

# 1 Separación de sólido-Líquido

Podemos distinguir:

- Filtración sólido-líquido: operación unitaria en la cual un componente sólido insoluble se separa de una suspensión sólido-líquido pasando este último a través de una membrana porosa que retiene las partículas sólidas en su superficie en contacto con la suspensión.
- Separación por membranas: operación que permite la separación de solutos de soluciones de líquidos por medio de la aplicación de presiones de diversa magnitud según el tipo de solución que es necesario hacer pasar por la membrana.
- Centrifugación: operación unitaria que posibilita la separación de materiales (sólidos o líquidos) por medio de la aplicación de la fuerza centrífuga. Se pueden separar líquidos inmiscibles, clarificar por centrifugación, desludado y filtración por centrifugación.
- Sedimentación: operación que logra la separación de un sólido de una suspensión basado en la diferencia de densidades usa la fuerza de gravedad para efectuar la separación.

La filtración puede hacerse por:

- Gravedad (limitada a pocos sólidos, muy fácil drenaje)
- Presión
- Vacío
- Fuerza centrífuga

El filtrado que pasa por el medio filtrante encuentra tres resistencias:

1. Canales y aberturas del filtro. (despreciable)
2. Medio filtrante.
3. “Queque” de filtración.

## 1.1 Teoría general de la filtración

$$-\Delta p = -\Delta p_c - \Delta p_m$$

Resistencia que opone la capa es  $-\Delta p_c$  (torta o queque)

$$-\Delta p_c = \frac{\alpha \cdot \eta \cdot \omega \cdot V}{A^2} \left( \frac{\partial V}{\partial t} \right)$$

Donde:

$-\Delta p_c$ : caída de presión a través de la torta

$\eta$ : viscosidad del filtrado

$\omega$ : masa de sólidos depositados por unidad de volumen de filtrado

$V$ : volumen de filtrado que pasa en un tiempo “t”

$A$ : área de filtro perpendicular a la dirección del flujo

$\alpha$ : resistencia específica de la torta; valor constante para tortas no deformables (incompresibles), variable para tortas compresibles. Generalmente  $\alpha$  se determina experimentalmente a diferentes presiones.

Caída de presión para velocidad superficial unitaria de filtrado con  $\eta$  unitaria y masa de sólidos unitaria por unidad de área filtrante depende de la porosidad, la superficie específica y la densidad de los sólidos.

Resistencia que opone el medio filtrante ( $-\Delta p_m$ , la malla)

$$-\Delta p_m = \frac{R_m \cdot \eta}{A} \left( \frac{\partial V}{\partial t} \right)$$

Donde:

$-\Delta p_m$ : caída de presión a través del medio filtrante

$R_m$ : resistencia del medio filtrante, se considera constante durante el ciclo de filtrado, se determina experimentalmente.

Suponiendo  $V$  constante en el tiempo y reemplazando en la primera ecuación las expresiones de  $-\Delta p_c$  y  $-\Delta p_m$ , obtenemos la **“expresión general de la velocidad de flujo de filtrado”**

$$-\Delta p = V \cdot \left( \frac{\eta \cdot \alpha \cdot \omega \cdot V}{A^2 \cdot t} \right) + \frac{V \cdot \eta \cdot R_m}{A \cdot t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{A \cdot (-\Delta p)}{\eta \cdot \left( \frac{\alpha \cdot \omega \cdot V}{A} + R_m \right)}$$

(Expresión general de la velocidad de flujo de filtrado)

### 1.1.1 Filtración a presión constante

Si  $-\Delta p$  se mantiene constante la ecuación se debe integrar ya que el flujo varía en forma continua.

$$\int_0^t dt = \frac{\eta}{A(-\Delta p)} \left( \frac{\alpha \cdot \omega}{A} \int_0^V V dV + Rm \int_0^V dV \right)$$

resultando:

$$t = \frac{\eta}{-\Delta p} \left[ \frac{\alpha \cdot \omega}{2} \left( \frac{V}{A} \right)^2 + Rm \left( \frac{V}{A} \right) \right] \quad (2)$$

Esta es la ecuación general que da el tiempo de filtración durante una filtración a presión constante. Los valores de  $\alpha$  y  $Rm$  deben determinarse experimentalmente.

Sí se grafica el volumen filtrado contra el tiempo, para volumen constante, se ajusta continuamente la presión para mantener el volumen constante. (1)

Sí la presión se mantiene constante la velocidad de filtrado disminuirá a medida que la torta se hace mayor.

Para **tortas incompresibles** la ecuación 2 se usa directamente para diferentes presiones.

Para **tortas compresibles** la relación entre  $\alpha$  y  $-\Delta p$  debe determinarse experimentalmente realizando por lo menos dos series de filtración a presión constante a diferentes presiones cada una.

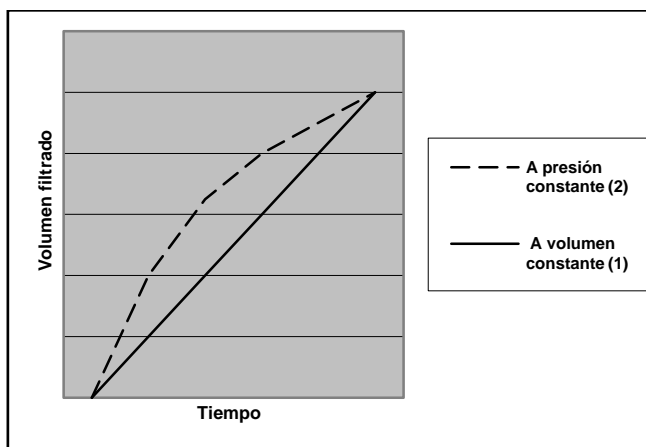


Figura 1: volumen filtrado versus tiempo para procesos a presión y volumen constantes

### 1.1.2 Filtración a volumen constante

En este caso:

$$\frac{dV}{dT} = cte = \frac{V}{t}$$

y la ecuación 1 puede escribirse:

$$-\Delta p = \left( \frac{\eta \cdot \alpha \cdot \omega \cdot V}{A^2 \cdot t} \right) \cdot V + \left( \frac{\eta \cdot V \cdot Rm}{A \cdot t} \right)$$

ó:

$$t = \left( \frac{\eta \cdot \alpha \cdot \omega \cdot V^2}{A^2 \cdot \Delta p} \right) + \left( \frac{\eta \cdot Rm \cdot V}{A \cdot \Delta p} \right)$$

Que representa también una línea recta y es el tiempo requerido para recolectar un volumen “V” filtrado. Las resistencias para el caso de tortas compresibles deben determinarse por experimentación. Normalmente se trata de filtrar a V constante, aumentando la presión a medida que aumenta el espesor de la torta.

## 1.2 Lavado de la torta

Se sustituye la solución por líquido de lavado. Si las características del líquido de lavado son similares al filtrado entonces, como el lavado se hace a presión constante la velocidad de lavado será sólo aproximadamente constante (decrece levemente), sin embargo, la concentración de los sólidos del filtrado en el líquido de lavado, generalmente sigue el siguiente patrón.

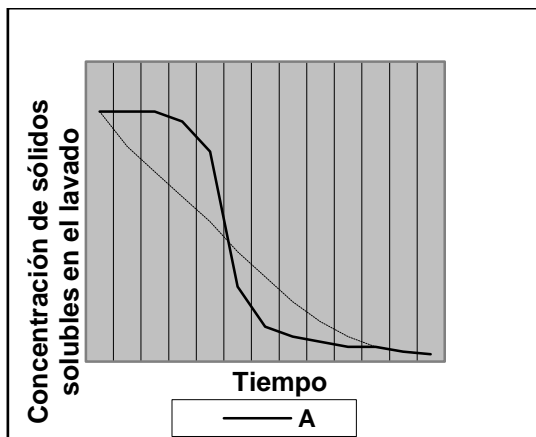


Figura 2: gráfico muestra la concentración de sólidos en el tiempo durante un proceso de lavado

Normalmente en condiciones óptimas el 90% de los sólidos solubles en la torta se retiran en la etapa de inicial (a-b), el lavado se continua hasta un nivel económico de eliminación (curva A)

En el caso de los filtros prensa el líquido de lavado debe atravesar doble espesor de torta y posee sólo la mitad del área de filtración, por lo que la velocidad de flujo del lavado queda reducida a un cuarto de la de filtración.

Así el traspaso de los sólidos solubles al líquido de lavado es más gradual y uniforme (curva B)

### **1.3 Medio filtrante**

- Su función es la formación de la torta y soporte de la misma.
- Debe tener una superficie que facilite la recuperación de la torta o capa.
- Pueden ser rígidos o flexibles (fijos y móviles); (suelto: arena, tierra, diatomáceos; fijos(rígidos): carbón, porcelana, placas metálicas, malla de alambre.; fijos(flexibles): telas de algodón, seda, lana, perlón, PVC, PA, DP, PE)
- Tamaño debe especificarse.
- Debe ser no-tóxico.
- Debe tener un costo adecuado.
- La mejor forma de seleccionar un medio filtrante para una función específica es mediante ensayos prácticos.

### **1.4 Ayuda filtrantes**

- Materiales constituidos por partículas relativamente grandes, inertes, de diversas formas e incompresibles.
- Se usan cuando el material por filtrar es muy fino o gelatinoso y tiende a bloquear el filtro muy rápidamente.
- Se hace una estructura rígida, pero porosa que provee de canales de filtración y prolonga el ciclo de filtración.
- Se usa tierra de diatomáceas, kieselguhr, pulpa de papel, carbón, etc.

## 1.5 Equipos de filtración (Principios de diseño y aplicaciones)

### 1.5.1 Filtros de (a) presión

Se usan bombas centrífugas, donde el trabajo normal es iniciar el ciclo de filtración a caudal constante para luego seguir en un sistema de filtración a presión constante, sin embargo, en las últimas etapas, se hace necesario subir la presión para mejorar el flujo que ha disminuido por la resistencia de la torta. En un inicio la presión de filtración debe ser baja para evitar compactar en exceso la capa filtrante.

#### 1.5.1.1 Filtros prensa verticales (de plato y marco)

Tienen placas especiales de lavado, que durante el ciclo de filtración actúan como palcas filtrantes y en el ciclo de lavado se cierran sus salidas (válvulas) y el líquido de lavado se introduce en sus superficies a través de canales especiales de entrada.

- Los sólidos depositados deben retirarse manualmente.
- Es muy utilizado en la industria, su diseño es simple.
- Compacto, flexible (maneja diversos tipos de productos)
- Relativamente económico
- Costos de manejo de operación elevados.
- Alto consumo de telas filtrantes.
- El lavado del queque no siempre es eficiente.

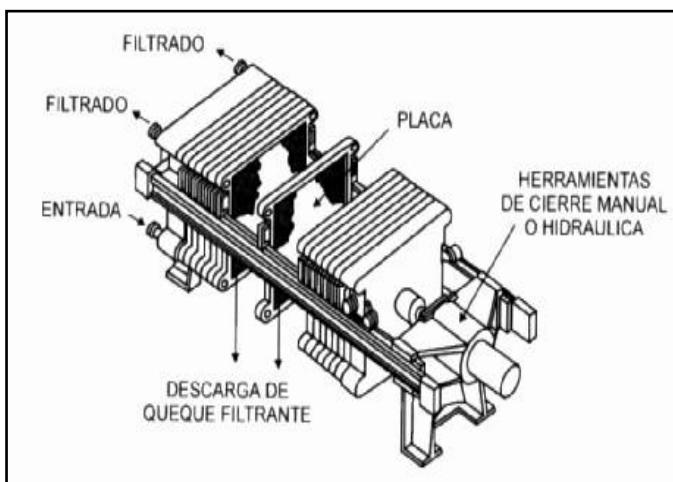


Figura 3: filtro prensa.

### **1.5.1.2 Filtros de presión de placas (hojas) y cajas.**

Han sobrepasado largamente a los filtros prensa. Como elemento básico se tiene una palca u hoja filtrante, varias de éstas insertas en una caja cilíndrica a presión. Normalmente trabajan en ciclos que duran hasta 10 horas, según el tipo de “*slurry*” (jalea o suspensión)

Son los típicos filtros que utilizan el sistema de pre-capa; hay de tipo de placas horizontales y verticales, las primeras van montadas en un eje también horizontal, las segundas van colgadas de un eje horizontal.

La operación discontinua (“*batch*”) consiste en las siguientes etapas:

1. Formación de la pre-capa, y venteo del aire.
2. Llenado del filtro con la suspensión por filtrar.
3. Filtración propiamente tal.
4. Lavado del queque.
5. Descarga del queque.
6. Re-armado para el siguiente ciclo.

### **1.5.1.3 Filtros continuos**

Filtros rotatorios a vacío (descripción):

Trabajan a presión atmosférica por la parte superior de la tela filtrante y a vacío por la parte inferior (parcial)

Consisten en un tambor cilíndrico que gira alrededor de un eje horizontal.

Posee varios compartimientos que ocupan toda la longitud del filtro.

Cada compartimiento está conectado por una o más cañerías a una válvula situada en un eje central en uno de los extremos del filtro.

El tambor está parcialmente sumergido en el líquido por filtrar así hace un “sello” para el vacío.

Un elemento filtrante (tea) cubre totalmente el tambor, giran a velocidades pequeñas de 0.2-2.0 rpm.

La filtración, desprendimiento de la torta y lavado de la torta por medio de boquillas de atomización a presión. El agua de lavado es recolectada aparte de la de filtrado.

Ventajas:

- Bajos costos de operación por mano de obra.
- Relativamente pequeño espacio ocupado para su capacidad. (2000-5000 l/m<sup>3</sup>hr)
- Flexibilidad en el espesor del queque.
- Son los más aptos para manejar grandes volúmenes de suspensiones (“slurry” con propiedades de fácil drenaje).

Desventajas:

- Están limitadas al uso con tortas permeables que se desprendan fácilmente.
- Es difícil obtener tortas secas.
- No son apropiados para manejar líquidos muy calientes o volátiles.
- El costo del equipo es elevado (por el vacío)

Se utilizan ampliamente en las industrias de fermentación para recuperar la levadura.

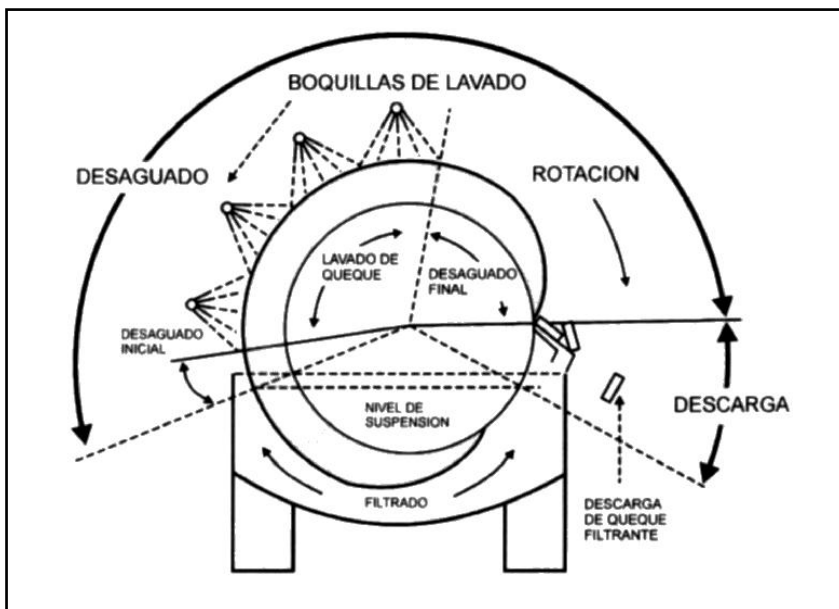


Figura 4: filtro rotatorio continuo