

LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS

APUNTES TEÓRICOS EXPERIENCIA: FILTRACIÓN

Filtración es el proceso de separación (mecánica) sólido-fluido mediante el cual el sólido es separado del fluido en una suspensión haciéndolo pasar a través de un lecho poroso, denominado medio filtrante. El lecho retiene las partículas mientras que el fluido pasa a través del medio filtrante y recibe el nombre de filtrado.

Se puede distinguir tres clases de filtración:

- Filtración con formación de torta: La filtración con formación de torta se caracteriza porque el sólido de la suspensión es retenido en la superficie del medio filtrante como una capa denominada torta.

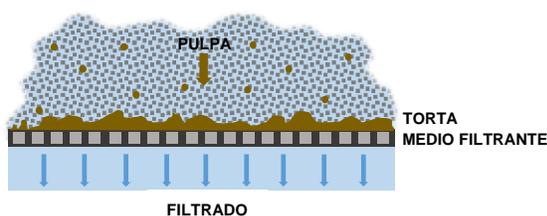


Figura 1. Filtración con formación de torta

- Filtración sin formación de torta: Este tipo de filtración se produce cuando el flujo a filtrar es paralelo al medio filtrante, lo que produce que el flujo siga su curso con las partículas sólidas y el filtrado sea el que atraviesa el medio filtrante.

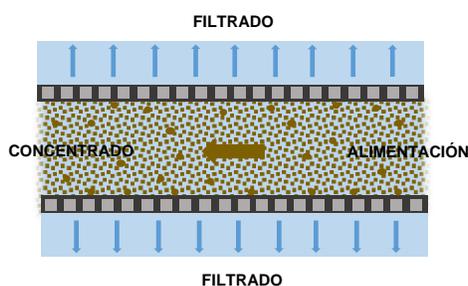


Figura 2. Filtración sin formación de torta

- Filtración profunda: Para la filtración de partículas muy finas en suspensiones diluidas se utiliza comúnmente filtros que tienen medios filtrantes de poros mayores que las partículas, pero de grandes espesores. Las partículas penetran en el interior del medio filtrante y son capturadas por las fibras o partículas que constituyen el medio filtrante. Este tipo de filtro pierde su capacidad de filtración después de un cierto tiempo y es necesario limpiar el medio filtrante eliminando las partículas desde su interior, o sustituir el filtro por uno nuevo.

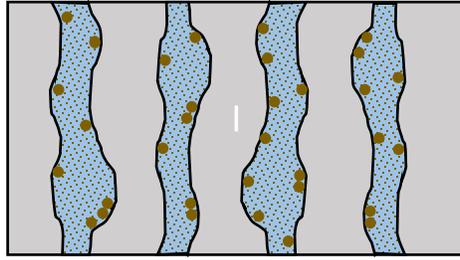


Figura 3. Filtración profunda (filtración clarificadora)

Las principales magnitudes de interés de la filtración son la velocidad de flujo a través del filtro y la caída de presión en la unidad. A medida que transcurre el proceso, o bien disminuye la velocidad de flujo o aumenta la caída de presión. En la llamada filtración a presión constante la caída de presión permanece constante y la velocidad de flujo va disminuyendo con el tiempo; menos frecuente es que la presión aumente progresivamente para dar lugar a la llamada filtración a velocidad constante.

A medida que la filtración está en operación, la resistencia al flujo a través del medio filtrante aumenta debido a la obstrucción que se va generando en él por la formación de torta o de acumulación dentro del medio por sólidos.

Dentro de las variables y parámetros asociadas a la filtración, las más importantes a considerar son la velocidad de flujo y la caída de presión. Comúnmente, las filtraciones son llevadas bajo presión constante que, por efecto de esto, solo presenta una disminución de velocidad dentro del proceso.

FILTRO DE MANGA

Los filtros de manga, comúnmente denominados "filtros de bolsa" o "casas de bolsas", son colectores en los que se elimina el polvo de la corriente de gas al pasar el gas cargado de polvo a través de algún tipo de tela (p. ej., tela tejida, fieltro o membrana porosa). Estos dispositivos son filtros de "superficie" en los que el polvo se acumula en una capa en la superficie (torta) del medio filtrante, la cual en sí misma se convierte en el medio filtrante efectivo. Un filtro de manga con una buena torta pueden recolectar partículas tan pequeñas como 1 micra, con una eficiencia general del 99,99 % e incluso puede recolectar algunas partículas submicrónicas.

Un de las variables más importantes dentro del diseño y operación de los filtros de manga es la caída de presión (Ec.1).

$$\Delta P = \Delta P_{torta} + \Delta P_{filtro} + \Delta P_{estructura\ del\ filtro} \quad \text{Ec.1}$$

Normalmente la caída de presión asociada a la estructura del filtro se considera despreciable debido a la poca influencia que presenta dentro de la caída de presión total, quedando así la siguiente expresión:

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_f$$

Ambos términos pueden ser expresados usando la ecuación de Darcy para flujos a través de medios porosos (Ec. 2 y 3):

$$\Delta P_f = \frac{D_f \mu v}{K_f} \quad \text{Ec.2}$$

$$\Delta P_c = \frac{D_c \mu v}{K_c} \quad \text{Ec.3}$$

Donde D es el espesor de capa, μ es la viscosidad del fluido, v la velocidad de filtración (Q/A) y K es la constante de permeabilidad.

Debido que a medida que avanza la operación de filtrado la torta aumenta, es necesario calcular este parámetro considerando que la velocidad y la carga de sólidos es constante (Ec. 5):

$$D_c = \frac{L \cdot v \cdot t}{\rho_c} \quad \text{Ec. 5}$$

$$\Delta P = \frac{D_f \mu v}{K_f} + \frac{\mu v}{K_c} \cdot L \cdot v \cdot t$$

Donde L corresponde a la carga de sólidos [g/m^3], v a la velocidad de filtración, t es el tiempo de operación y ρ_c es la densidad de torta.

Además, para poder ajustar la caída de presión como una ecuación lineal, se agregan dos conceptos importantes en la filtración como lo son el arrastre (S) y la densidad de polvo por área (W), quedando así la siguiente expresión (Ec. 6 y 7):

$$S = \frac{\Delta P}{v} \quad \text{Ec. 6}$$

$$W = L \cdot v \cdot t \quad \text{Ec. 7}$$

$$S = \frac{D_f \mu}{K_f} + \frac{\mu}{K_c \rho_c} W$$

Finalmente, se obtiene la siguiente ecuación:

$$S = K_1 + K_2 W \quad \text{Ec. 8}$$

Donde

$$K_1 = \frac{D_f \mu}{K_f}$$

$$K_2 = \frac{\mu}{K_c \rho_c}$$

FILTRO DE PRENSA

Un filtro prensa contiene un conjunto de placas diseñadas para proporcionar una serie de cámaras o compartimentos en los que se pueden recoger los sólidos. Las placas se recubren con un medio filtrante tal como una lona. La suspensión se introduce en cada compartimento bajo presión; el líquido pasa a través de la lona y sale a través de una tubería dejando detrás una torta húmeda de sólidos.

BALANCE DE MASA

Balace de masa al sólido (Ec. 9):

$$LA(1 - \varepsilon) \cdot \rho_p = c_s(V + \varepsilon LA) \quad \text{Ec. 8}$$

Donde L es el espesor de la torta, A es el área del filtro, ε es el factor de huecos, ρ_p es la densidad de las partículas sólidas de la torta, c_s la concentración de sólidos en la pulpa y V es el volumen total de filtrado.

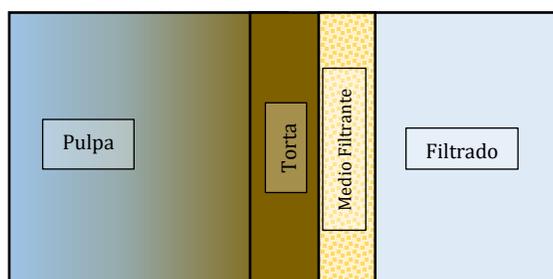


Figura 4. Esquema corte de una torta de filtración

Ecuación general filtración a presión constante (Ec. 9):

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{A\Delta P}{\mu\left(\frac{\alpha c_s V}{A} + R_M\right)} \quad \text{Ec. 9}$$

donde $\Delta P = \Delta P_{torta} + \Delta P_{medio}$, R_M es la resistencia del medio filtrante al flujo de filtración, μ es la viscosidad del filtrado y α es la resistencia de la torta.

Esta ecuación se puede reordenar e invertir para obtener una expresión lineal (Ec. 10):

$$\frac{dt}{dV} = \frac{\mu\alpha c_s}{A^2(-\Delta P)}V + \frac{\mu}{A(-\Delta P)}R_M = K_p V + B \quad \text{Ec. 10}$$

Donde

$$K_p = \frac{\mu\alpha c_s}{A^2(-\Delta P)}$$

$$B = \frac{\mu R_M}{A(-\Delta P)}$$

Para una presión invariable, α constante y una torta incompresible, se puede integrar esta ecuación para obtener el tiempo de filtración:

$$\frac{t}{V} = \frac{K_p}{2} V + B$$

REFERENCIAS

1. *Perry's Chemical Engineers Handbook*. **Robert Perry**. 7ma Ed.
2. *Escurrimiento de Fluidos: Aplicaciones*. **Alejandro Reyes**. 1ra Ed.
3. *Handbook of Hydraulics*. **Horace King**. 7ma Ed.
4. *Principios de Operaciones Unitarias*. **Alan Foust y Leonard Wenzel**. 2da Ed.
5. *Procesos de Transporte y Principios de Procesos de Separación*. **Christie Geankoplis**. 4ta Ed.
6. *Apuntes Fabric Filters*. <https://elearning.unipd.it/resource/content/.pdf>

ANEXO 1

Coefficiente de resistencia específica para algunos sólidos

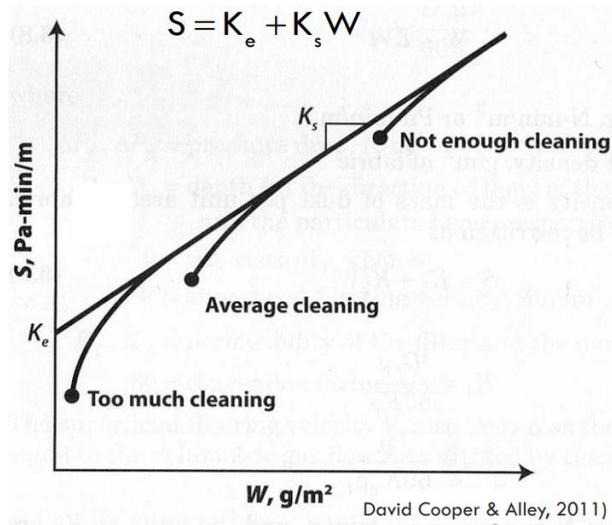
TABLE 17-5 Specific Resistance Coefficients for Certain Dusts*

Dust	K_2 † for particle size less than						
	20 mesh	140 mesh	375 mesh	90 μm	45 μm	20 μm	2 μm
Granite	1.58	2.20				19.8	
Foundry	0.62	1.58	3.78				
Gypsum			6.30			18.9	
Feldspar			6.30			27.3	
Stone	0.96			6.30			
Lampblack							47.2
Zinc oxide							15.7‡
Wood				6.30			
Resin (cold)		0.62				25.2	
Oats	1.58			9.60	11.0		
Corn	0.62		1.58	3.78	8.80		

*Data from Williams et al., *Heat. Piping Air Cond.*, **12**, 259–263 (1940).

ANEXO 2

Curva típica de filtro de manga



ANEXO 3

Curva típica de filtro de prensa

