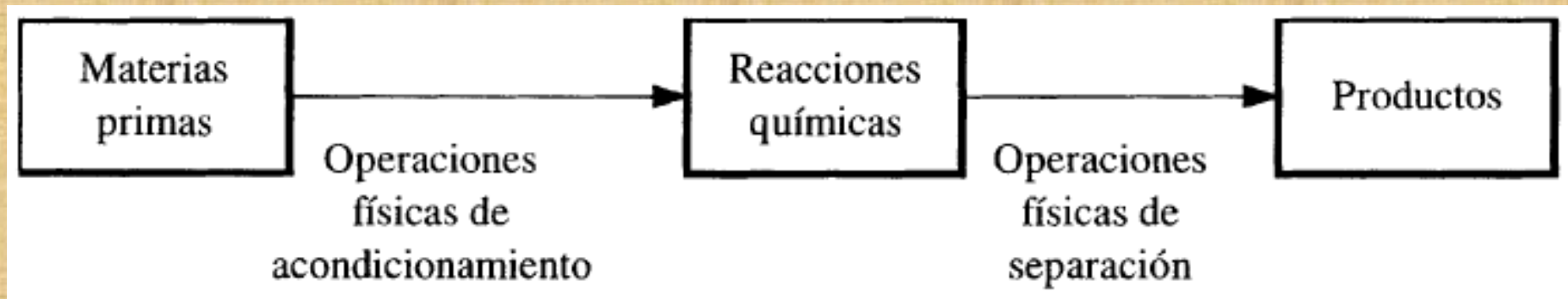


## OPERACIONES UNITARIAS, CONCEPTOS GENERALES

Cualquier proceso que se pueda diseñar consta de una serie de operaciones físicas y químicas. Generalmente un proceso puede descomponerse en la siguiente secuencia:



Cada una de estas operaciones es una operación unitaria. Por lo tanto, todo proceso químico conducido en cualquier escala puede descomponerse en una serie ordenada de lo que pudieran llamarse operaciones unitarias, como pulverización, secado, cristalización, filtración, evaporación, destilación, etc.

Con esto, se reduce la complejidad del estudio de los procesos industriales, pues que, bastará con estudiar el grupo de las principales operaciones unitarias existentes. Un proceso determinado será, por tanto, la combinación de operaciones unitarias.

## Clasificación de las operaciones unitarias

Cada operación unitaria tiene como objetivo el modificar las condiciones de una determinada cantidad de materia en forma más útil a nuestros fines. Este cambio puede hacerse principalmente por tres caminos:

- Modificando su masa o composición (separación de fases, mezcla,...)
- Modificando el nivel o calidad de la energía que posee (enfriamiento, vaporización, aumento de presión, ...)
- Modificando sus condiciones de movimiento (aumentando o disminuyendo su velocidad o su dirección).

De acuerdo con estas ideas, normalmente se clasifican las operaciones unitarias en función de la propiedad materia, energía o cantidad de movimiento que se transfiere en la operación.

De acuerdo con el criterio de cuál es la transferencia más relevante, las operaciones unitarias se clasifican en:

- operaciones de transferencia de materia
- operaciones de transmisión de energía
- operaciones de transmisión simultánea de materia y energía
- operaciones de transporte de cantidad de movimiento

## Equilibrio y fuerzas impulsoras

La fuerza impulsora, causante de que la transferencia de propiedad se produzca o cese. Cuando la fuerza impulsora es nula, el sistema se encuentra en equilibrio. Las diferencias entre la condición real del sistema y la de equilibrio determinan las fuerzas impulsoras de los distintos fenómenos de transporte, que transcurren con velocidades proporcionales a las mismas, e inversamente proporcionales a las resistencias que opone el sistema.

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Cantidad de propiedad} \\ \text{transferida por unidad} \\ \text{de área y de tiempo} \end{array} \right] = \frac{[Fuerza impulsora]}{[Resistencia]}$$

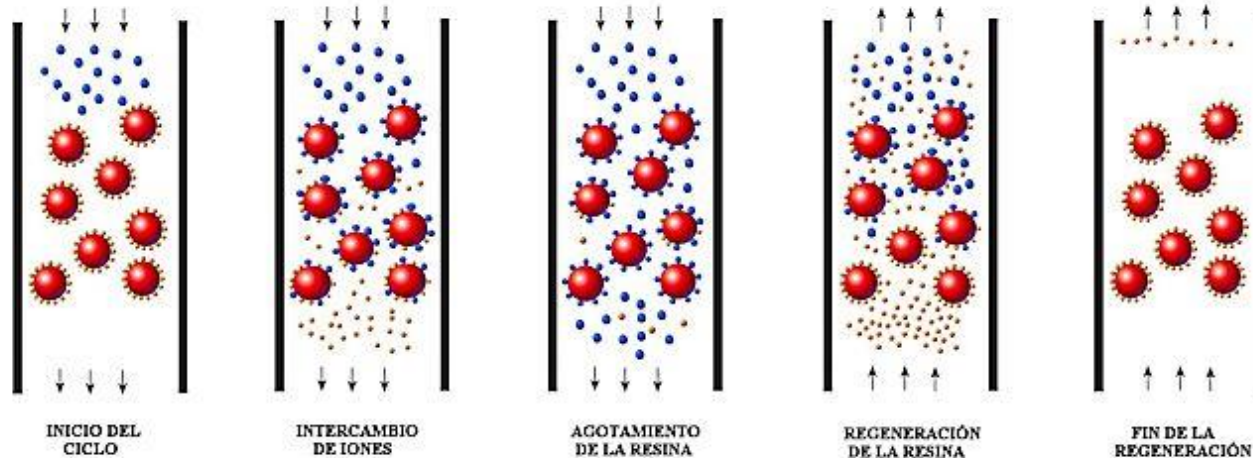
por ejemplo, para la transferencia de materia, si el sistema es monofásico, la condición de equilibrio será la uniformidad de concentraciones de todos los componentes. La fuerza impulsora que propicia la transferencia existe, mientras exista un gradiente de concentración. Para un sistema bifásico, como por ejemplo el integrado por una solución acuosa de yodo y cloroformo, el yodo se transfiere desde la capa acuosa a la clorofórmica, no terminando la transferencia con la uniformización de la concentración de yodo en todo el sistema, sino que prosigue hasta alcanzarse un estado de equilibrio en el que la concentración de yodo en el cloroformo es unas 50 veces superior a su concentración en la capa acuosa,.



## Operaciones Unitarias controladas por transferencia de materia

Como se ha comentado en el caso del yodo y del cloroformo, cuando se ponen en contacto dos fases que no están en equilibrio desde el punto de vista de un determinado componente, éste se transfiere de una fase a otra, tendiendo al equilibrio. Aprovechando esta difusión entre fases se pueden diseñar distintos tipos de aparatos que pongan en íntimo contacto dos fases distintas, con el objetivo general de conseguir la separación de uno de los componentes de una fase, mediante la acción de la otra. Ejemplo:

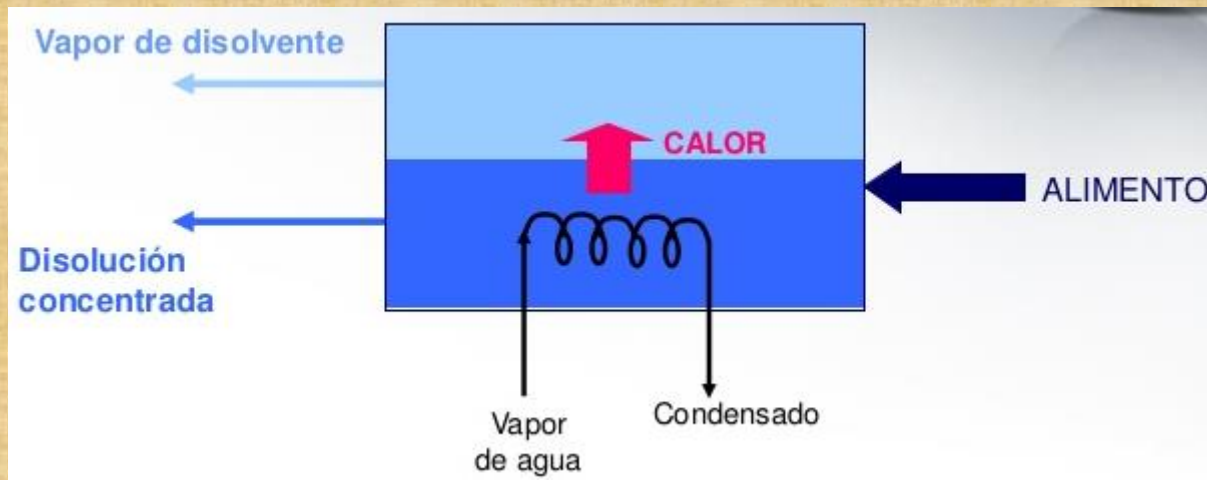
Intercambio iónico: El intercambio iónico es una operación unitaria que consiste en la sustitución de uno o varios iones de una disolución por otros que forman inicialmente parte de la estructura de un sólido (resina de intercambio iónico). Los poros de una resina contienen iones positivos o negativos formando una sal que son intercambiados por los iones positivos o negativos de la solución. Existen resinas aniónicas y catiónicas que se colocan en serie.



## Operaciones unitarias controladas por transmisión de calor

Estas operaciones son sólo una parte de aquéllas controladas por la transferencia de energía, ya que un sistema y sus alrededores pueden intercambiar energía en forma de calor o en forma de trabajo. Ejemplos:

Evaporación/Condensación: La evaporación es una operación unitaria consistente en la separación de una mezcla líquida, generando a partir de la misma, por ebullición, un vapor integrado por los componentes más volátiles de aquélla. Se utiliza para concentrar disoluciones obteniéndose vapor del disolvente. Ej. Concentración de la leche. Conceptualmente, la evaporación es análoga a la destilación simple. Se diferencian en que en la evaporación, el alimento contiene un soluto cuyo punto de ebullición está muy por encima del punto de ebullición del disolvente, con lo que los vapores obtenidos son de disolvente puro.



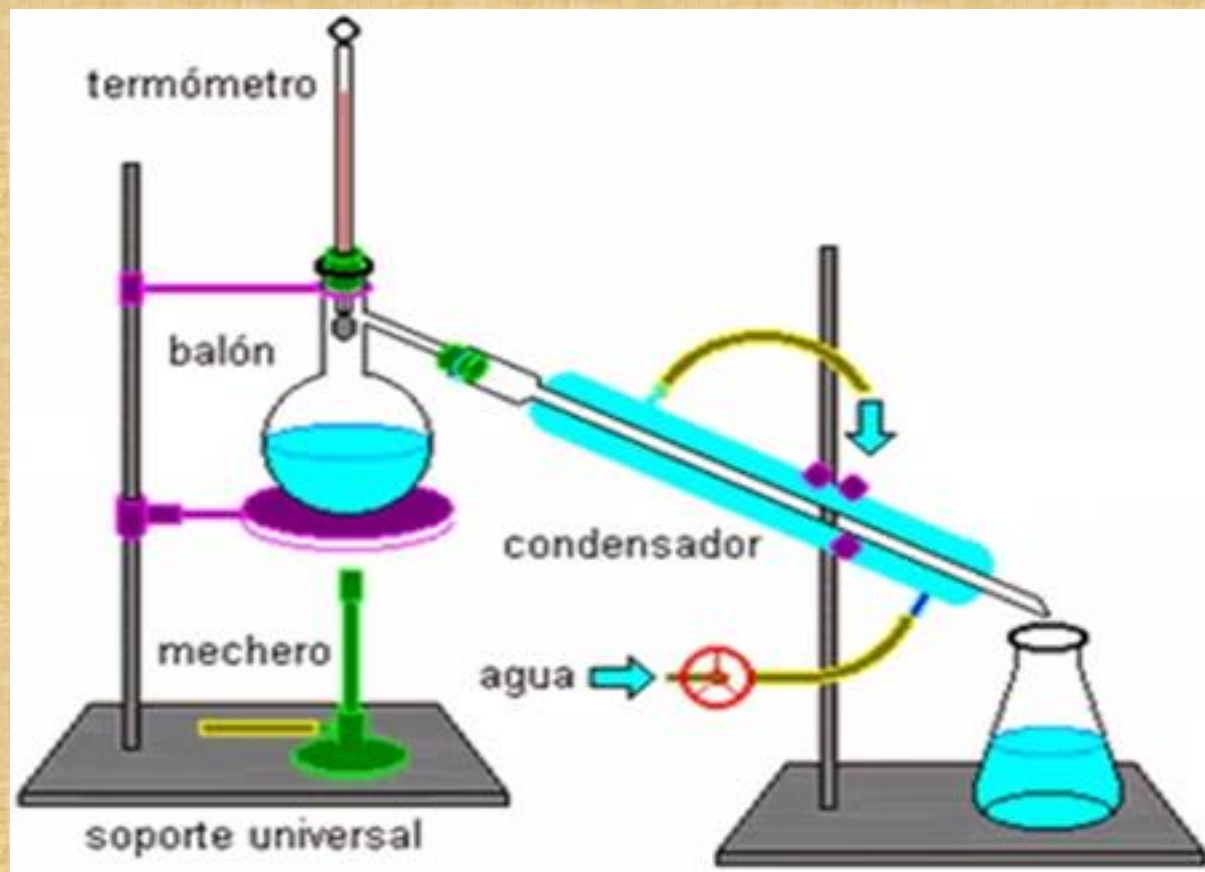


## Operaciones unitarias controladas por la transferencia simultanea de materia y calor

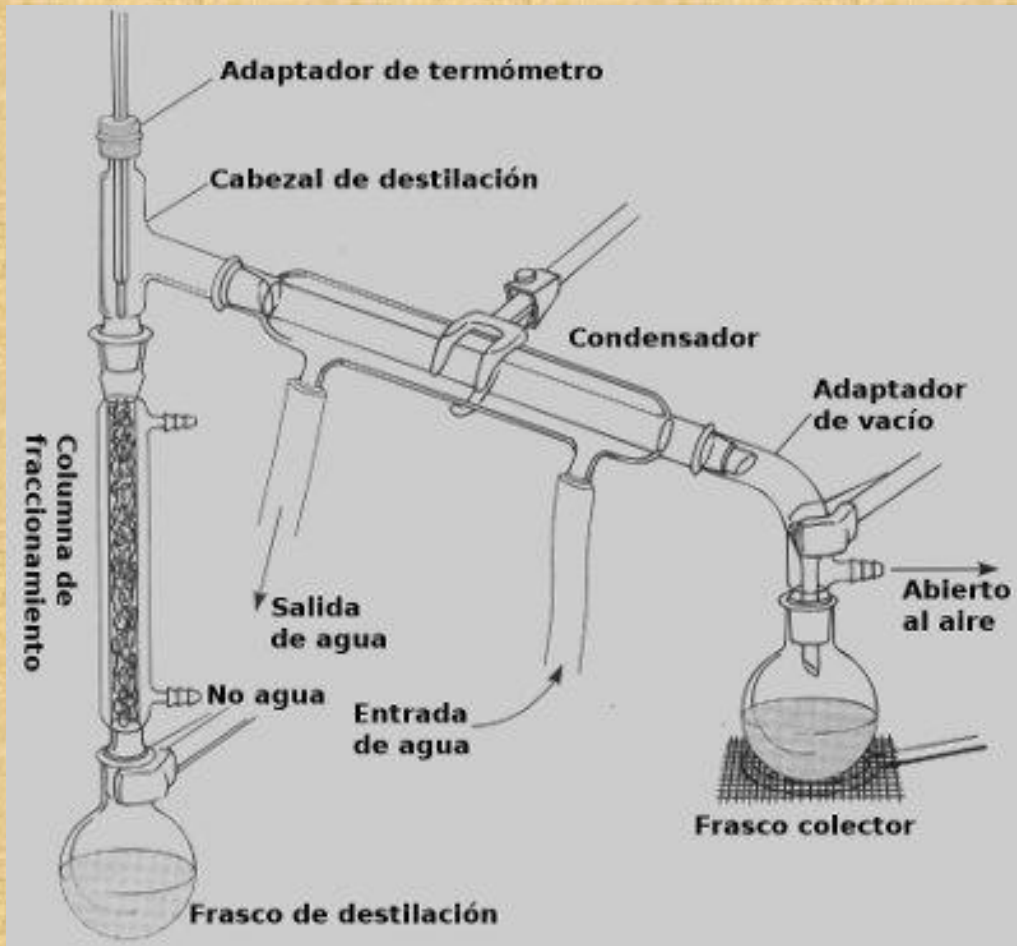
Existen operaciones en las que se da simultáneamente una transferencia de materia y una transmisión de calor, siendo ambos procesos controlantes del proceso de la operación. Ejemplo:

Destilación: La destilación es una operación unitaria que consiste en separar dos o más componentes de una mezcla líquida, aprovechando la diferencia de volatilidades de los componentes que forman la mezcla. Esto se consigue seleccionando la temperatura y presión de tal manera, que la fase líquida y vapor tengan concentraciones relativas diferentes. Cuanto mayor sea la diferencia de volatilidades entre los componentes de la mezcla, mayor será la diferencia entre la composición del líquido y del vapor que se generan.

Hay dos tipos básicos de operación de destilación: destilación sin reflujo o destilación simple y destilación con reflujo o rectificación. La destilación simple es la operación de hervir el líquido de un recipiente -la caldera- condensándose aparte los valores que constituirán el destilado, quedando en la caldera el residuo. Realmente no es una operación de transferencia de materia, pues el líquido y el vapor que se genera están en equilibrio.



La destilación con reflujo o rectificación se lleva a cabo en una columna, donde el vapor que abandona la cabeza de la columna se condensa, y una fracción del líquido condensado se devuelve a la columna, lo que constituye el reflujo; el resto se retira como producto destilado. En el interior de la columna se ponen en contacto el vapor ascendente con el líquido descendente. En un nivel dado de la columna estas dos corrientes se ponen en contacto entre sí, por lo que hay una transferencia de materia: pasan los componentes más volátiles del líquido al vapor, y los componentes menos volátiles del vapor al líquido, con lo que el vapor se enriquece en componentes volátiles a medida que asciende por la columna.





## Resumen

Base molecular de la separación	Nombre del proceso	Parámetros clave de la separación	Estado físico de los productos en la separación
Tamaño Forma Momento dipolar Polarizabilidad Carga	Membranas. Se incluye : Difusión gaseosa Diálisis Electrodiálisis Osmosis Osmosis inversa Ultrafiltración Pervaporación Evaporación Expansión flash	Permeabilidad de las membranas a las especies que se difunden  Calor latente del disolvente Presión de vapor del disolvente	Gases Disoluciones Disoluciones Disoluciones Disoluciones Líquido-vapor Líquido-vapor Líquido-vapor
Tamaño Forma Momento dipolar Polarizabilidad	Destilación  Agotamiento	Volatilidades relativas o puntos de ebullición  Volatilidades relativas o puntos de ebullición	Líquido-vapor  Líquido-gas
Forma Momento dipolar Polarizabilidad	Extracción Absorción Lixiviación Adsorción	Solubilidades Solubilidades Solubilidades Isotermas de adsorción	Líquidos Gas-líquido Sólido-disolución Fluidos
Composición química	Cromatografía	Índices de retención o coeficientes de partición	Disoluciones o gases
Tamaño Forma Carga	Electroforesis  Intercambio iónico	Movilidad eléctrica  Coeficientes de partición o potenciales de electrodo	Disoluciones  Disoluciones



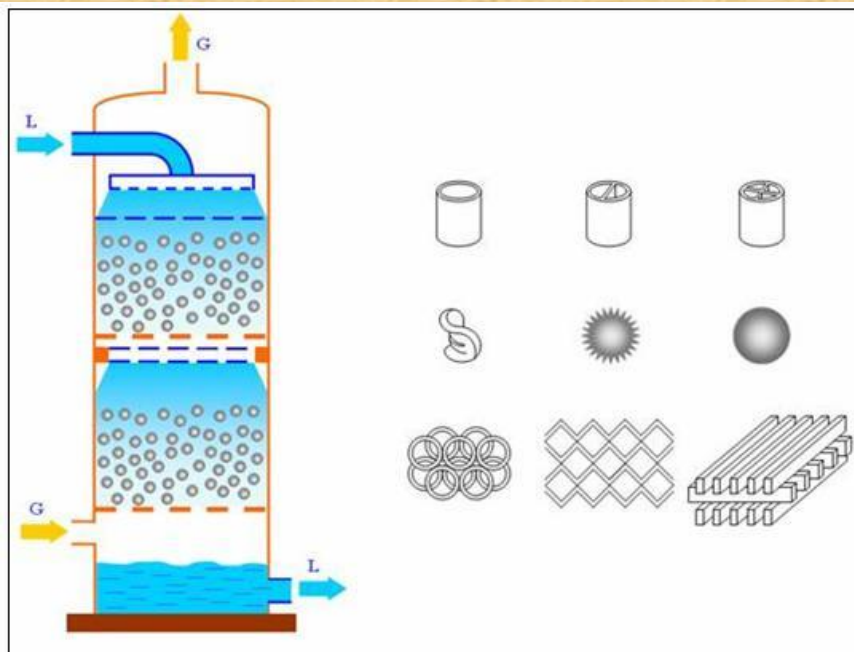
Base molecular de la separación	Nombre del proceso	Parámetros clave de la separación	Estado físico de los productos en la separación
Tamaño Forma	Cristalización  Desublimación  Difusión de barrido Destilación molecular Filtración de geles  Ultracentrifugación  Fusión por zonas	Calores latentes y solubilidades en sólidos cristalinos Calores latentes y solubilidades en sólidos cristalinos Difusividades de los gases Peso molecular Índices de retención o velocidad intrínseca x peso molecular Coeficientes de sedimentación Solubilidades en un sólido cristalino	Sólido-disolución  Sólido-vapor  Gases Vapor-líquido Disoluciones  Disoluciones o líquido-suspensión sólidos
Tamaño Carga	Espectrometría de masas	Relación carga por unidad de masa	Gas enrarecido
Tamaño	Secado de sólidos Flotación Liofilización Filtración Sedimentación Centrifugación	Calor latente de vaporización Densidades Calor de sublimación Resistencia de la torta Densidades Coeficientes de sedimentación	Sólido-vapor Suspensiones sólidas Sólido-vapor Líquido-sólido Sólido-líquido o suspensiones Líquido-sólido o suspensiones
Tamaño Carga Composición química	Difusión térmica	Difusividades térmicas	Líquidos o gases
Tamaño	Electrolisis o electrodeposición	Potenciales de electrodos	Disolución-gas o disolución-sólido
Composición química	Precipitación	Solubilidades en disoluciones	Líquido-suspensión
Carga	Precipitación electrostática	Constantes dieléctricas x tamaño	Sólido-gas
Polarizabilidad	Dielectroforesis	Constantes dieléctricas	Sólido-líquido
Momentos magnéticos	Separación magnética	Momento magnético	Sólido-líquido
Susceptibilidades magnéticas	Separación magnética de alto gradiente	Susceptibilidad magnética	Sólido-líquido o suspensiones

## Equipos para contacto entre fases

Al describir las distintas operaciones unitarias, ya se introdujeron algunas nociones sobre los aparatos más utilizados industrialmente. Estas operaciones requieren de dispositivos de contacto entre fases, los cuales son responsables de la capacidad del equipo, eficacia, dimensiones, tiempo, costos y también responsable de problemas tales como: inundación, canalización, formación de espuma, arrastre, goteo, etc. Ejemplos:

Columnas de relleno: El diseño de una columna de relleno supone las siguientes etapas:

1. Seleccionar el tipo y el tamaño del relleno.
2. Determinar el diámetro de la columna (capacidad) necesario en función de los flujos de líquido y vapor.
3. Determinar la altura de la columna que se necesita para llevar a cabo la separación específica.
4. Seleccionar y diseñar los dispositivos interiores de la columna: distribuidor del líquido de alimentación, redistribuidores de líquido, platos de soporte y de inyección del gas.

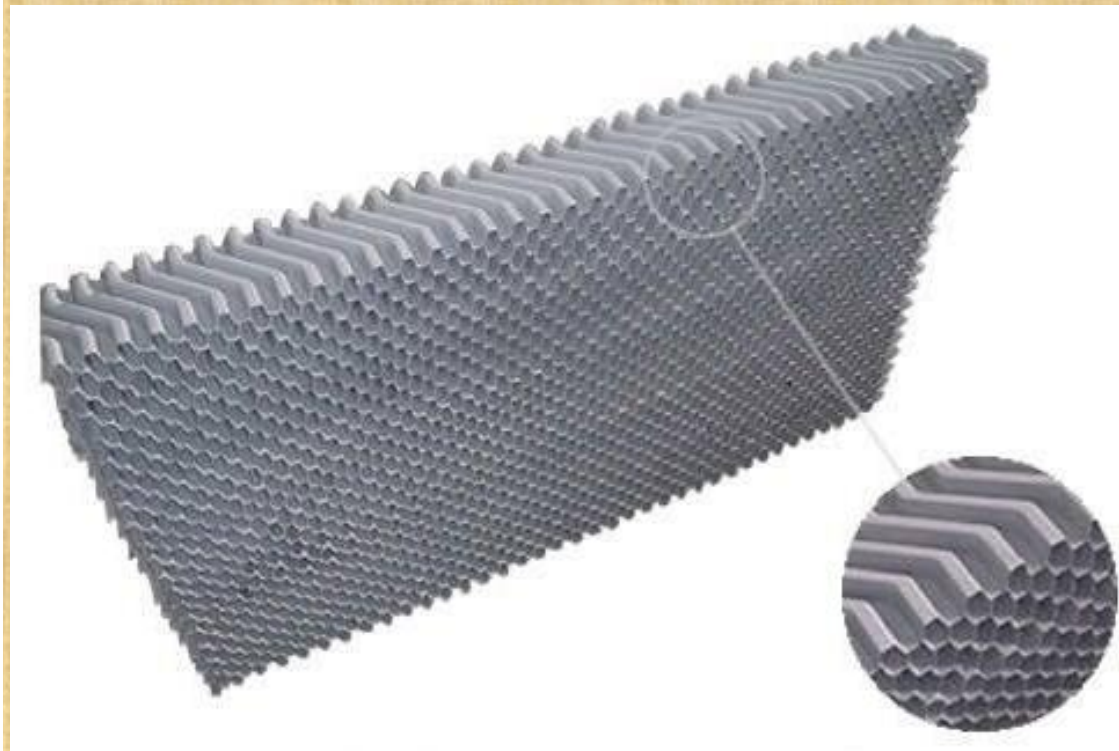
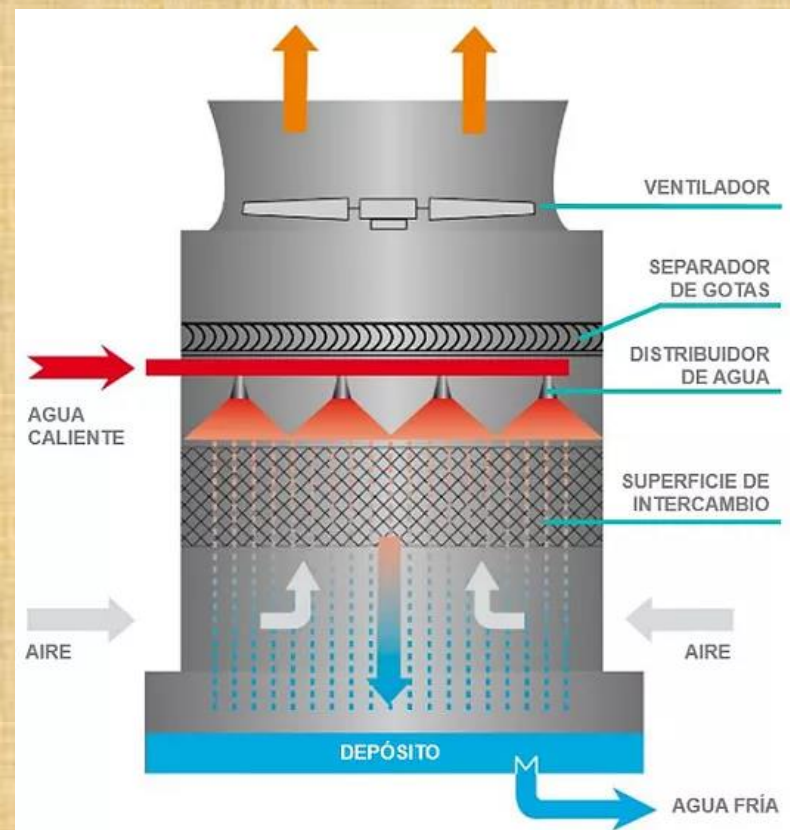




Tipos de relleno: Los principales requisitos que debe cumplir el relleno de una columna son:

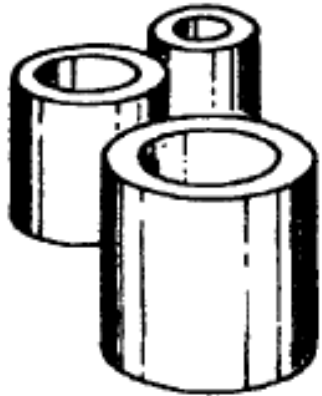
- Proporcionar una gran área superficial: área interfacial alta entre el gas y el líquido.
- Tener una estructura abierta: baja resistencia al flujo de gas.
- Facilitar la distribución uniforme del líquido sobre su superficie.
- Facilitar el paso uniforme del vapor a través de toda la sección de la columna.

Para satisfacer estos requerimientos se han desarrollado distintos tipos de relleno. Se pueden dividir en dos grupos: relleno ordenado (dispuesto de una forma regular dentro de la columna) y relleno al azar. Los primeros (rejas, mallas, rellenos ordenados ... ) tienen una estructura abierta, y se usan para velocidades de gas elevadas donde se necesita una pérdida de presión baja (por ejemplo en las torres de enfriamiento).



Los rellenos al azar son más comunes. Con este tipo de relleno (al igual que en las columnas de platos), la interfase de vapor-líquido se crea por combinación de los efectos de penetración de superficie, burbujeo y formación de niebla. Cada uno de estos tipos tiene sus características de diseño -tamaño, densidad, área superficial, factor de relleno (constante determinada experimentalmente, relacionada con el cociente entre el área del relleno y el cubo de la fracción hueca del lecho).

Anillos de relleno:



**Anillo Raschig**



**Silla Intalox**



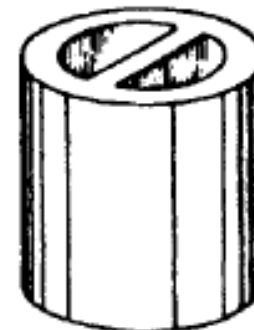
**Anillos Pall**



**Silla Berl**



**Anillo con helicoidal**



**Anillo Lessing**



**Anillo de partición**

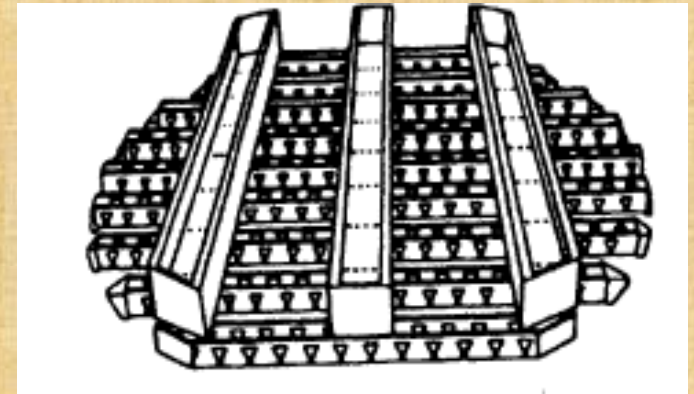
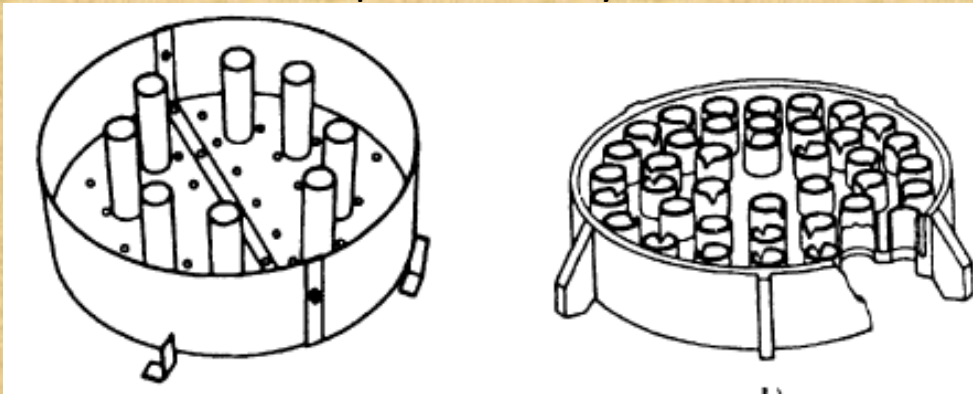


Para construir estos rellenos se utilizan diversos materiales: cerámica, metales, plásticos y carbono. Los anillos de metal y plástico son más eficaces que los de cerámica puesto que sus paredes pueden ser más finas. La elección del material dependerá de la naturaleza del fluido y la temperatura de operación: el empaquetado cerámico es útil para líquidos corrosivos pero no para disoluciones fuertemente alcalinas. El plástico es atacado por algunos disolventes orgánicos y sólo debe usarse cuando no se sobrepasan temperaturas moderadas (por ejemplo no son útiles en columnas de rectificación).

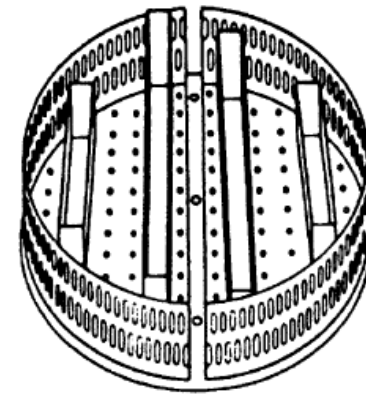
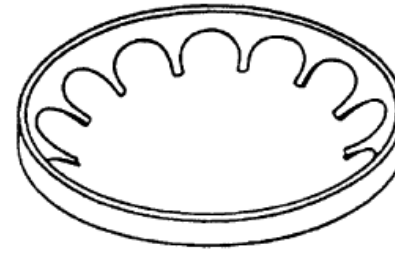
### ***Dispositivos interiores de torres de relleno***

Distribuidor de líquido de alimentación: El relleno, por sí solo, no conduce a una adecuada distribución del líquido de alimentación. Un distribuidor ideal tendría las siguientes características:

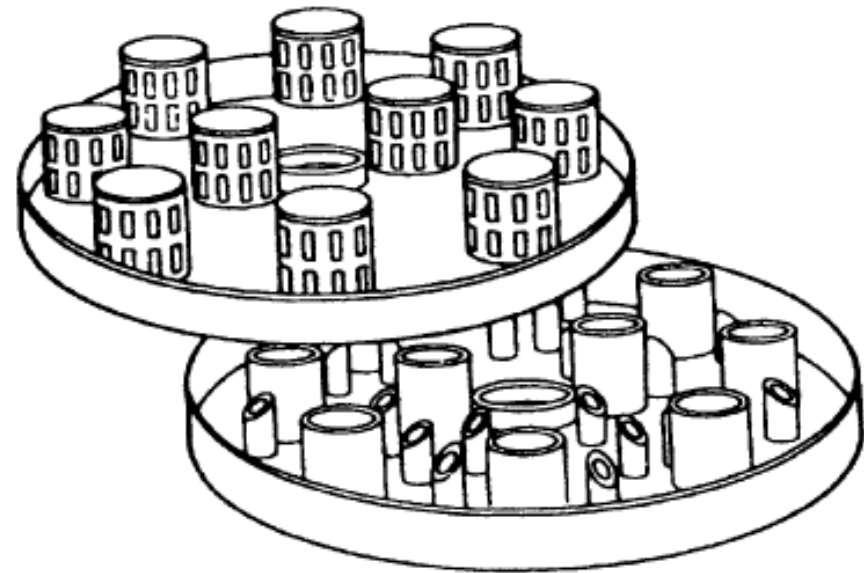
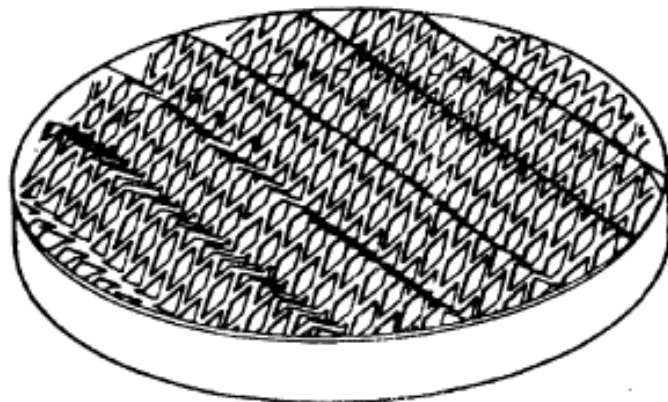
- a) Distribución uniforme del líquido.
- b) Resistencia a la oclusión y ensuciamiento.
- c) Elevada flexibilidad de operación (máximo intervalo entre los caudales máximo y mínimo con los que puede operar).
- d) Elevada área libre para el flujo de gas.
- e) Adaptabilidad a la fabricación con numerosos materiales de construcción.
- f) Construcción modular para una mayor flexibilidad de instalación.



Redistribuidores de líquido: Son necesarios para recoger el líquido que baja por las paredes, o que ha coalescido en alguna zona de la columna, y redistribuirlo después para establecer un modelo uniforme de irrigación. Los criterios de diseño son similares a los de un distribuidor del líquido de alimentación.



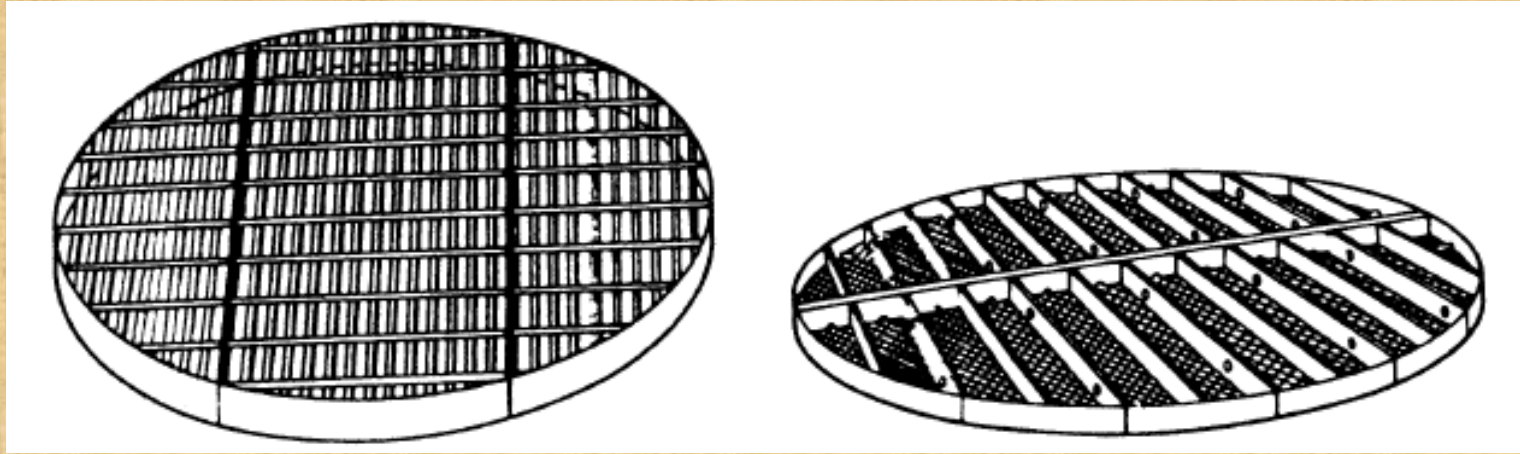
Platos de soporte y de inyección del gas: Además de soportar el peso del relleno, los platos de soporte deben de estar diseñados para permitir un flujo relativamente no restringido del líquido y del gas. Con los tipos de platos que se muestran en siguiente Figura el líquido desciende a través de las aberturas hacia el fondo y el gas asciende a través de la sección superior.



Platos de soporte e inyectores de gas. a) Tipo rejilla. b) Tipo tubo perforado



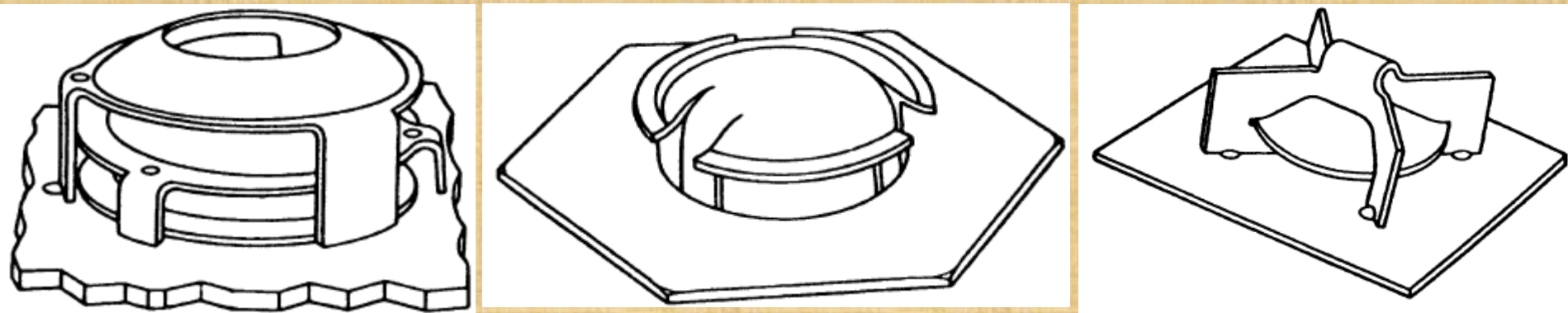
Platos de sujeción (limitadores de lecho): Los platos de sujeción se colocan en la parte superior del relleno para evitar el desplazamiento, la dispersión o la expansión del lecho a causa de elevadas caídas de presión u oleadas de líquido.



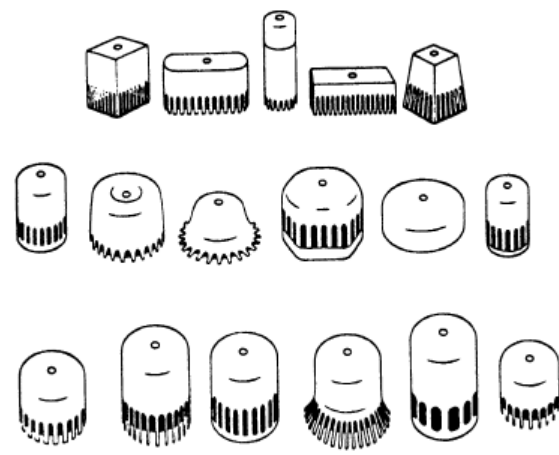
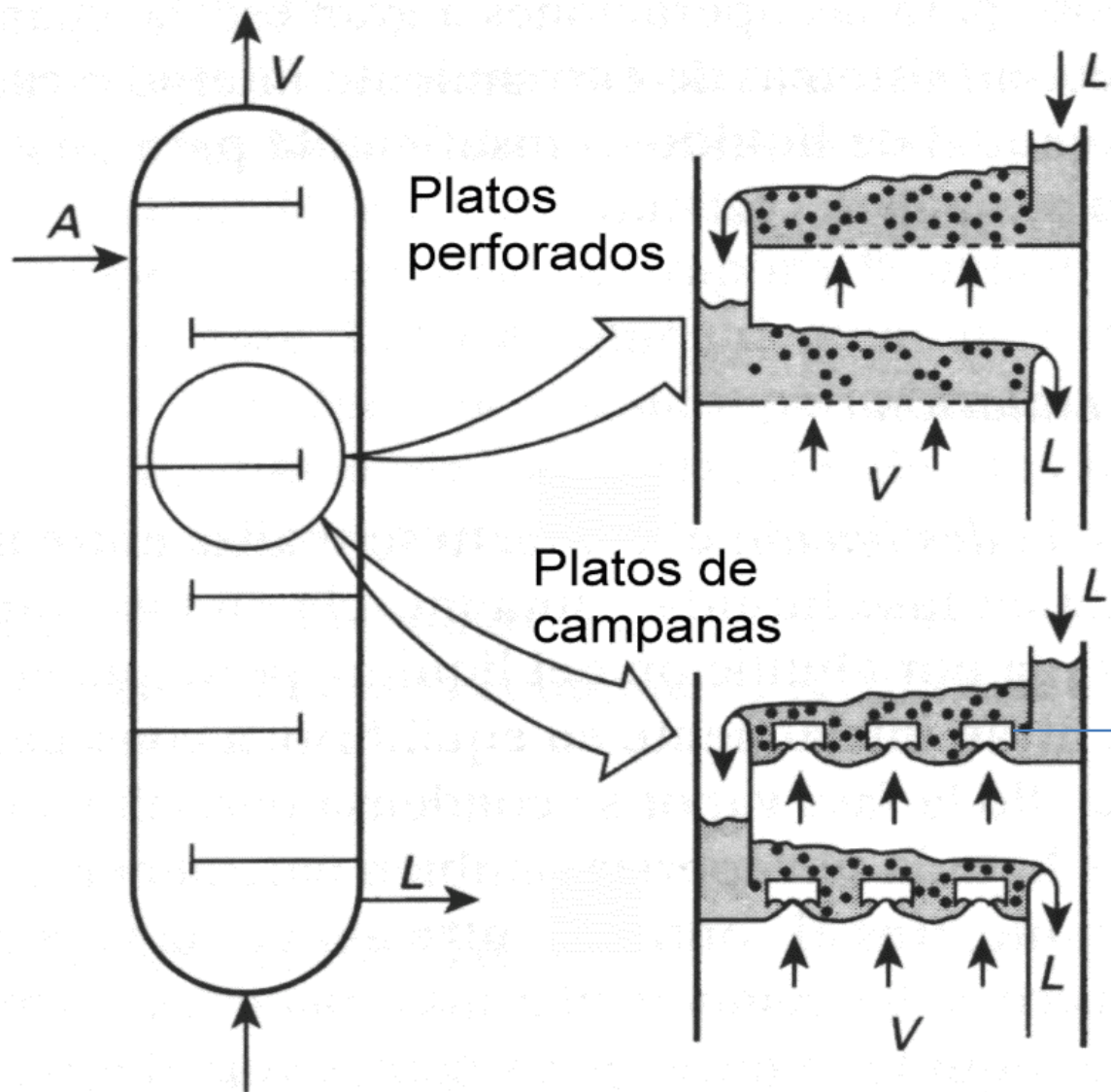
## **Columnas de platos para contacto vapor-líquido**

Existen de distinto tipo. Ejemplos:

Platos de válvula. Son platos con orificios de gran diámetro cubiertos por tapaderas móviles que se elevan cuando el flujo de vapor aumenta.



Platos perforados: Los platos perforados más ampliamente utilizados tienen placas con orificios, circulando el líquido con flujo cruzado a través del plato.



Caperuzas