



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Filtración convencional de mezclas de líquidos y sólidos

Apellidos, nombre	Vidal Brotons, Daniel (vidal@tal.upv.es) Castelló Gómez Marisa (mcasgo@upv.es) Gras Romero, María Luisa (mgrasro@tal.upv.es) Pérez Esteve Édgar (edpees@tal.upv.es) Barrera Puigdollers Cristina (mcbarpu@tal.upv.es) Betoret Valls Noelia (noebeval@tal.upv.es)
Departamento	Departamento de Tecnología de Alimentos
Centro	Universidad Politécnica de Valencia



1 Resumen

En este artículo vamos a presentar los fundamentos de algunas técnicas de separación de productos basadas en el tamaño y tipo de mallas por las que se hace pasar una mezcla de sólidos y líquidos con el fin de separarlos. Además, se muestran algunas aplicaciones en el sector agroalimentario, así como los mecanismos de filtración más habituales. Por otra parte, se indican las ecuaciones necesarias para poder establecer el rendimiento de la operación de filtración y diseñar así los equipos necesarios para este fin.

2 Introducción

En la filtración, la separación se logra utilizando un medio físico que no permite el paso de sólidos a través del cual el fluido se hace pasar por medio de un gradiente de presión.

Algunas de sus aplicaciones en sistemas líquidos-sólidos:

- Separación en el queso de la fase cuajada y la fase suero
- Eliminación de partículas sólidas en bebidas: vino, cerveza o zumos

Las partículas sólidas de una suspensión sólido- líquido o sólido-gas se separan forzando al fluido a pasar a través de un **medio filtrante** (tela filtrante, filtro, o septum) que retiene (algunas de) las partículas.

Los sólidos se depositan sobre el medio filtrante, y a medida que el depósito (**torta filtrante**, residuo, cake) aumenta de espesor, opone mayor resistencia a la filtración.

La **diferencia de presión** existente a ambos lados del filtro se denomina **pérdida de carga**, caída de presión de filtración, o simplemente **presión de filtración**.

El proceso de filtración puede ser descrito por la manera en que el fluido filtrado fluye a través del medio filtrante, mientras los sólidos se depositan sobre el medio filtrante.

3 Objetivos

Una vez que el estudiante haya leído con detenimiento este documento, será capaz de:

- Seleccionar el tipo de filtración según el material con que se va a trabajar
- De acuerdo a la teoría de la filtración, relacionar la velocidad de filtración con el tiempo y el volumen de filtrado, en función de las condiciones de trabajo y de las características de la suspensión a filtrar
- Identificar los diferentes tipos de equipos de filtración



4 Desarrollo

En este apartado vamos a ver las ecuaciones matemáticas que se han desarrollado, siguiendo la teoría de la filtración, para relacionar la velocidad de filtración con el tiempo y el volumen de filtrado según se trabaje a caudal constante o a presión constante. Además, se presentarán los diferentes equipos de filtración sólido-líquido habituales en la industria agroalimentaria.

4.1 Teoría de la filtración

Normalmente, en los procesos industriales se utilizan tres tipos de mecanismos de filtración (Figura 1): filtración frontal de lecho profundo, filtración frontal con formación de torta (filtración convencional) y filtración tangencial por membranas (microfiltración y ultrafiltración). En la filtración de lecho profundo, los sólidos se depositan dentro del medio filtrante. En la filtración con formación de torta, los sólidos se depositan sobre el medio filtrante formando una pasta. La filtración por membrana se realiza utilizando membranas especiales de tamaño de poro muy pequeño, que generalmente operan con flujo paralelo (tangencial, cruzado) a la membrana, de tal manera que no hay sobre la membrana un depósito de los sólidos, sino una concentración de la suspensión. De estos tres mecanismos, los más frecuentes en las separaciones sólido-líquido son la filtración convencional y la filtración por membranas.

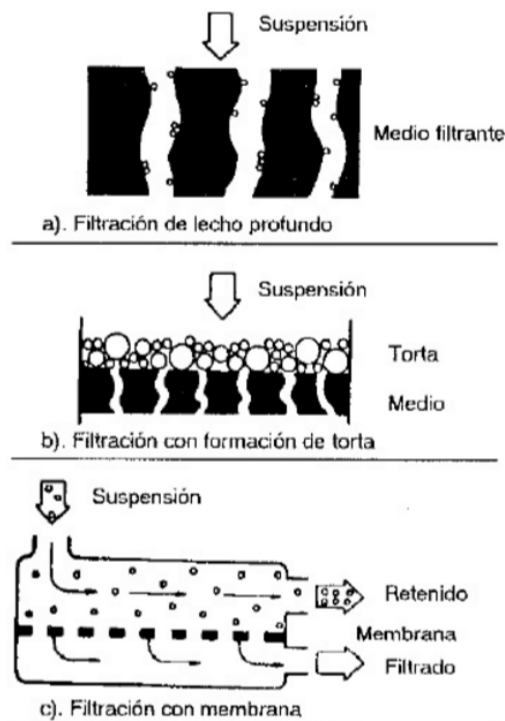


Figura 1. Mecanismos de filtración (Tejeda et al., 1995)



La filtración convencional puede ser definida como la separación de los sólidos de un líquido. Ésta se efectúa utilizando un gradiente de presión para hacer pasar una suspensión a través de un medio poroso que retiene los sólidos.

¿Sabéis cómo empezó todo?

La teoría de la filtración convencional se deriva de los estudios de la mecánica de fluidos en medios porosos. La ecuación que describe el movimiento de fluidos newtonianos a través de medios porosos fue formulada en 1856 por el ingeniero francés Henry Darcy, que se encargó del estudio de la red de abastecimiento de agua de la ciudad de Dijon.

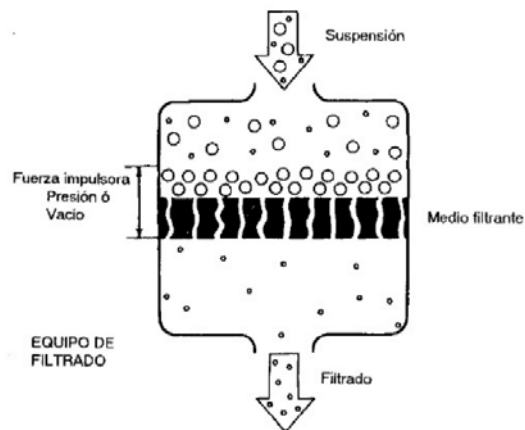


Figura 2. Concepto de filtración (Tejeda et al., 1995)

La **velocidad de filtración** depende de:

- La pérdida de carga a través del medio filtrante, es decir, la diferencia de presión a ambos lados del mismo (ΔP)
- El área de la superficie filtrante (A)
- La viscosidad del fluido (μ)(Pa·s)
- La resistencia de la torta filtrante
- La resistencia del medio filtrante



Considerando el esquema de la filtración de la figura 3, se tiene en cuenta que la velocidad de filtración es directamente proporcional a la fuerza impulsora, que es la pérdida de carga a través del filtro (ΔP), e inversamente proporcional a la resistencia total ($R = \mu(L_c + L_t)r'$)

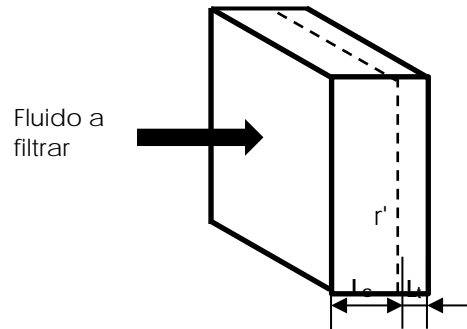


Figura 3. Esquema del funcionamiento de la filtración convencional, donde: L_c representa el espesor del medio filtrante (m), L_t es el espesor de la torta filtrante al cabo de un tiempo de filtración (m) y r' es la resistencia específica de la torta filtrante, característica de las partículas suspendidas

El espesor de la torta filtrante se puede expresar como L_t :

$$L_t = \frac{S \cdot V_t}{A}$$

donde:

S : es el contenido en sólidos (razón volumétrica) de la suspensión

V_t : es el volumen filtrado

A : es la superficie del filtro

La velocidad de filtración se puede expresar como:

$$\frac{dV_t}{dt} = Q_t = \frac{A \cdot \Delta P}{\left[\mu \cdot r' \left(L_c + \frac{S \cdot V_t}{A} \right) \right]}$$

donde:

Q_t es el caudal volumétrico de filtración instantáneo (m^3/s)

L_c representa el espesor del medio filtrante (m)

r' es la resistencia específica de la torta filtrante, característica de las partículas suspendidas

La filtración se suele llevar a cabo a caudal (Q_t) constante o a presión (ΔP) constante.



4.1.1. Filtración a caudal constante

Si el caudal de filtración es constante, entonces:

$$Q_t = \frac{dV_t}{dt} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = Q$$

Siendo ΔV el volumen filtrado durante un tiempo Δt .

Para que el caudal Q_t se mantenga constante, a pesar de ir aumentando la resistencia, será necesario que la presión de filtración vaya aumentando. Al cabo de un tiempo t de filtración, la presión $(\Delta P)_t$ vendrá dada por:

$$(\Delta P)_t = \frac{\left[\mu \cdot r' \left(L_c + \frac{S \cdot \Delta V}{A} \right) \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \right]}{A} = \frac{\left[\mu \cdot r' \left(L_c A \Delta V + \frac{S \cdot (\Delta V)^2}{A} \right) \right]}{A^2 \Delta t} = \mu \cdot r' \left(\frac{L_c Q}{A} + \frac{S Q^2 \Delta t}{A^2} \right) = a + b \Delta t$$

Si se desprecia L_c , entonces queda:

$$(\Delta P)_t = \mu \cdot r' \frac{S \Delta V^2}{A^2 \Delta t}$$

es decir:

$$\mu \cdot r' \cdot S \cdot \Delta V^2 = A^2 \Delta t \cdot (\Delta P)_t$$

4.1.2. Filtración a presión constante

En este caso, el caudal (Q_t) disminuye conforme transcurre el tiempo, ya que la fuerza impulsora $(\Delta P)_t$ es constante, mientras que la resistencia que opone la torta filtrante va aumentando. Separando variables e integrando la ecuación general, se obtiene que:

$$\frac{t \cdot A}{V_t} = \frac{\left[\frac{\mu \cdot r' \cdot S}{2 \cdot \Delta P} \right]}{\frac{V_t}{A}} + \frac{\mu \cdot r' \cdot L_c}{\Delta P}$$

Si se desprecia L_c , entonces queda:

$$t = \frac{\mu \cdot r' \cdot S \cdot V_t^2}{2 \cdot A^2 \cdot \Delta P}$$

es decir:

$$\mu \cdot r' \cdot S \cdot V_t^2 = 2 \cdot A^2 \cdot t \cdot \Delta P$$

4.2 Equipos de filtración de mezclas sólido-líquido

Existe una gran variedad de filtros cuyo mecanismo de filtración es la formación de torta. Estos filtros a su vez se pueden dividir en dos grandes grupos:

- Filtros intermitentes a presión
- Filtros continuos a vacío

4.2.1. Filtros intermitentes a presión

En este caso, la disolución que contiene el sólido a separar es alimentada continuamente al filtro. Una vez que se acumula una determinada cantidad de sólido sobre el medio filtrante, la operación es interrumpida para descargar la torta, limpiar el filtro e iniciar de nuevo el ciclo. Estos tipos de filtros pueden ser agrupados en 2 categorías:

- Filtros prensa de marcos y placas
- Filtros de cámara con elementos filtrantes (hojas o tubos)

Los filtros intermitentes de uso más amplio son los de filtros de marcos y placas (Figura 4). La unidad de filtración está formada por un marco que contiene dos placas formando una cámara de filtración. Se coloca una tela o una malla sobre las placas verticales, de manera que sean los bordes los que soporten y sujeten la tela y al mismo tiempo dejen debajo de la tela un área libre lo más grande posible para que pase el filtrado. Los filtros constan de varias de estas unidades, que operan en paralelo, produciendo un sólido bastante seco. Se utilizan mucho para el filtrado y clarificación de numerosos líquidos (jugos en la industria alimentaria). También tienen utilidad en la industria química. Los filtros de marcos y placas normalmente operan en contacto con el ambiente y no son recomendables cuando se trabaja con sustancias tóxicas.

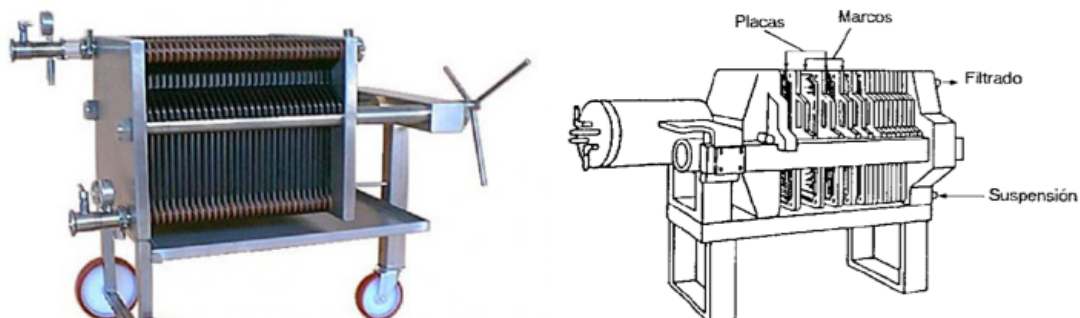


Figura 4. Ejemplo de filtro intermitente de marcos y placas (Garibay, 2014)



4.2.2. Filtros continuos a vacío

Los filtros de tambor rotatorio a vacío se distinguen de los intermitentes por el hecho de que al girar permiten una descarga continua de la torta de tal manera que pueden operar continuamente por periodos largos de tiempo con flujos entre 200-1000 L/m² h.

El principio básico es un cilindro rotatorio hueco que gira a velocidad variable de 0,1 a 10 rpm. Un tercio del tambor es sumergido en el fluido a filtrar, al tiempo que rota. La suspensión es llevada a la superficie del tambor por un vacío interno (Figura 5).

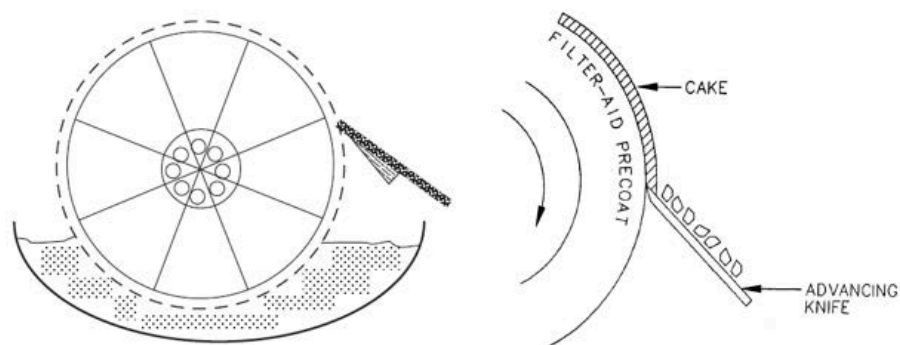


Figura 5. Ejemplo de filtro continuo a vacío (Garibay, 2014)

5 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje, hemos visto los fundamentos de la operación básica de filtración de mezclas formadas por sólidos y líquidos para lo que se han indicado las ecuaciones matemáticas que nos permitirán predecir el comportamiento de los filtros en función de si trabajan a presión o a caudal constante. Además, se han presentado diferentes equipos industriales de filtración con formación de torta o convencional.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

6 Bibliografía

[1] Díaz, M. "Ingeniería de bioprocesos". Capítulo 11. Separación de Productos (I). Por velocidad y en mallas. Ediciones Paraninfo, 2012.

[2] Garibay, G. (2014). Filtración. Procesos de Bioseparación. Disponible en: <http://es.slideshare.net/guillermogaribay1447/filtracin-37561540>

[3] Tejeda, O.A., Montesinos, O.R.M., Guzmán O.R. (1995). Bioseparaciones. Bloque II. Remoción de insolubles y ruptura celular. Capítulo 3. Filtración. Editorial Unison. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/104142017/Tejeda-Bioseparaciones>