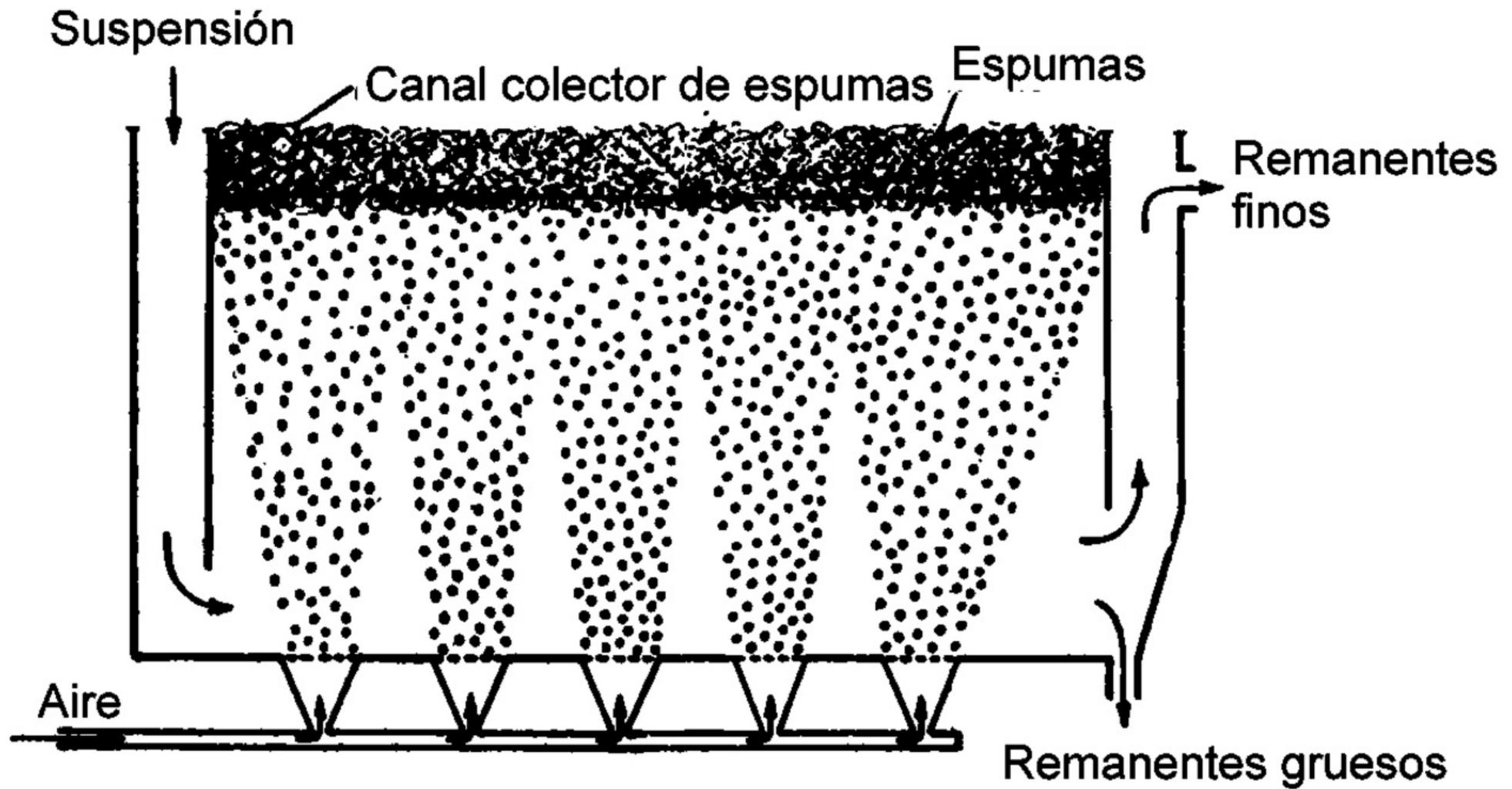
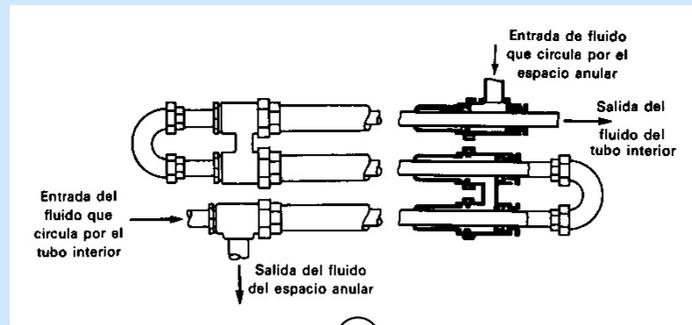


Figura 6.22: Célula neumática de flotación.

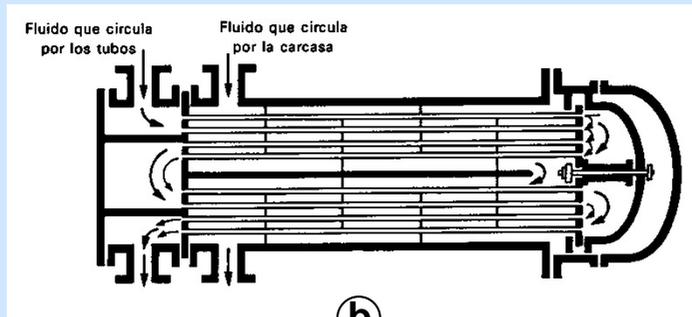
Intercambio de calor sin cambio de fase (Figura 6.23)

(Transmisión de calor):

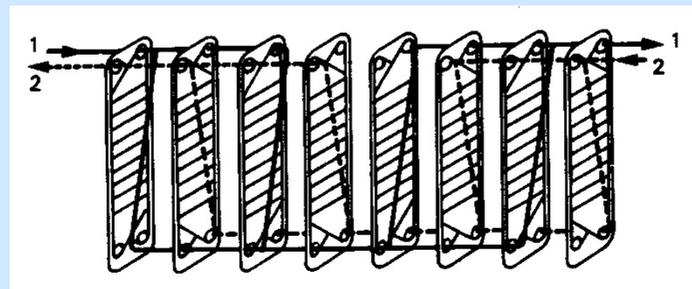
Los equipos donde se intercambia calor entre fluidos sin que se produzca cambio de fase se denominan **cambiadores de calor** y son unos de los dispositivos más utilizados en los procesos químicos, donde siempre es necesario proporcionar a las distintas corrientes sus niveles térmicos adecuados, además de intentar conseguir el máximo ahorro de energía.



(a)



(b)



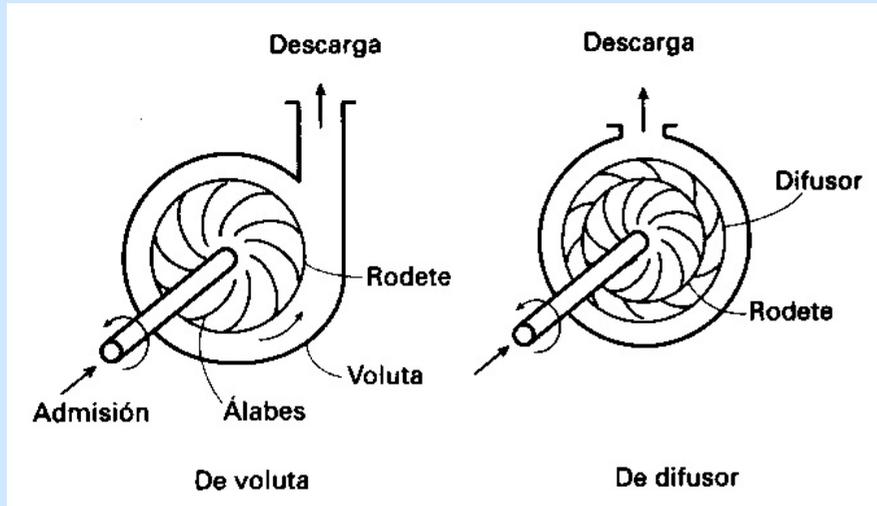
(c)

Figura 6.23: Cambiadores de calor:

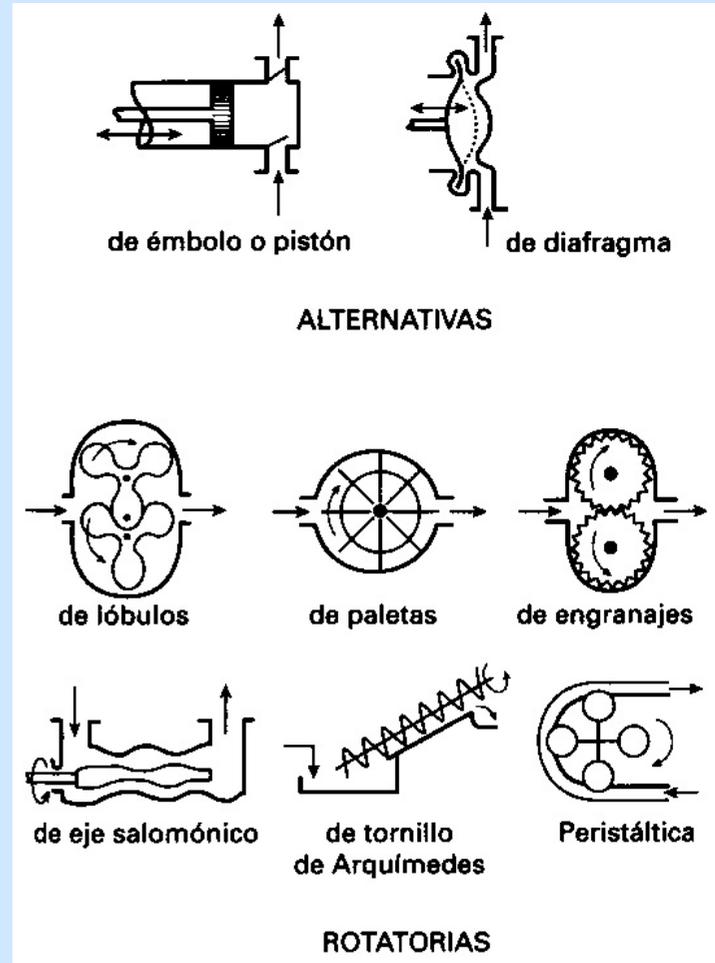
- a) De doble tubo.
- b) De carcasa y tubos (2-4).
- c) De placas.

Impulsión de líquidos (Figura 6.24) (Flujo de fluidos):

Los aparatos utilizados para la impulsión de líquidos se denominan **bombas**, que presentan en cada caso unas características determinadas, como su *capacidad* (caudal que pueden suministrar) y su *carga* (altura a la que pueden impulsar un líquido).



a



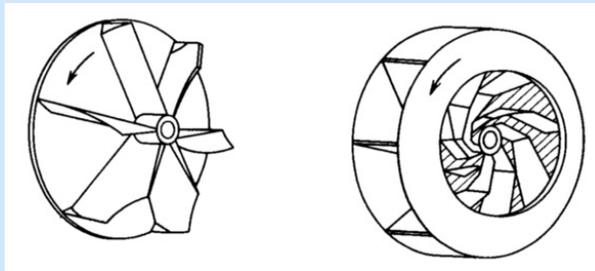
b

Figura 6.24: Bombas:

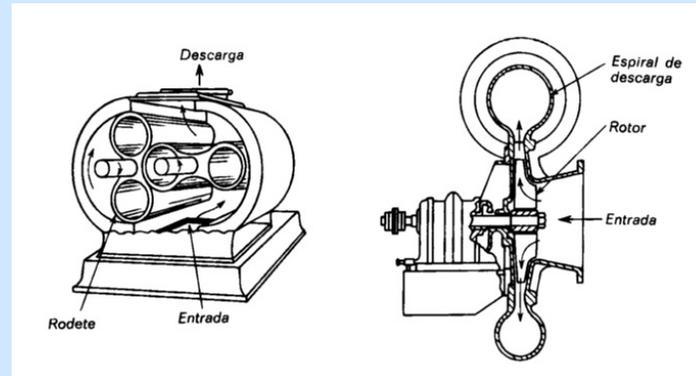
- a) Centrífugas.
- b) Volumétricas.

Impulsión de gases (Figura 6.25) (Flujo de fluidos):

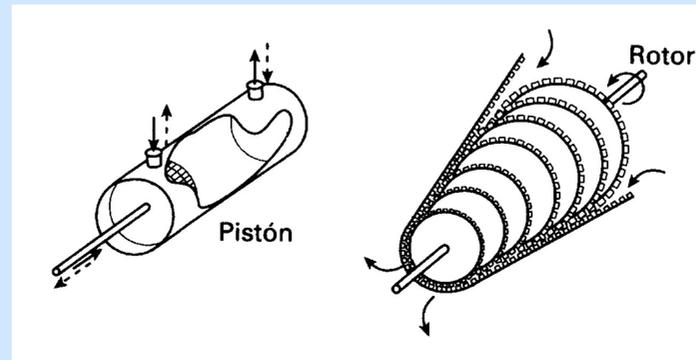
Los aparatos utilizados para impulsar gases se clasifican según el intervalo de aumento de presión que pueden producir; las presiones más altas pueden conseguirse con más de una etapa de operación.



a



b



c

Figura 6.25: Aparatos de impulsión de gases:
 a) Rodetes de ventiladores.
 b) Soplantes.
 c) Compresores.

Regulación de flujo (Figura 6.26) (Flujo de fluidos):

Para conseguir que por una conducción circule una cantidad determinada de fluido se regula su caudal mediante **válvulas**, dispositivos que introducen un rozamiento adicional en el sistema que restringe el caudal que circula.

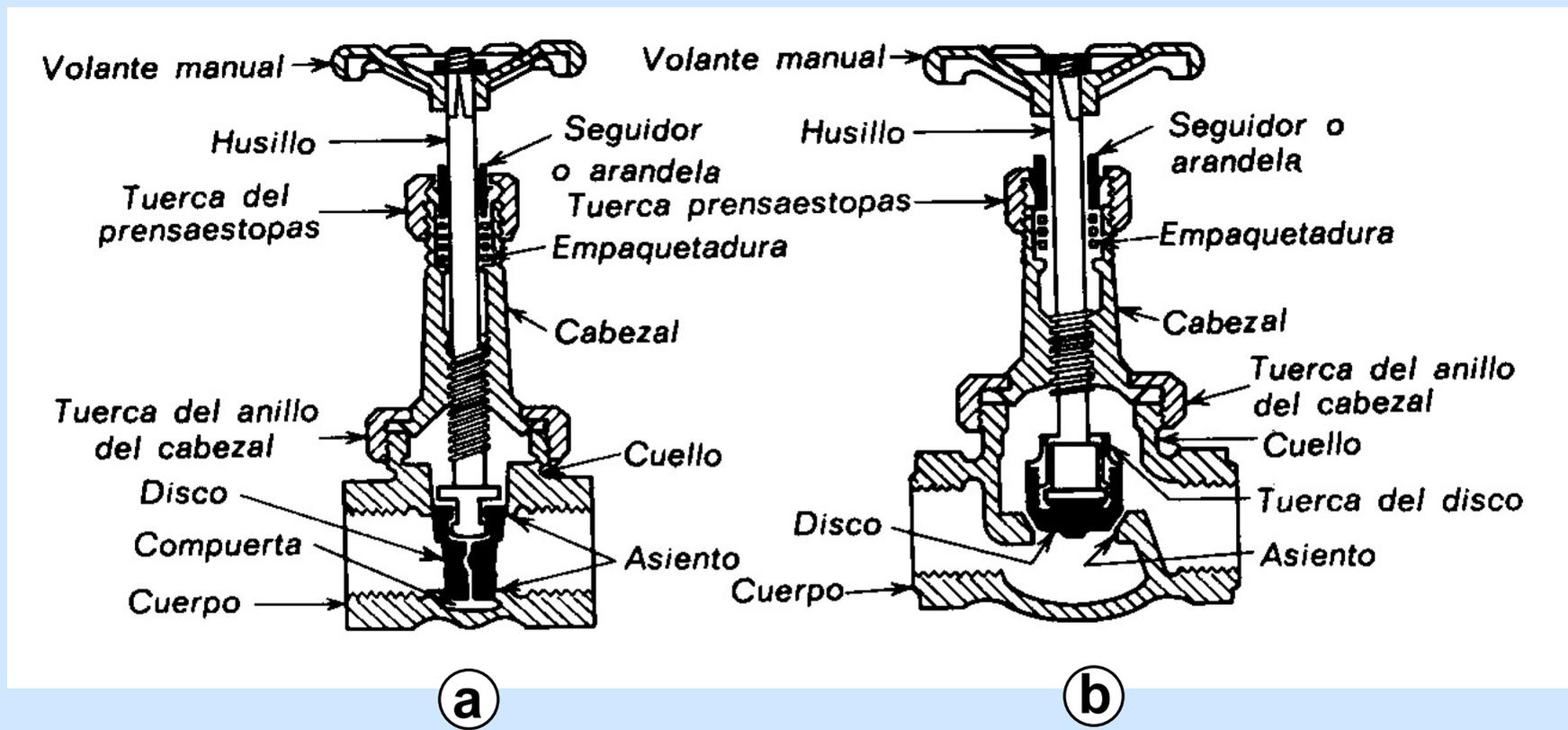


Figura 6.26: Válvulas:

- a) De compuerta.
- b) De asiento.

Fluidización (Figura 6.27) (Flujo de fluidos):

La fluidización se aplica a escala industrial a numerosos procesos, ya que la utilización de lechos fluidizados permite un elevado grado de mezcla, mayor facilidad de operación en continuo y un volumen más reducido para una capacidad de tratamiento determinada

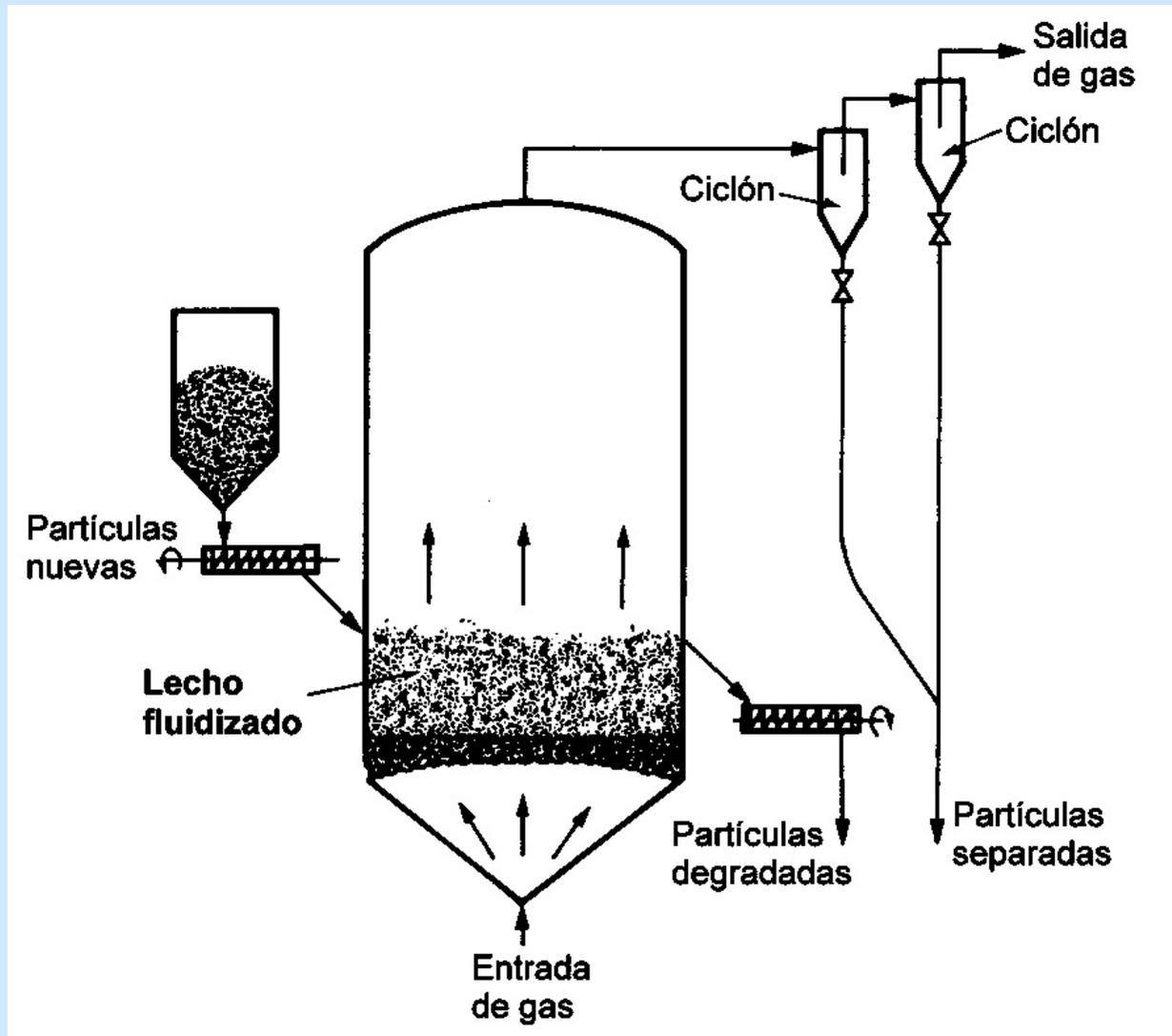


Figura 6.27: Fluidización.