

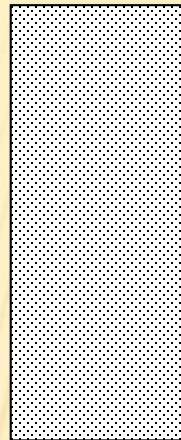
SEPARACION DE FASES POR MECANICA DE LOS FLUIDOS

CURSO 2025

SEDIMENTACION

Bibliografía: Operaciones Unitarias en Ing Quimica. Mc Cabe-Thiele- Cap 29
Elementos de Ing Química Vian Ocon Cap 12

Líquido turbio



Líquido claro

Partículas pequeñas

Partículas grandes

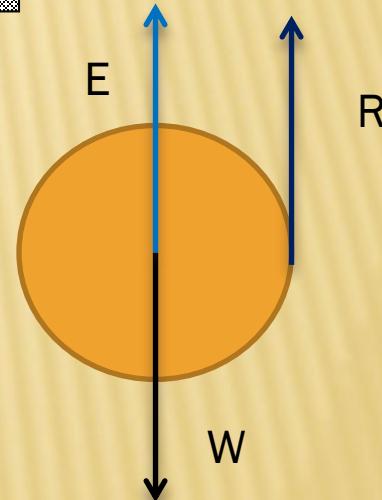
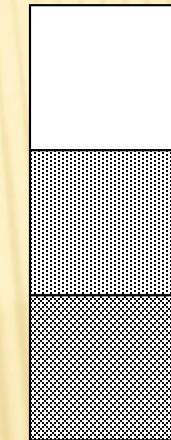
Fuerzas que actúan

$$\text{Peso de la partícula} = mg = \rho_s V_g = \pi D^3 P_s g / 6 \text{ (descendente)}$$

$$\text{Fuerza de flotación} = \pi D^3 \rho g / 6 \text{ (ascendente)}$$

$$\text{Fuerza de frotamiento} = C_d \rho A V^2 / 2 \text{ (De MDF) es mas difícil de aplicar}$$

$$\text{Se utiliza en su lugar : } A \rho v^2 \cdot \Phi_1(\text{Re}) = (\pi/4) D^2 \rho v^2 \cdot \Phi_1(\text{Re}) \text{ (ascendente)}$$



En equilibrio se verifica que las tres fuerzas se igualan

$$\pi D^3 \rho_s g / 6 = \pi D^3 \rho g / 6 + (\pi/4) D^2 \rho v^2 \cdot \Phi_1(Re)$$

De donde se despeja v (velocidad de sedimentación)

$$v = \sqrt{\frac{4D(\rho_s - \rho)g}{6\rho} / \Phi_1(Re)}$$

$$\Phi_1 = 12/Re \text{ para } Re < 2$$

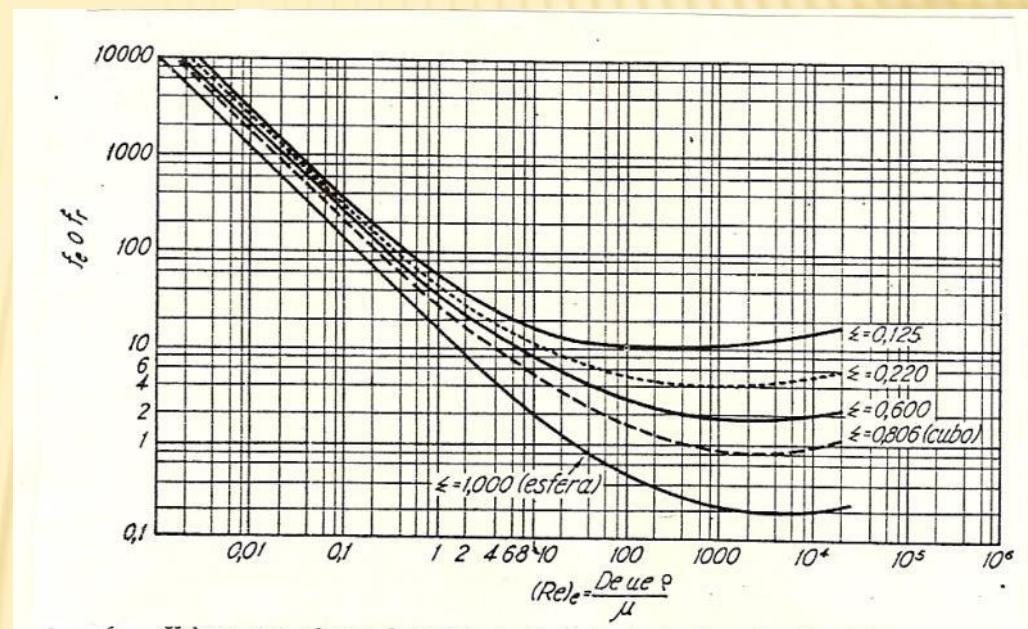
$$\Phi_1 = 12/Re(1+0,14Re^{0,7}) \text{ para } 2 < Re < 2000$$

$$\Phi_1 = 0,25 \text{ para } 3000 < Re < 150000$$

Para partículas no esféricas se usa el diámetro equivalente

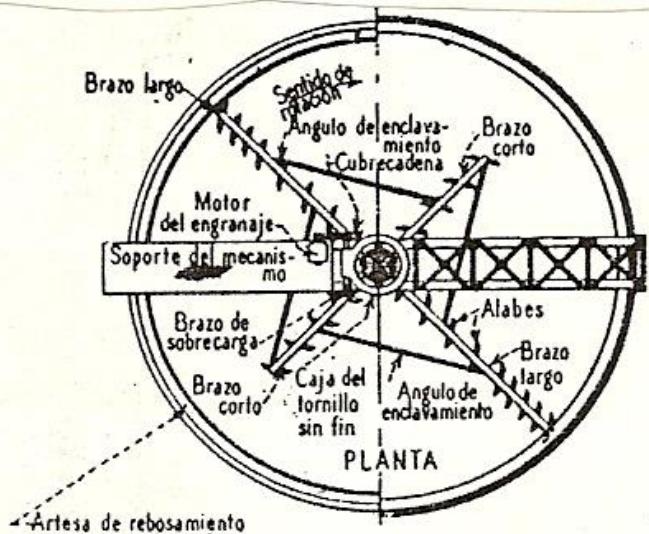
forma de la partícula	dimensiones características	diámetro equivalente D_e	esfericidad	V/A máx. (con relación al cubo)
cilindro	$L=4d$	$1,81d$	0,74	0,53
	$L=2d$	$1,44d$	0,85	0,65
cubo	-	$1,24L$	0,806	1,00
placa cuadrada	$H=0,2L$	$0,73L$	0,58	0,33
	$H=0,02L$	$0,34L$	0,18	0,073
	$H=0,01L$	$0,25L$	0,12	0,05
disco	$H=0,2d$	$0,67d$	0,72	0,36
	$H=0,02d$	$0,31d$	0,19	0,075
	$H=0,01d$	$0,25d$	0,115	0,045
esfera	-	d	1,00	0,83

— Valores del diámetro equivalente, D_e ; de la esfericidad, y del cociente V/A para diversas formas de partículas. (Datos de CROFT.)

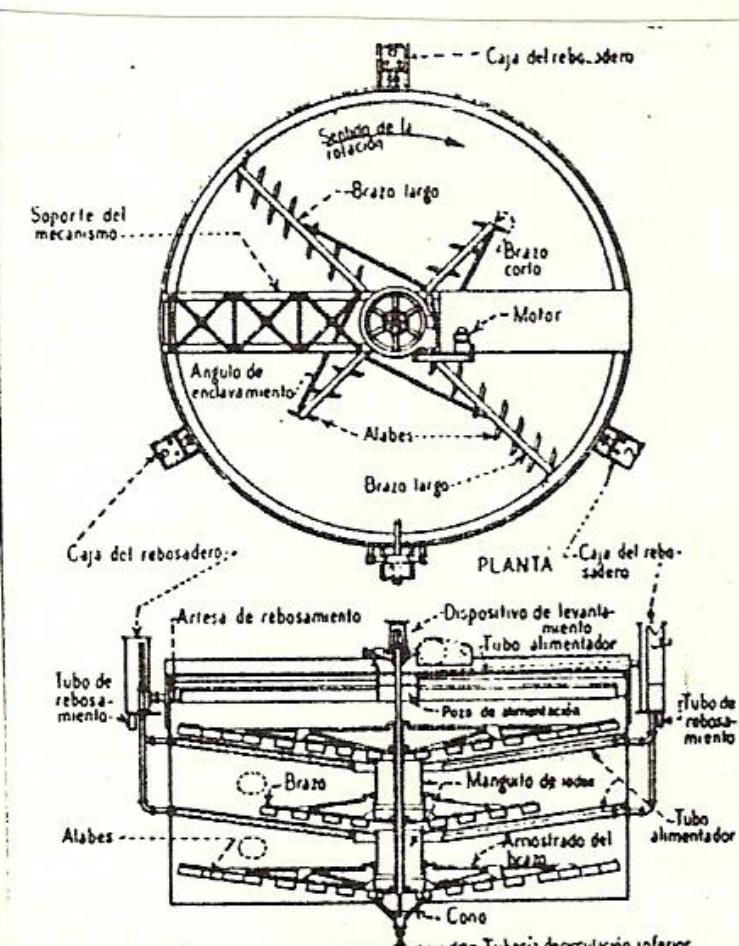
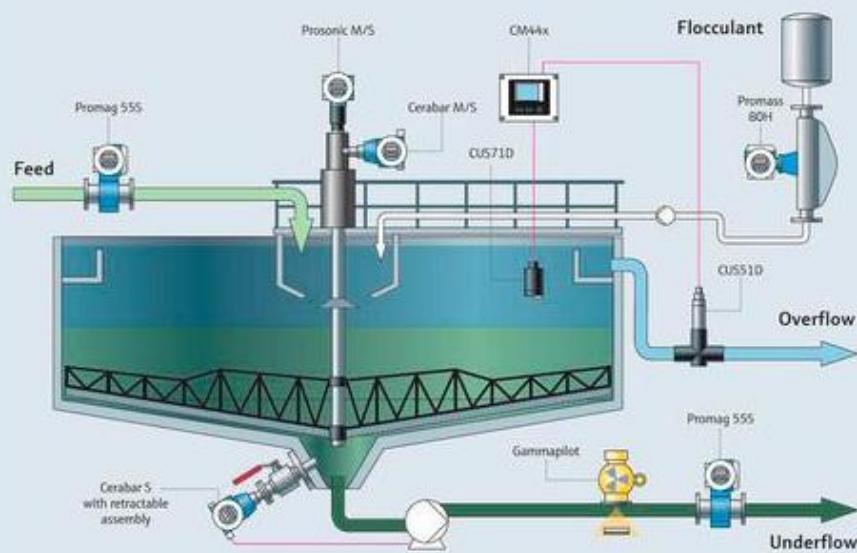


— Valores que adopta el coeficiente de frotamiento, f , en función del número de REYNOLDS, $(Re)_e$, y de la esfericidad, Σ , de las partículas (WADELL).

SEDIMENTADORES



Thickener / Concentrator

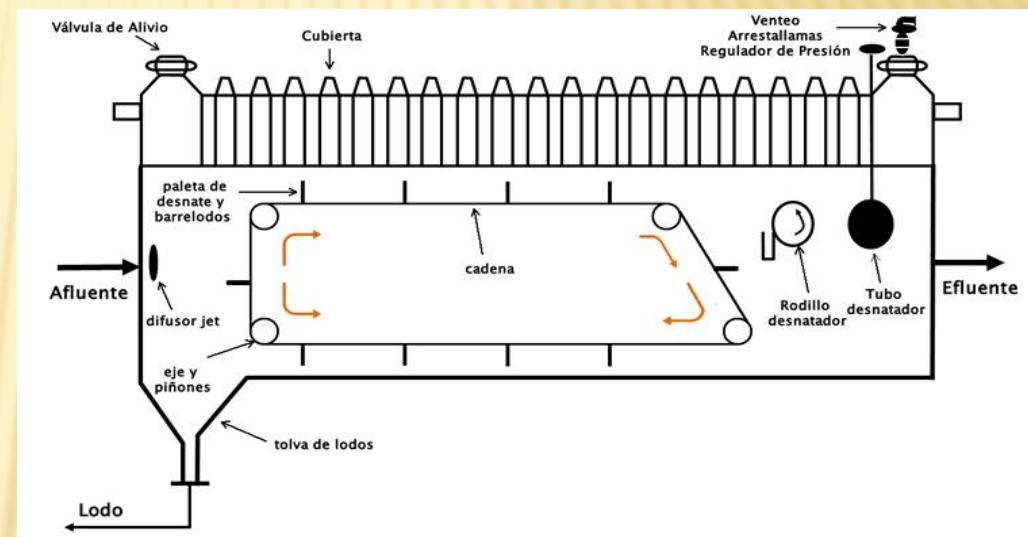
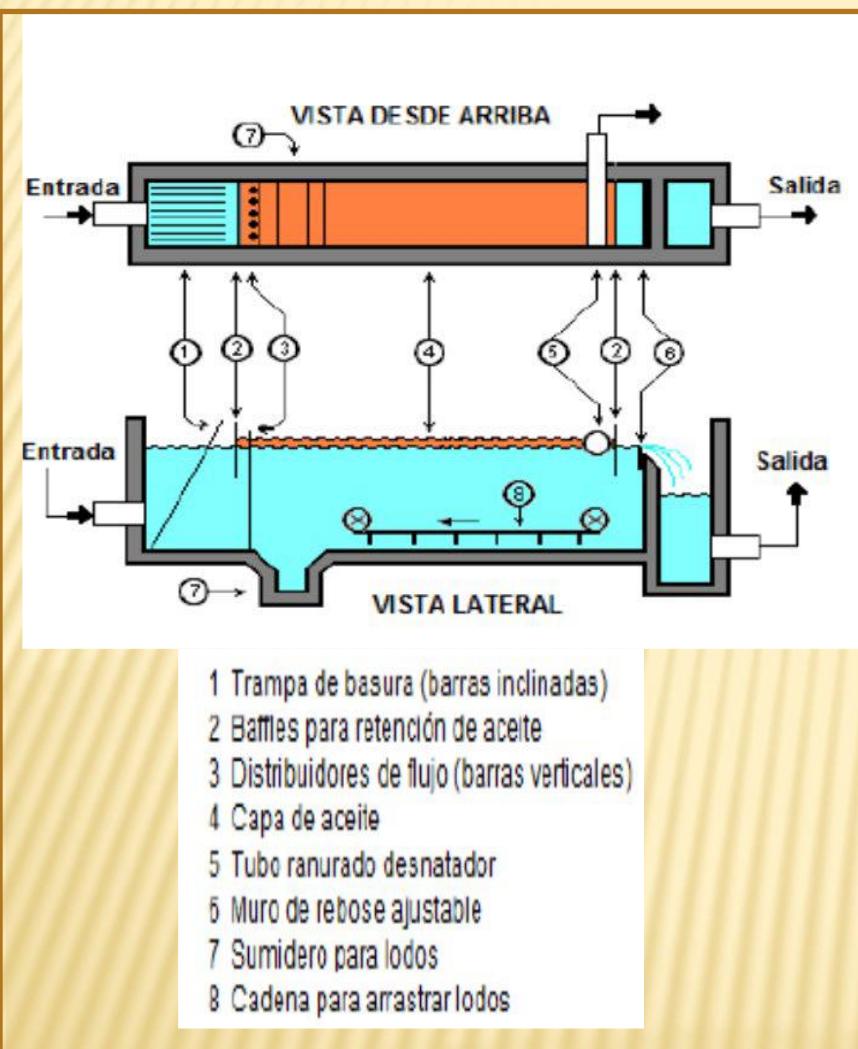


SECCION DEL ALZADO
Fig. 13. El espesador Dorr de bateas.

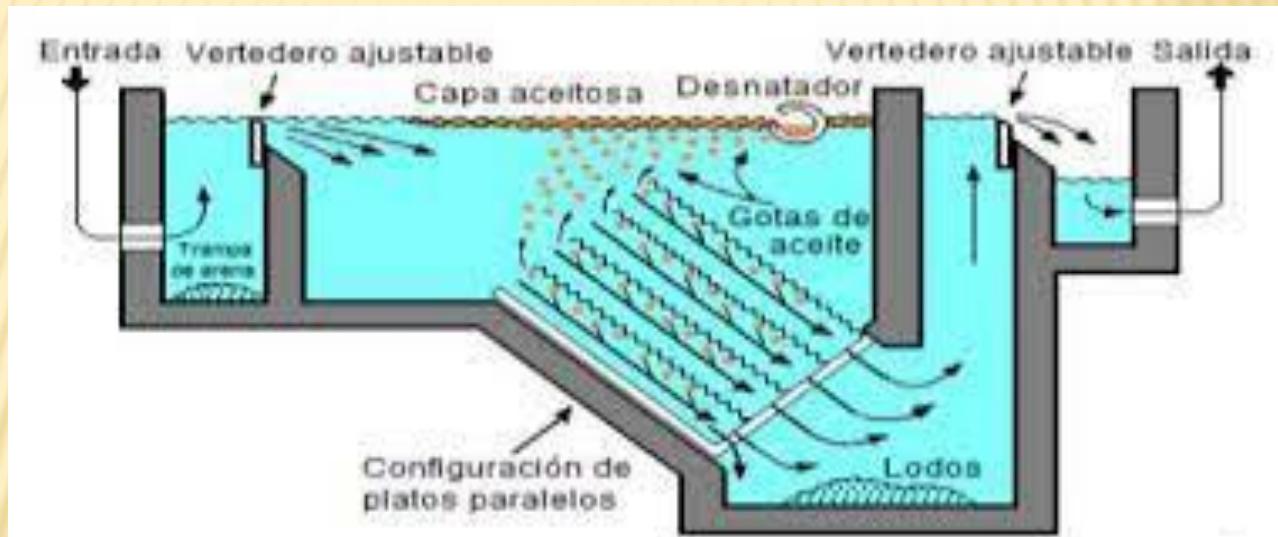
SEDIMENTADORES



SEPARADOR API



Separador CPI (interceptor de placas corrugadas)



CLASIFICACIÓN HIDRÁULICA

$$v_1 = k \cdot (D_1)^{1/2}$$

$$v_2 = k \cdot (D_2)^{1/2}$$

$$v_1 = K (\rho_{s1} - \rho) ^{1/2}$$

$$v_2 = K (\rho_{s2} - \rho) ^{1/2}$$

$$v_1 = K [(\rho_{s1} - \rho) D_1 / \rho]^{1/2}$$

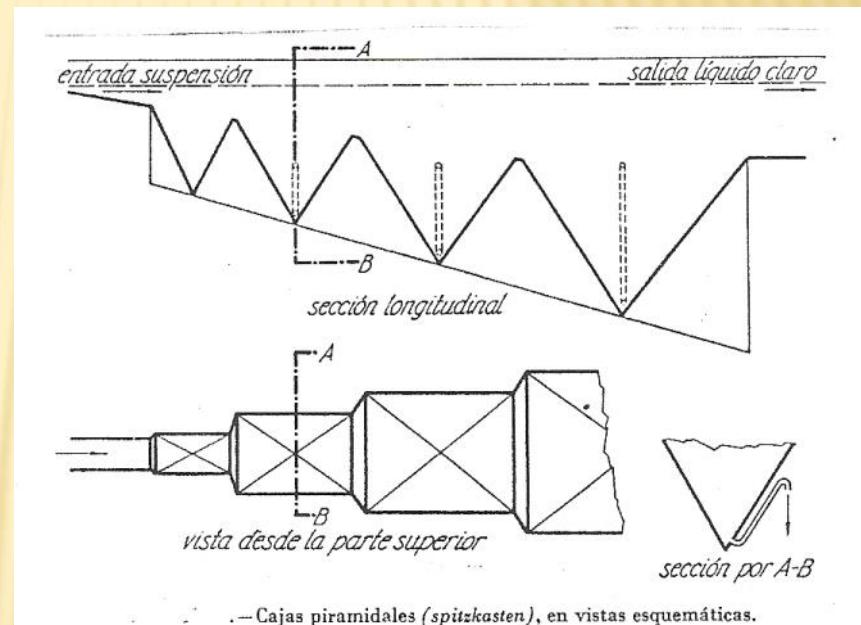
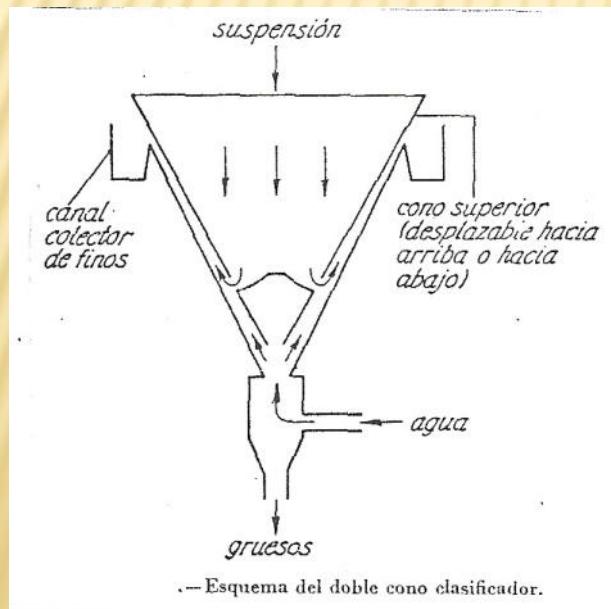
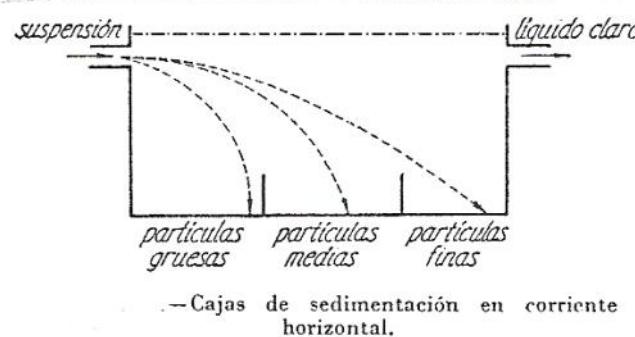
$$v_2 = K [(\rho_{s2} - \rho) D_2 / \rho]^{1/2}$$



Líquido y
partículas
livianas

Partículas
densas

EQUIPOS PARA CLASIFICACIÓN HIDRÁULICA



Diseño de un sedimentador rectangular

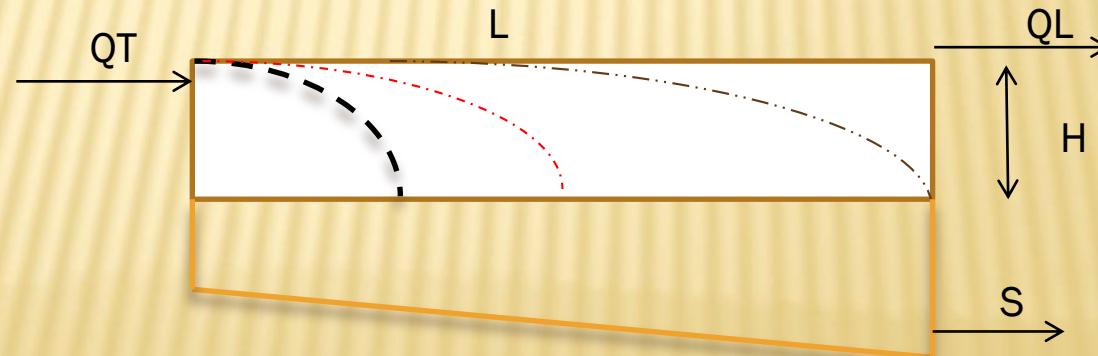
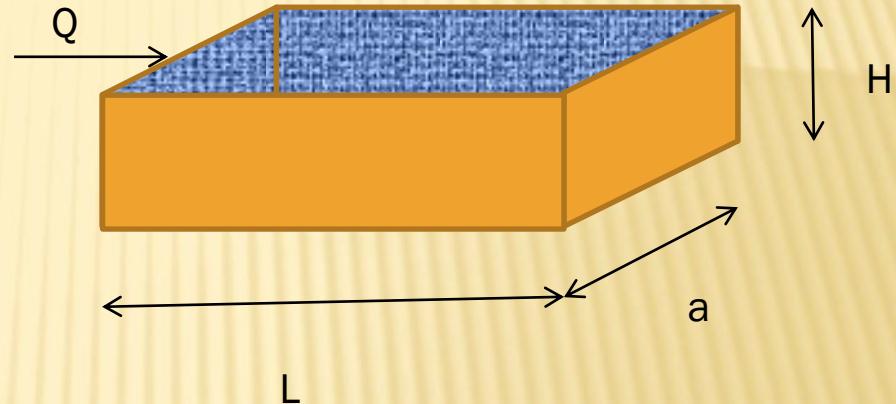
1- Calculo Vs

2- Fijo el $Q = V \cdot A = V \cdot H \cdot a$

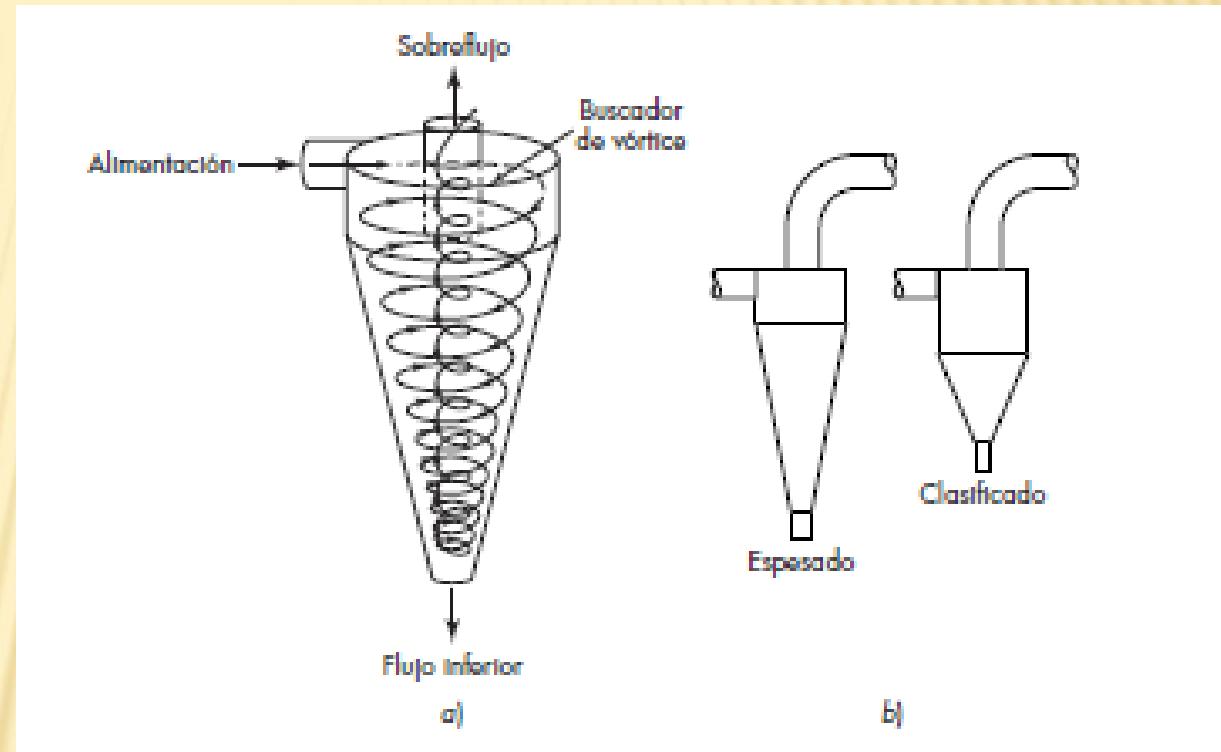
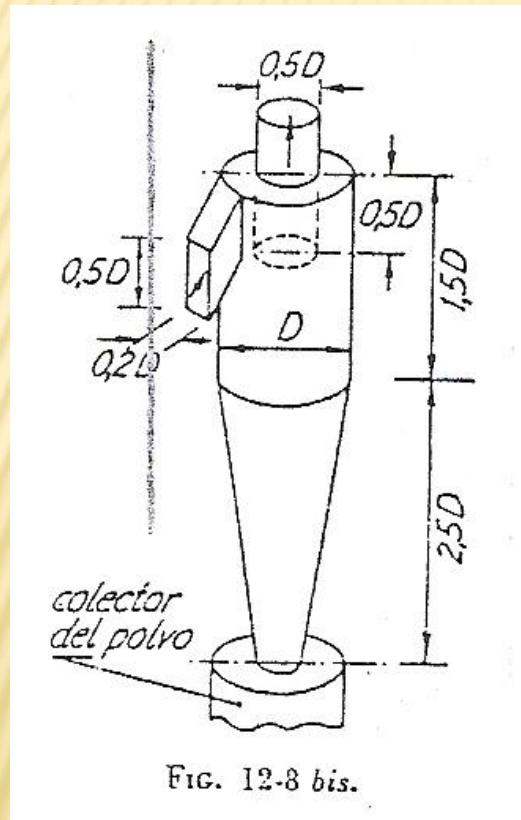
$$V = Q / H \cdot a$$

3- $v_s = H/t \Rightarrow t = H/v_s$

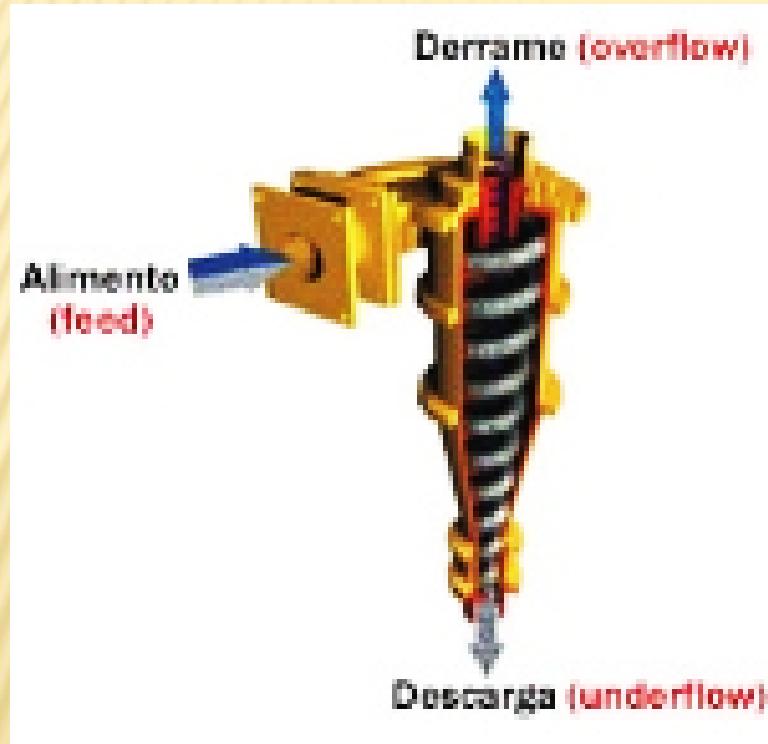
4- $V = t \cdot L \Rightarrow$ saco L



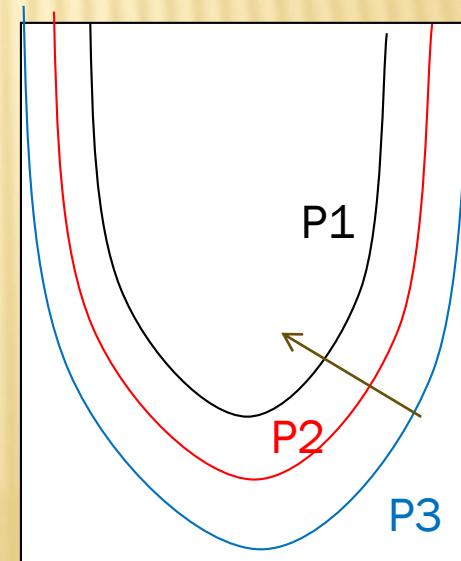
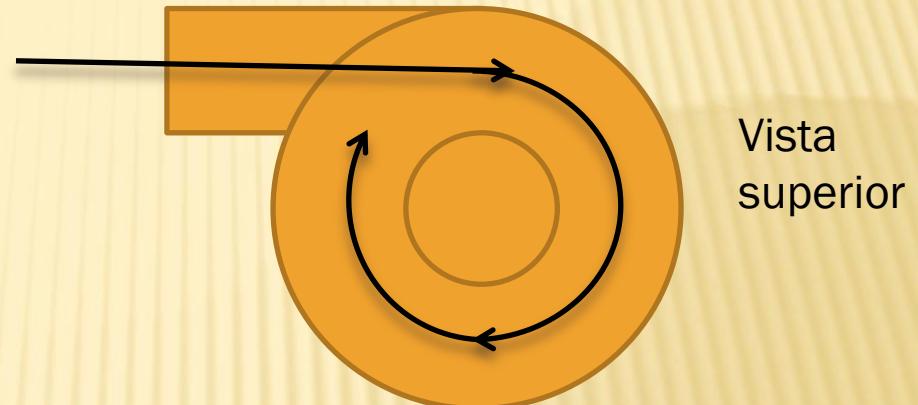
SEDIMENTADORES CENTRÍFUGOS: CICLONES



SEDIMENTADORES CENTRÍFUGOS CICLON



Corte vertical



Distribución de Presiones
en un vórtice forzado



**Advanced
Cyclone
Systems**

SEDIMENTACIÓN CENTRÍFUGA APLICADA A LOS CICLONES

✖ $F_c = mv_c^2/r = Wv_c^2/gr$

Partícula más fina colectada.

El gas más las partículas entran al ciclón en forma espiral con una velocidad V_e y un diámetro de espiral d . Si designamos a N_s = número de espiras y R_c = radio del ciclón ($D/2$) la distancia recorrida por el gas en el ciclón= $2\pi R_c \cdot N_s$

$$F_c = mv_c^2/r = W v_c^2/gr$$

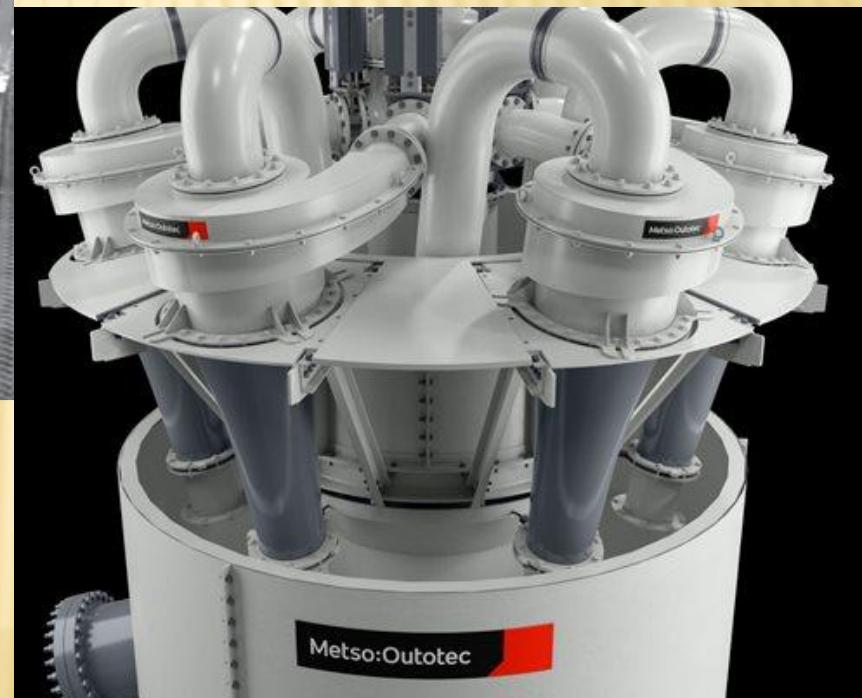
$$\text{Tiempo recorrido } t = 2\pi R_c \cdot N_s / V_e$$

$$\text{Velocidad de deriva (de la formula de Stokes)} : g \cdot d_g^2 (\rho_s - \rho_g) / (18\pi)$$

$$V_d = (V_e^2 / R_c) \cdot d_g^2 (\rho_s - \rho_g) / 18\pi$$

$$V = e/t = d \cdot V_e / 2\pi R_s \cdot N_s = (V_e^2 / R_c) \cdot d_g^2 (\rho_s - \rho_g) / 18\pi$$

Vista de un espesador mediante hidrociclos (uso minero)



Hidrociclones para uso petrolero



SEDIMENTADORES CENTRÍFUGOS

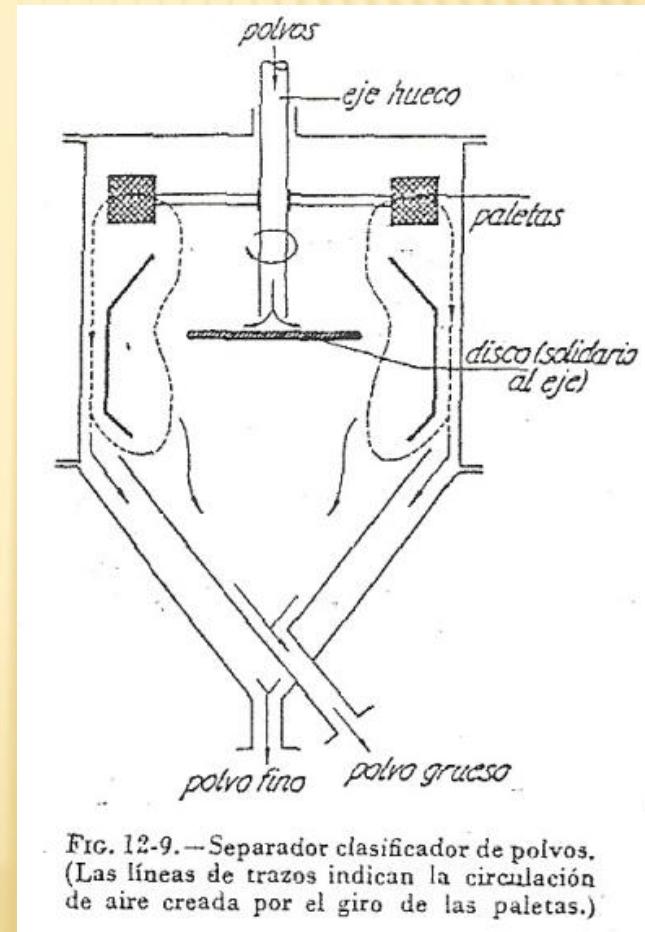
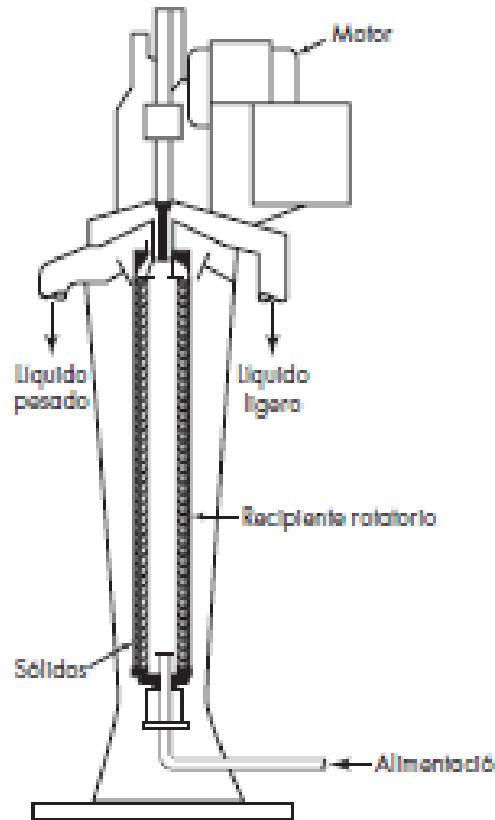
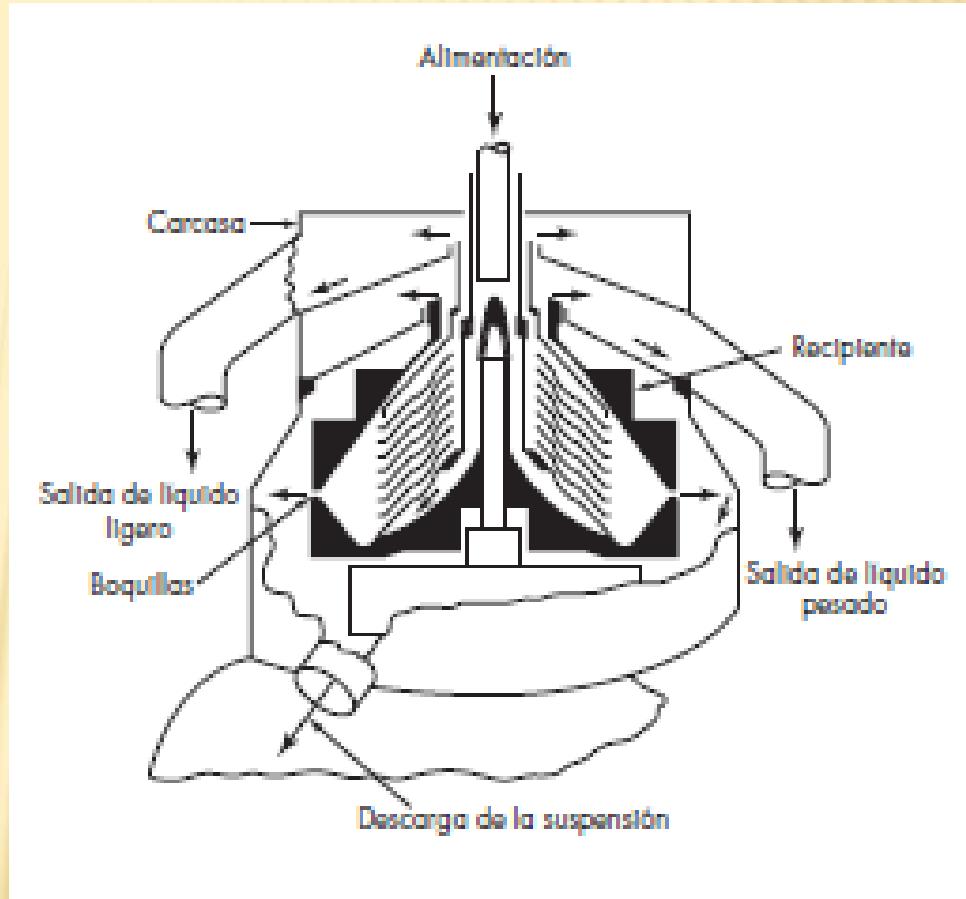


FIG. 12-9.—Separador clasificador de polvos.
(Las líneas de trazo indican la circulación de aire creada por el giro de las paletas.)

SEDIMENTADORES CENTRÍFUGOS: CENTRÍFUGAS



Cilindro de eje vertical



Centrifuga de discos

Teoría de la sedimentación aplicada a las centrífugas

Velocidad terminal

$$u_t = \frac{\omega^2 r (\rho_p - \rho) D_p^2}{18\mu}$$

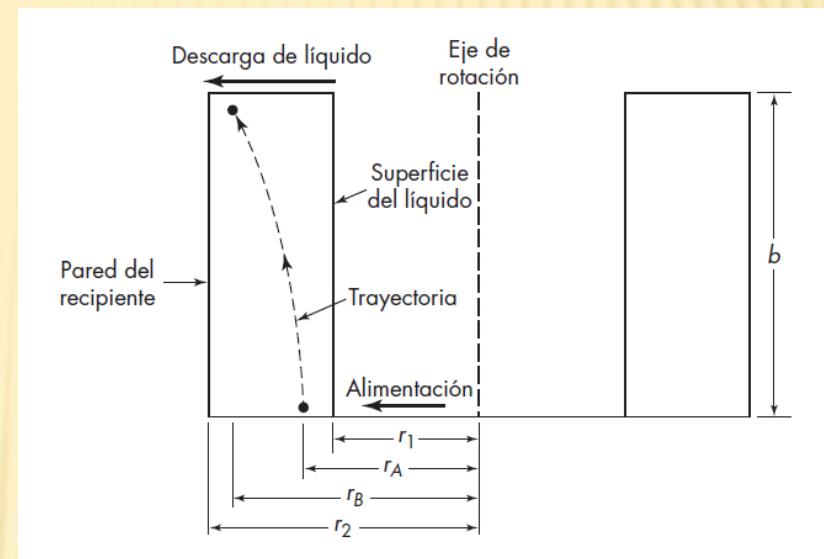
Tiempo de residencia

$$t_T = \frac{18\mu}{\omega^2 (\rho_p - \rho) D_p^2} \ln \frac{r_B}{r_A}$$

Tiempo de residencia = Volumen/Caudal

Caudal

$$q = \frac{\pi b \omega^2 (\rho_p - \rho) D_p^2}{18\mu} \frac{r_2^2 - r_1^2}{\ln(r_B/r_A)}$$



Se puede definir el *punto de corte* como el diámetro de la partícula que justamente alcanza la mitad de la distancia entre $r1$ y $r2$.

Flujo volumétrico diámetro de corte

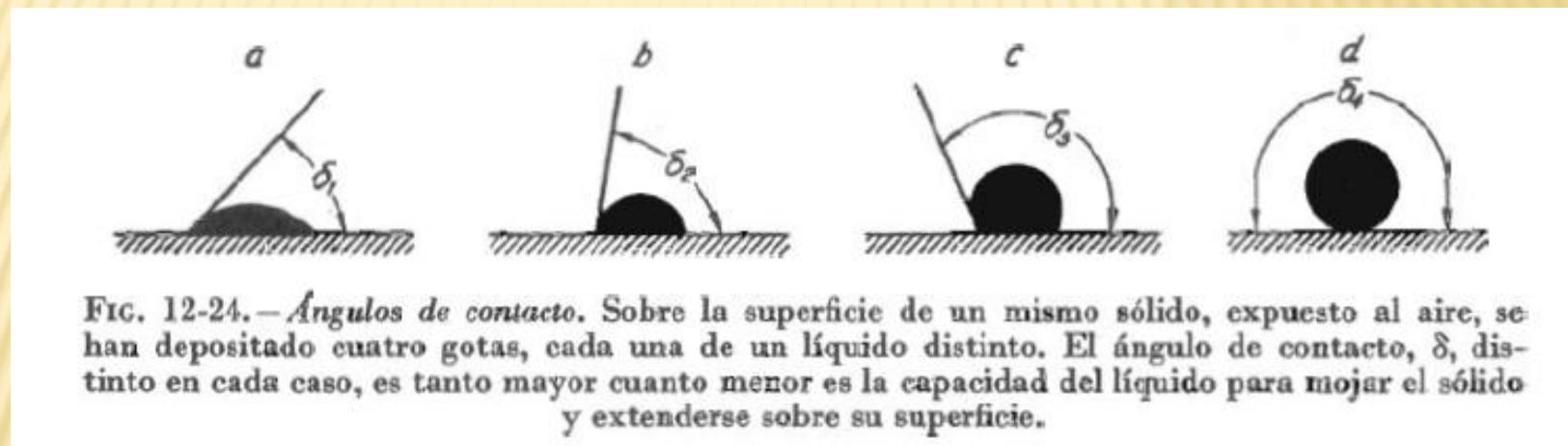
$$q_c = \frac{\pi b \omega^2 (\rho_p - \rho) D_{pc}^2}{18\mu} \frac{r_2^2 - r_1^2}{\ln[2r_2/(r_1 + r_2)]}$$

$$q_c = \frac{2V u_t}{s} = \frac{2V D_p^2 (\rho_p - \rho) \omega^2 r_2}{18\mu s}$$

$$u_t = \frac{D_p^2 (\rho_p - \rho) \omega^2 r_2}{18\mu}$$

FLOTACION

Operación en la que se separan sólidos finamente divididos por diferencia entre tensiones interfaciales en un sistema ternario agua-sólido-aire, separando los sólidos de interés como una espuma que flota

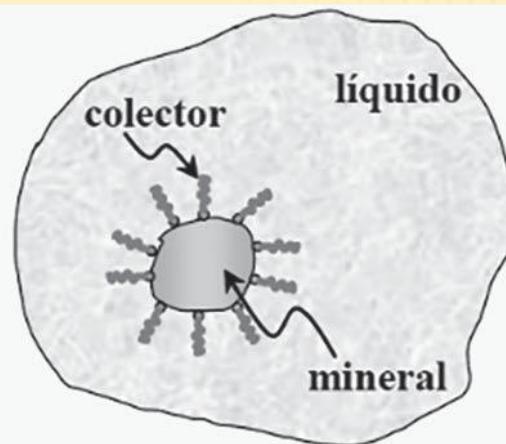
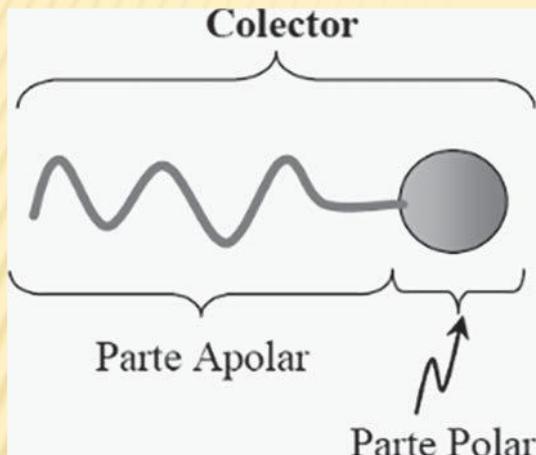


Para mejorar estas propiedades se usan

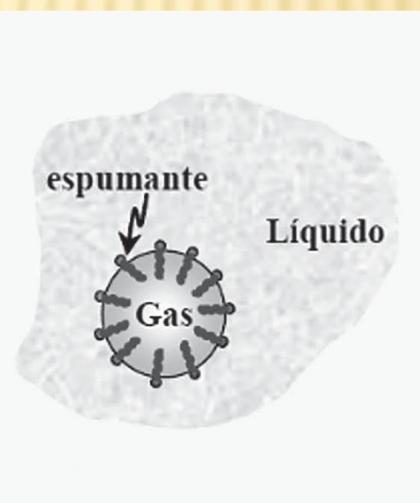
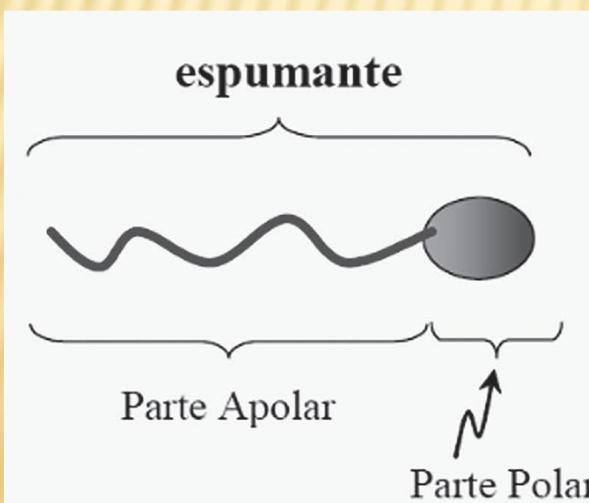
- Espumantes
- Colectores
- Promotores
- Modificadores: pueden ser inhibidores o por el contrario activadores

Para mejorar estas propiedades se usan

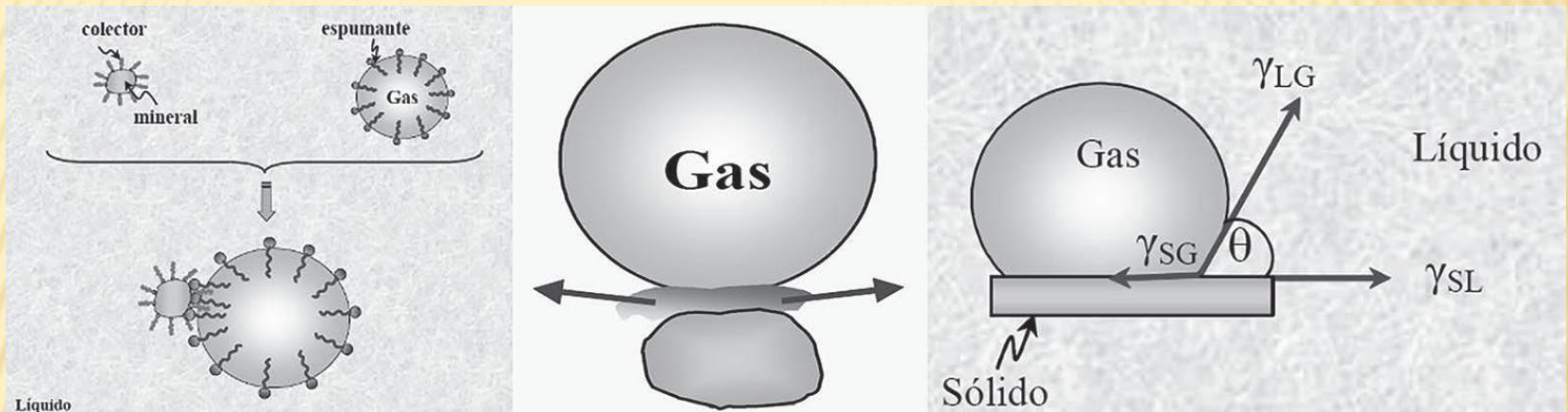
- Colectores: el sólido queda inmerso en el líquido



- Espumantes: el gas queda en forma de burbuja dentro del líquido



Interacción colector espumante



Equipos industriales

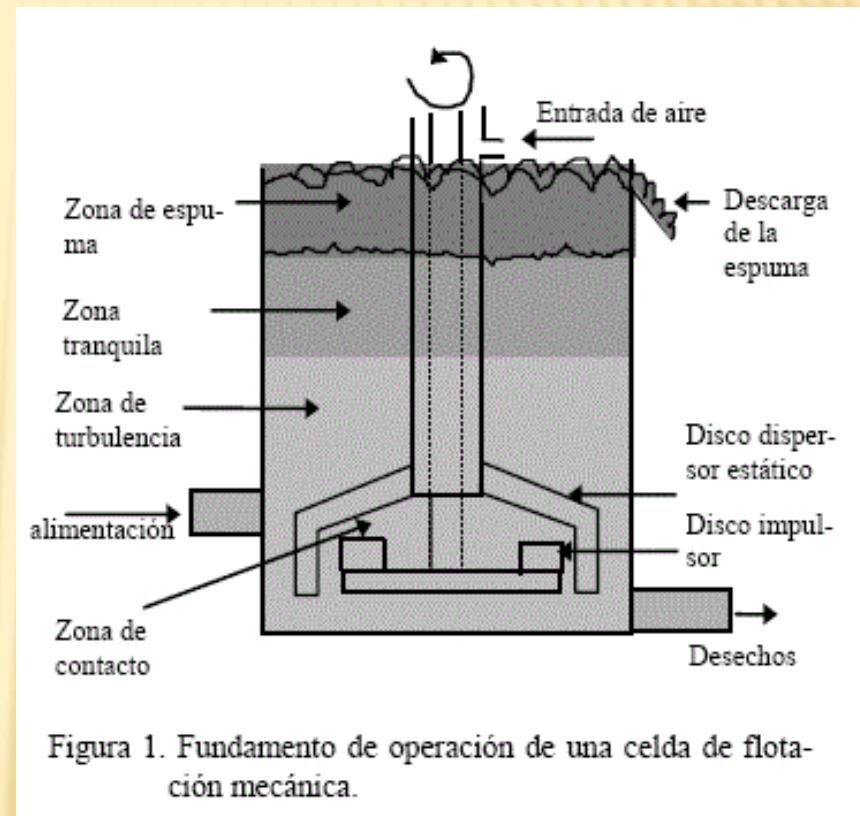
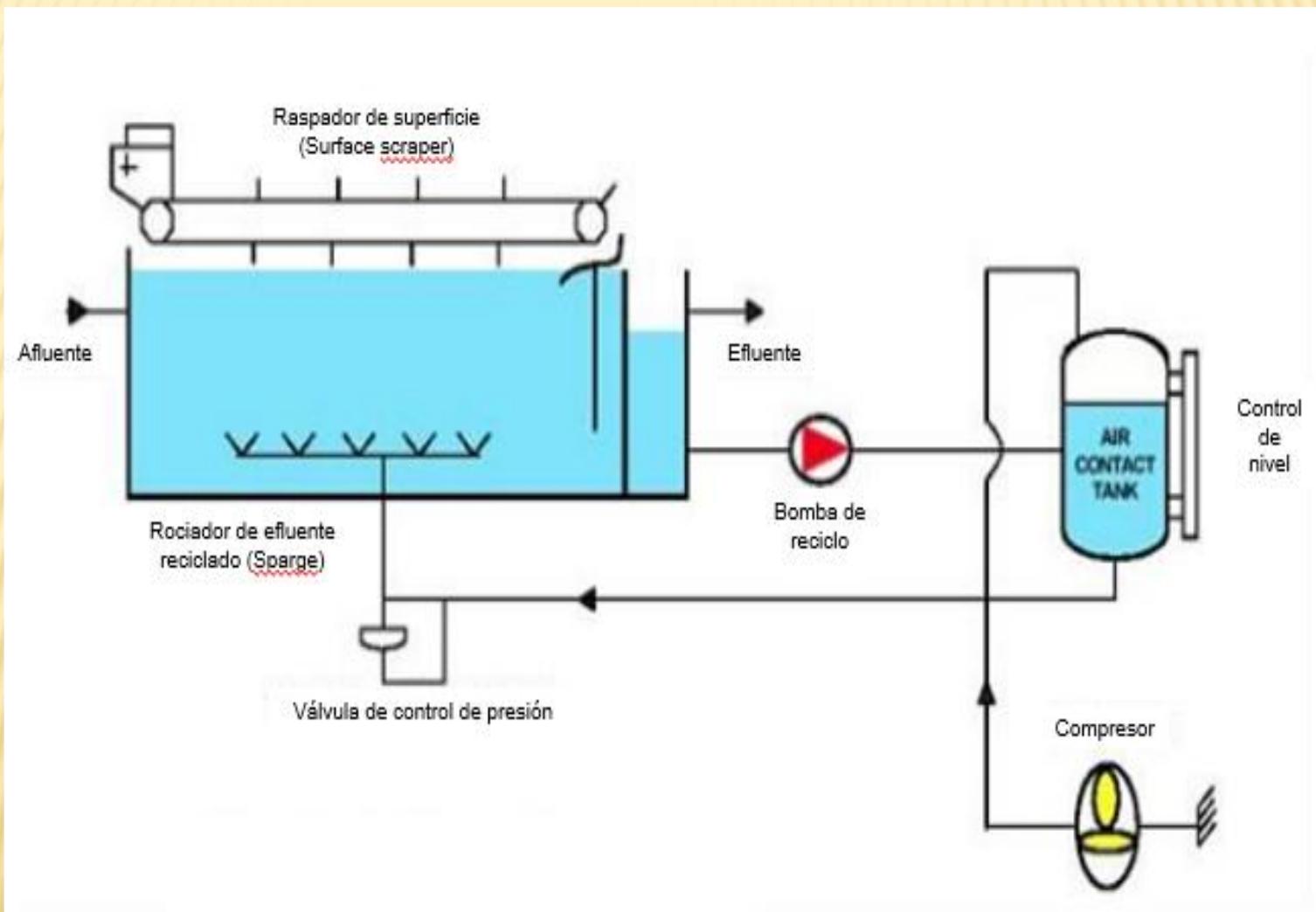


Figura 1. Fundamento de operación de una celda de flotación mecánica.

SEPARADOR DAF

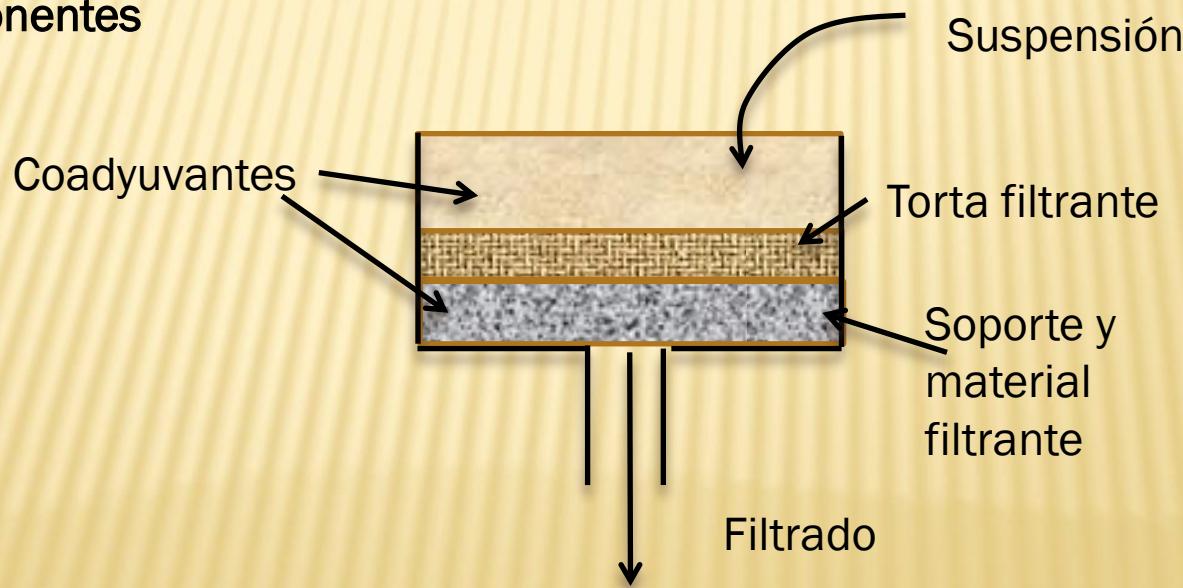


FILTRACION

Bibliografía: Operaciones Unitarias en Ing Química. McCabe-Thiele- Cap 29
Elementos de Ing Química Vian Ocon Cap 14

La filtración es la separación de partículas sólidas a partir de un fluido mediante el paso del fluido a través de un medio filtrante o *pared separadora* sobre el que se depositan los sólidos. Las filtraciones industriales van desde un sencillo colado hasta separaciones altamente complejas. El fluido puede ser un líquido o un gas

Componentes

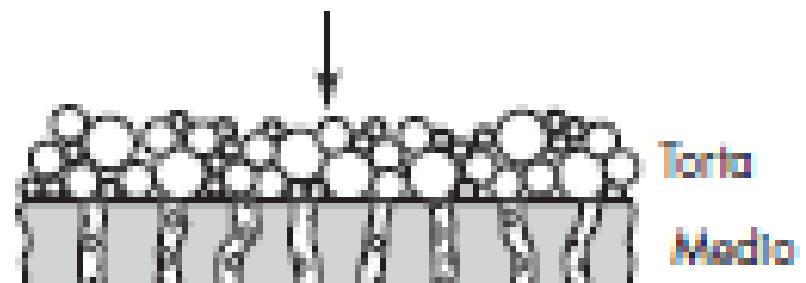


FILTRACION

Fuerza directriz: diferencia de presión entre ambas caras del material filtrante

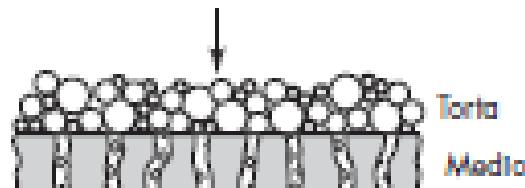
Etapas del proceso

- Preparación de la suspensión, agregado de coadyuvantes
- Preparación del material filtrante
- Formación de la torta
- Lavado de la torta
- Secado
- Separación de la torta

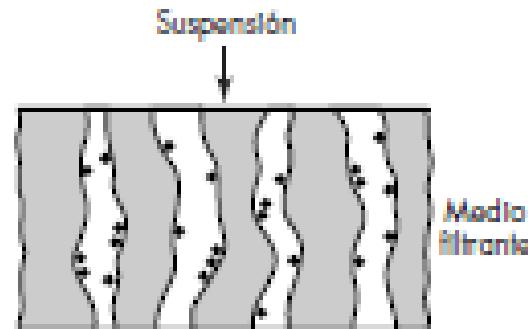


FILTROS

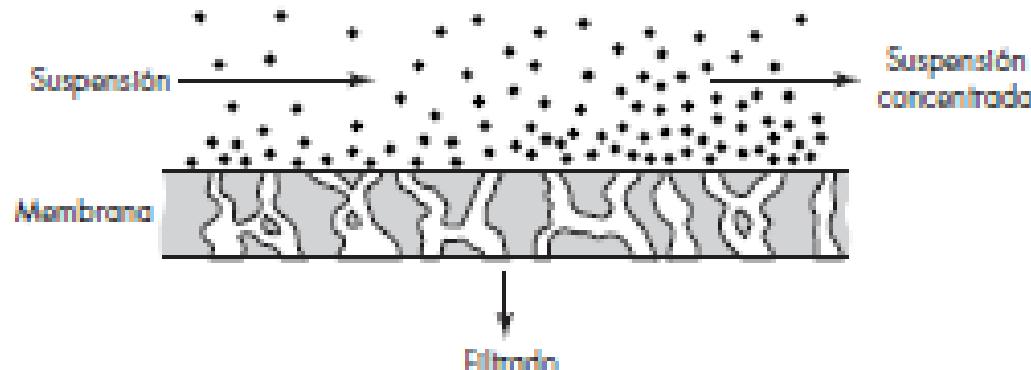
Clasificación de acuerdo a la función



Filtro de torta



Filtro de clarificación

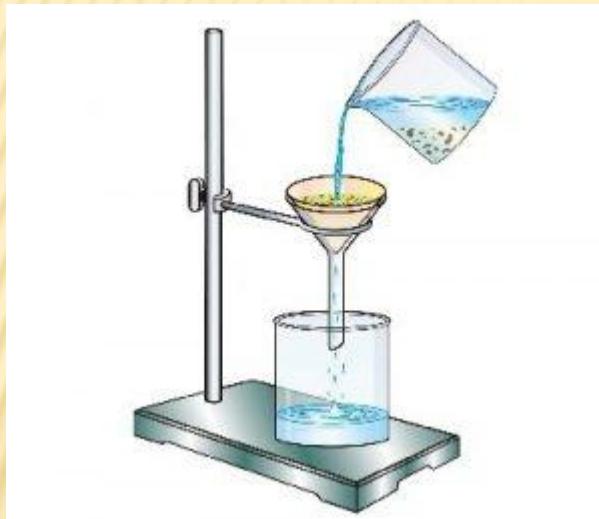


Filtro de flujo tangencial

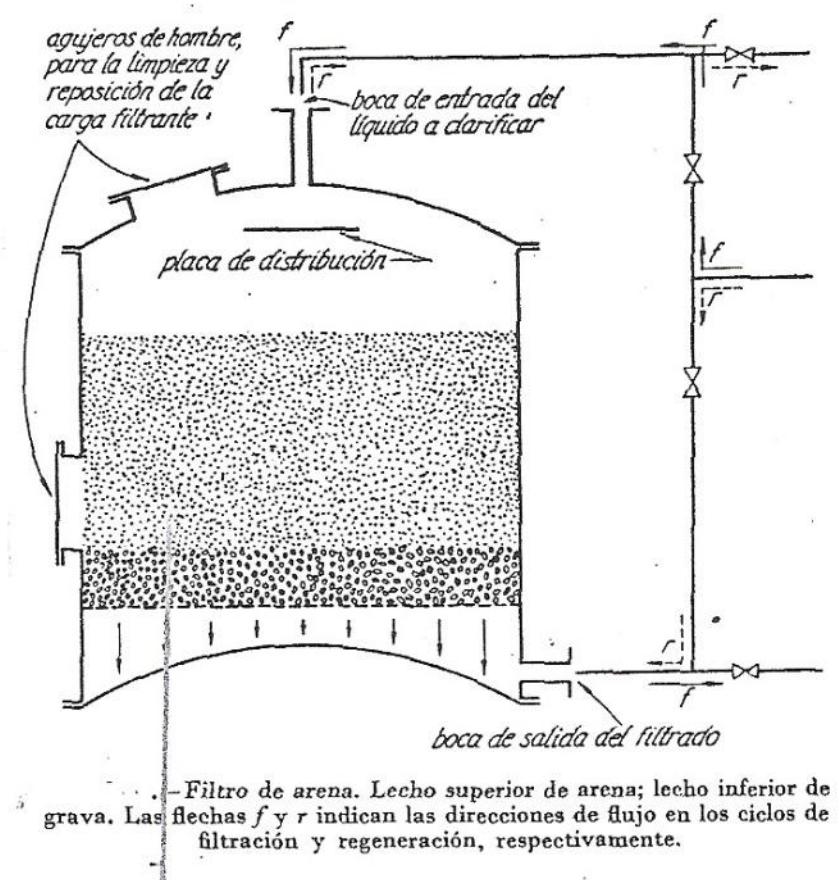
FILTROS

CLASIFICACION EN FUNCION DE LA FUERZA DIRECTRIZ

Filtro de gravedad



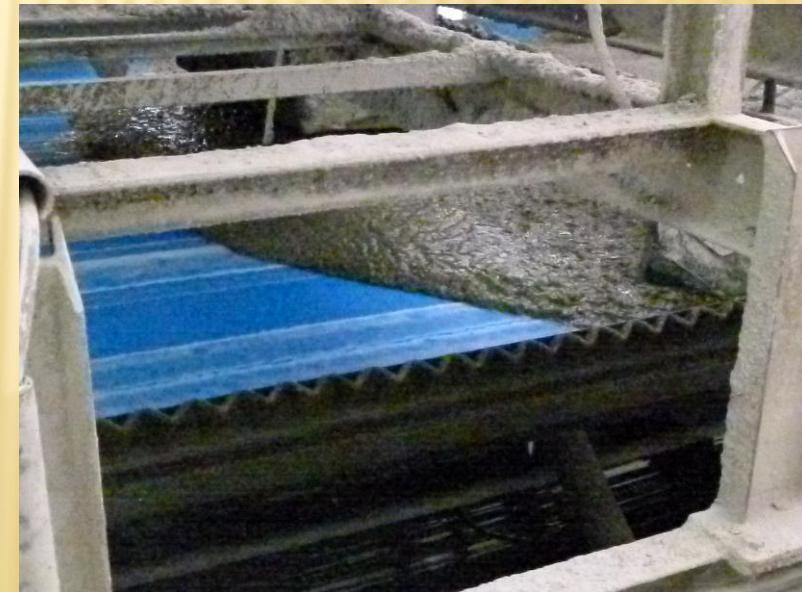
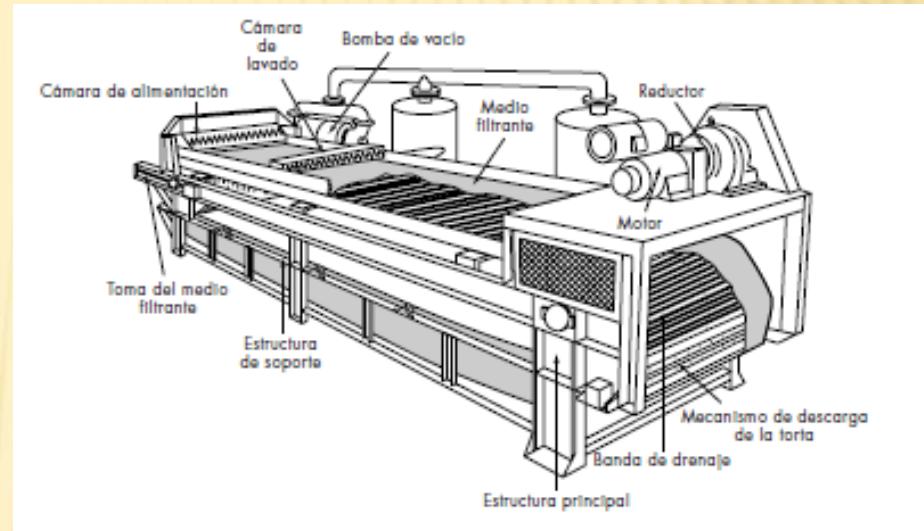
Grandes volúmenes con pocas partículas en suspensión. Son discontinuos

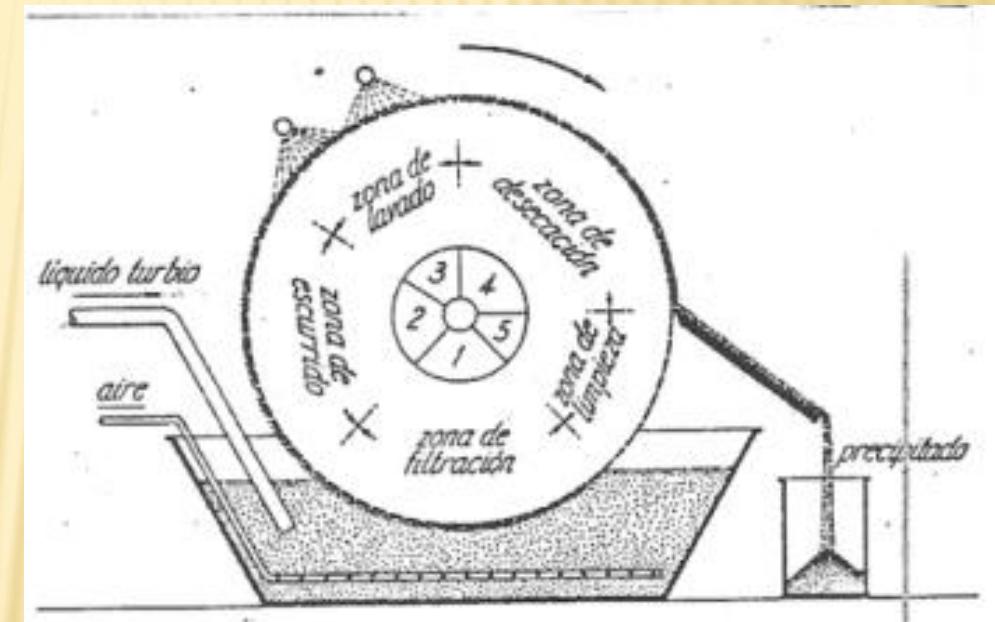
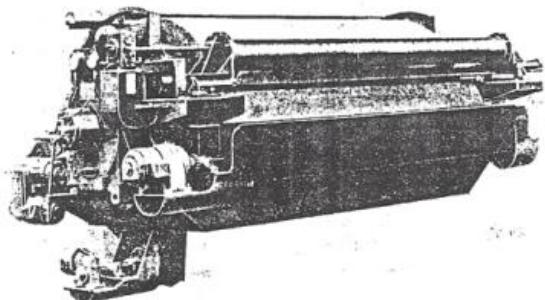
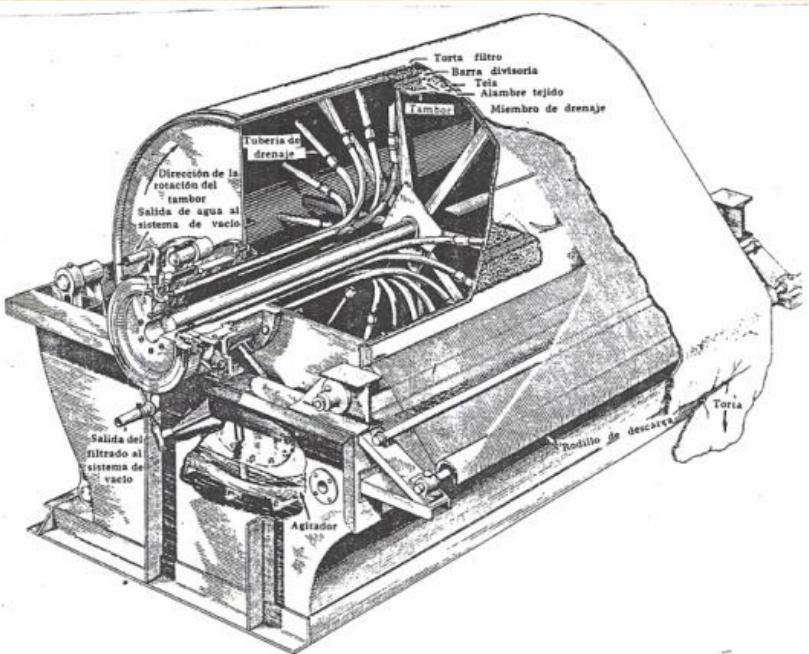


FILTROS

CLASIFICACION EN FUNCION DE LA FUERZA DIRECTRIZ

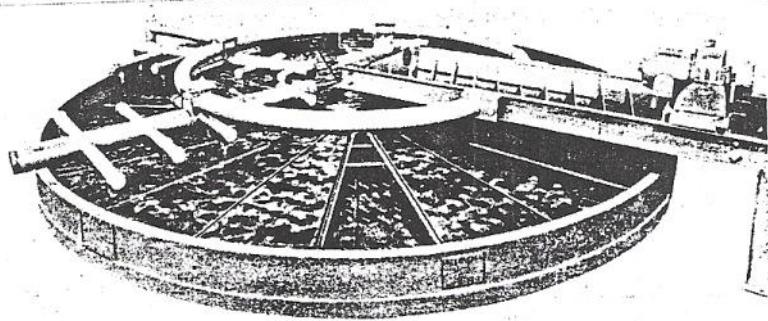
Filtros de vacío







Filtro de
tambor



Filtro de vacío rotatorio horizontal, que muestra la disposición de la tubería para los dos pasos de lavado y el mecanismo de desprendimiento de la torta. Una sección del medio filtrante se ha quitado para ilustrar el soporte de la cubierta y el declive de drene. (Cortesía de Dorr-Oliver Inc.)

Rodillo de descarga

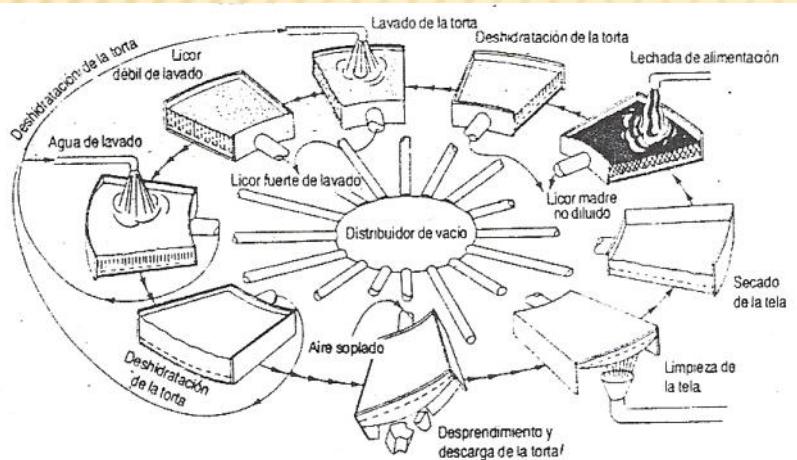
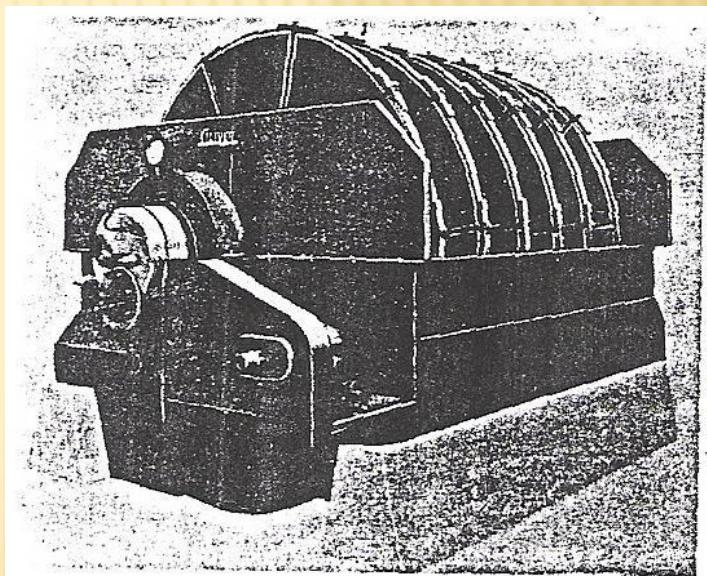
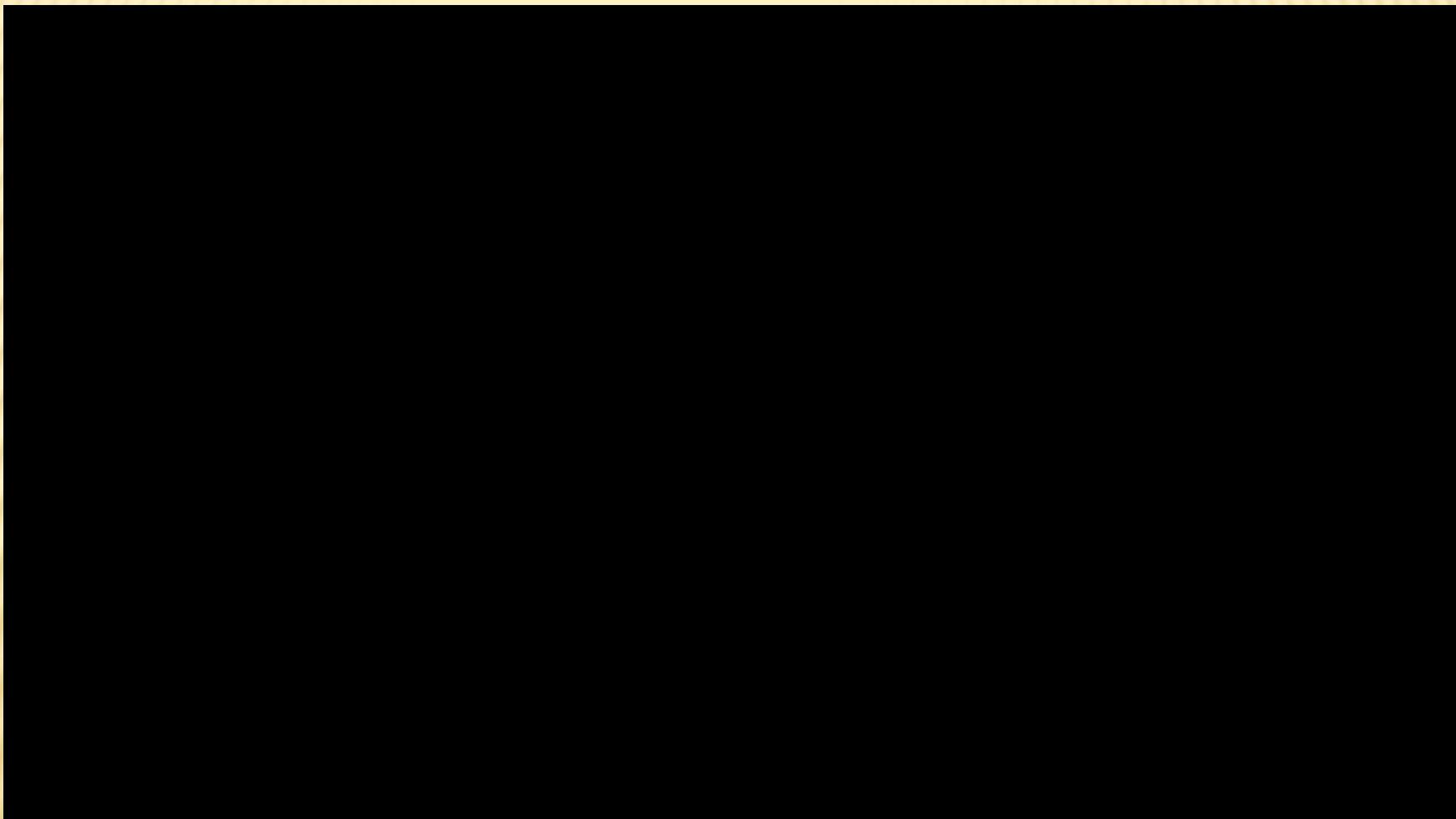


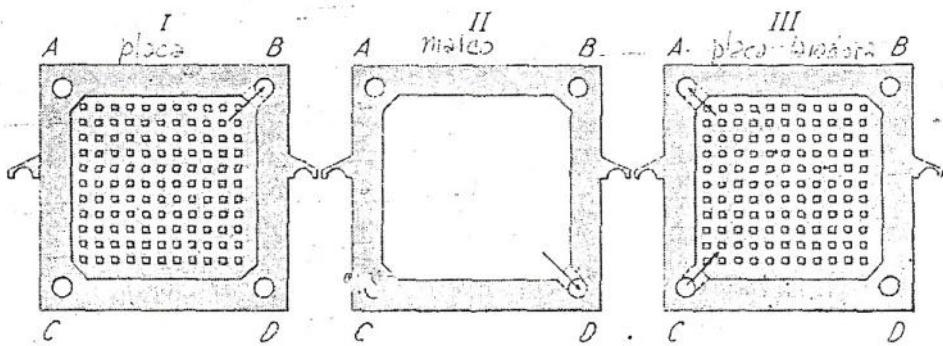
Diagrama esquemático que ilustra el ciclo del filtro de paillas inclinables Bird-Prayon. (Bird Machine Co.)



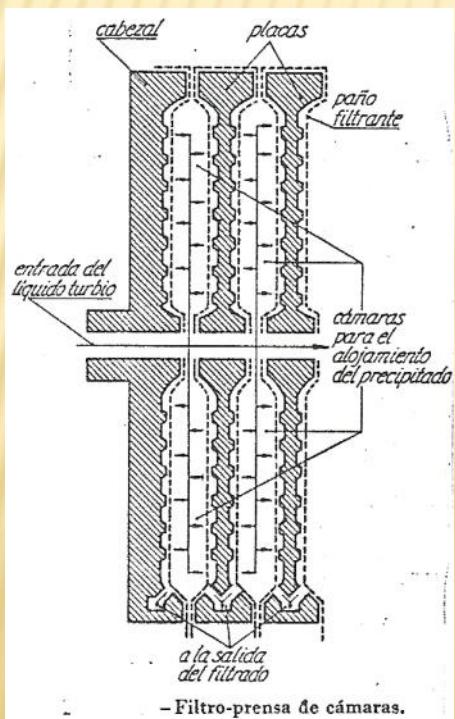
Filtro de vacío de discos rotatorios de 8 pies de diámetro y 6 discos, mostrando el extremo donde se encuentra la válvula y el mecanismo de acción. (Cortesía de Dorr Oliver, Inc.)



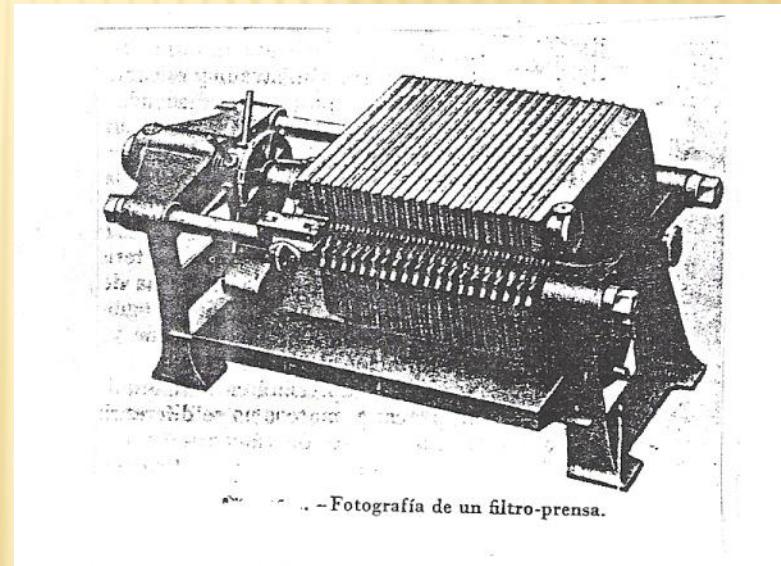
FILTROS DE PRESIÓN



—Placas I, II y III de un filtro-prensa.
A, canal de salida del filtrado; B, canal de salida del filtrado o del líquido de lavado; C, canal de entrada del líquido de lavado; D, canal de entrada del líquido turbio.



—Filtro-presa de cámaras.



—Fotografía de un filtro-presa.



Filtro prensa
de marcos
y placas

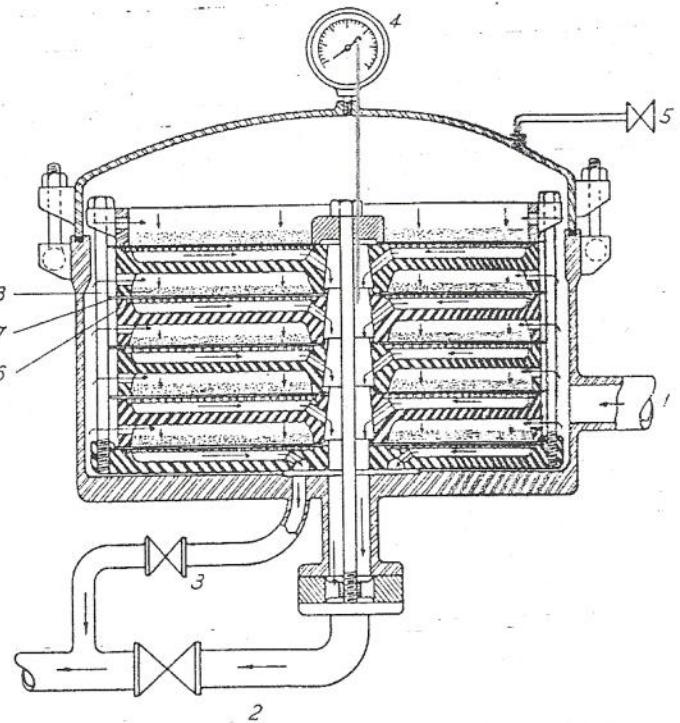
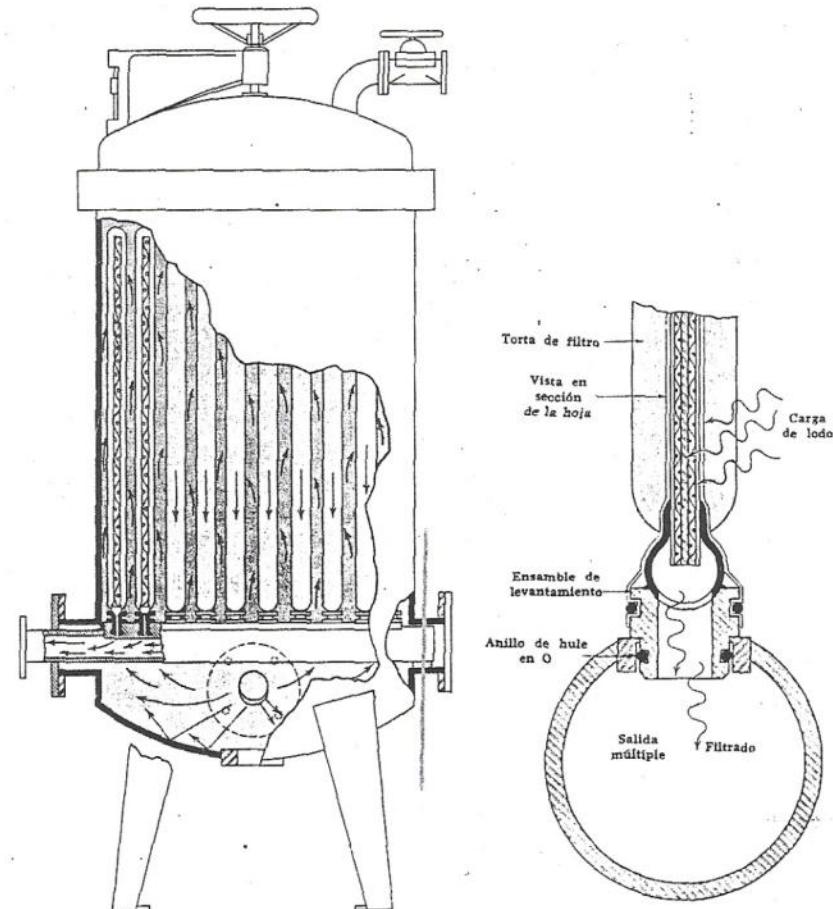


Fig. 1. —Filtro SPARKLE.
1, entrada del líquido turbio; 2, salida independiente para el filtrado del plato inferior (de agotamiento); 3, salida independiente para el filtrado del plato superior (de agotamiento); 4, manómetro; 5, purga de aire; 6, plato perforado (soporte del material filtrante); 7, material filtrante; 8, torta de precipitado.



Vista del corte de un filtro de hojas vertical, y diagrama seccional que muestra la construcción de la hoja filtrante. (Cortesía de Industrial Filter & Pump Mfg. Co)

FILTROS CENTRÍFUGOS

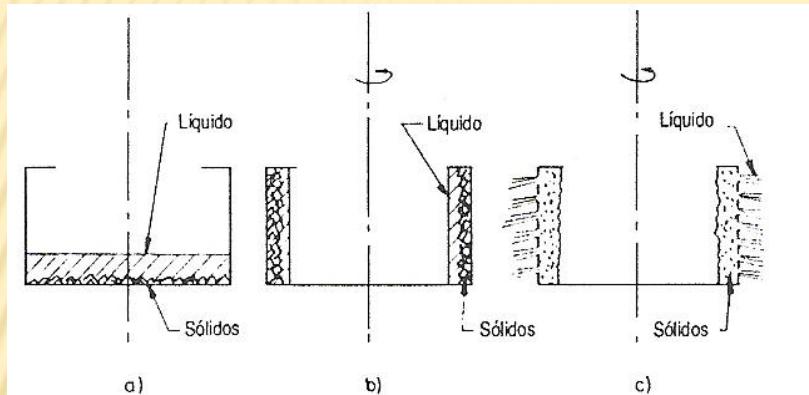
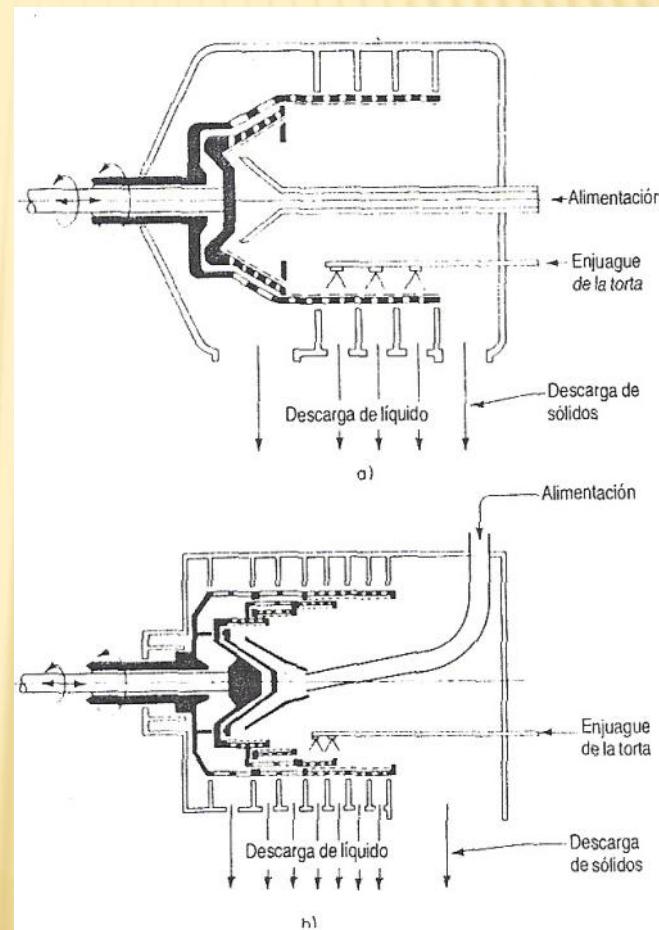
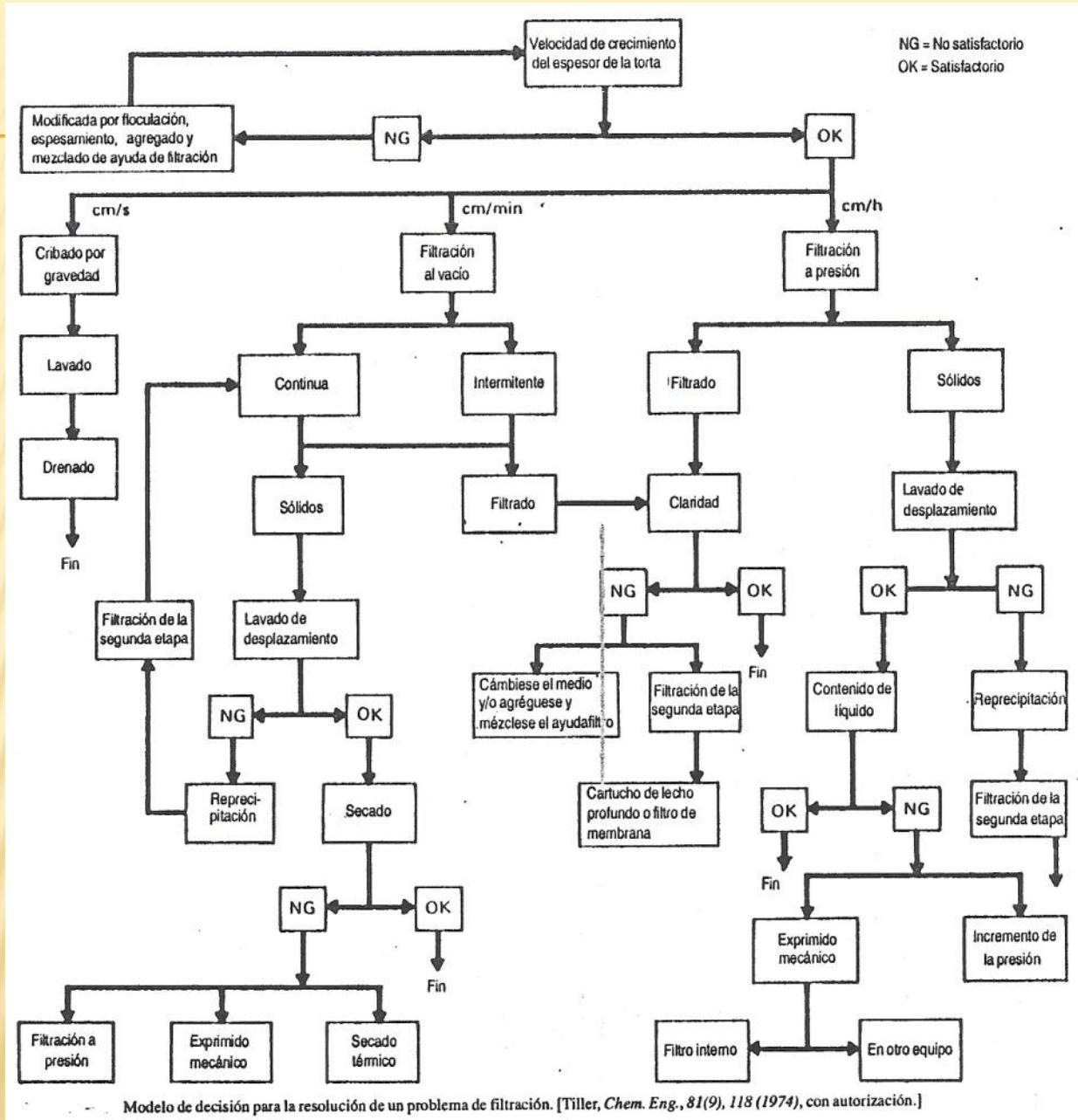


FIG. 19-117 Principios de filtración y separación centrífuga. a) Recipiente estacionario. b) Sedimentación en recipiente giratorio no perforado. c) Filtración en cesto giratorio perforado.



TEORÍA DE LA FILTRACIÓN

- ✖ Selección del filtro
- ✖ Material filtrante
- ✖ Coadyuvante para la filtración
- ✖ Filtración a velocidad constante $Q = \text{cte}$, $P \neq \text{cte}$
- ✖ Filtración a presión constante $P = \text{cte}$, $Q \neq \text{cte}$
- ✖ Filtración mixta
- ✖ Lavado del filtrado



Modelo de decisión para la resolución de un problema de filtración. [Tiller, *Chem. Eng.*, 81(9), 118 (1974)], con autorización.

TEORÍA DE LA FILTRACIÓN

Resistencia a vencer por el líquido $\Delta P = \Delta P_t + \Delta P_{mf}$

Pérdida de carga a través de la torta de filtración

$$\frac{dp}{dL} = 150 \mu v (1-\varepsilon)^2 / ((\Phi_s D_p)^2 \varepsilon^3)$$

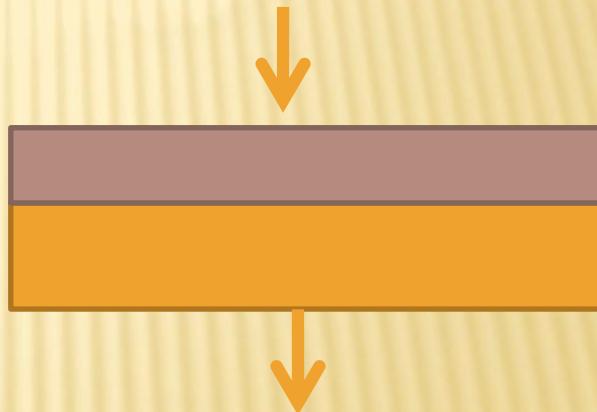
$$\Phi_s D_p = 6(v_p/s_p)$$

$$\frac{dp}{dL} = 4,17 \mu v (1-\varepsilon)^2 (s_p/v_p)^2$$

$$u = (dV/dt)/A$$

$$dm = \rho_p (1-\varepsilon) A dL$$

$$\frac{dp}{dL} = \frac{k_1 \mu v (1-\varepsilon) (s_p/v_p)^2 dm}{\rho_p A \varepsilon^3}$$



Torta incompresible

$$p_a - p' = \frac{k_1 \mu v (1-\varepsilon) (s_p/v_p)^2 m_c}{\rho_p A \varepsilon^3}$$

Resistencia específica de la torta

$$\alpha = \frac{\Delta p_c A}{\mu v m_c} = \frac{k_1 (1-\varepsilon) (s_p/v_p)^2}{\rho_p \varepsilon^3}$$

Para tortas incompresibles α es independiente de la presión

Resistencia del medio filtrante

Se define con analogía con la resistencia de la torta

$$R_m = \frac{p' - p_b}{\mu v} = \frac{\Delta p_m}{\mu v}$$

$$\Delta p = \mu v \left(\frac{m_c \alpha}{A} + R_m \right)$$

Si $m_c = Vc$

$$\frac{dt/dV}{A \cdot \Delta P} = \frac{\mu}{A} * (\alpha Vc + Rm)$$

Filtración a presión constante

Cuando $\Delta p = \text{constante}$

$$(dt/dV)_0 = \mu Rm / A \Delta P = 1/q_0$$

$$d t/dV = 1/q = K_c V + 1/q_0$$

$$K_c = \mu \alpha / (A_2 \Delta p)$$

$$t/V = (K_c/2)V + 1/q_0$$

Para α se puede obtener de ecuaciones empíricas en base a ensayos de laboratorio

Filtración a velocidad constante

$$v = (dV/dt)/A = V/At$$

$$\Delta p_c/\alpha = (\mu c/t) * (V/A)^2$$

Filtración centrífuga

$$v = (dV/dt)/A = q/A$$

$$\Delta p = q\mu((m_c\alpha)/A^2 + R_m/A) = \rho\omega^2(r_2^2 - r_1^2)/2$$

$$q = \rho\omega^2(r_2^2 - r_1^2)/(2\mu(\alpha m_c/A^2 + R_m/A))$$