

Operaciones de separación-clasificación de sólidos suspendidos en fluidos

Separación fluidodinámica

Sedimentación gravimétrica

Elutriación

Ciclones e Hidrociclones

Centrifugación

Filtración

Tecnologías de membrana

Separación	Operación unitaria
Separación – clasificación, sólido gas SG	Ciclones, elutriación, clasificadores a aire, filtración
Separación – clasificación, sólido líquido SL	Sedimentación, elutriación, hidrociclones, filtración, tecnología de membranas



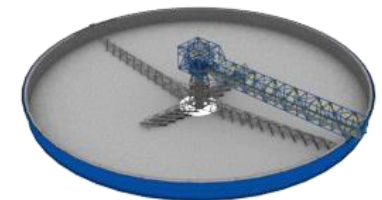
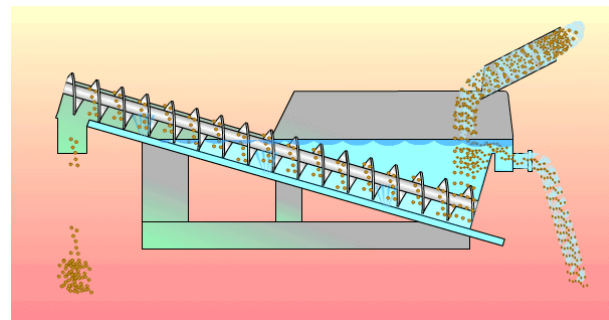
Cyclone

Separaciones sólido gas

Separaciones sólido líquido



Clasificador Denver



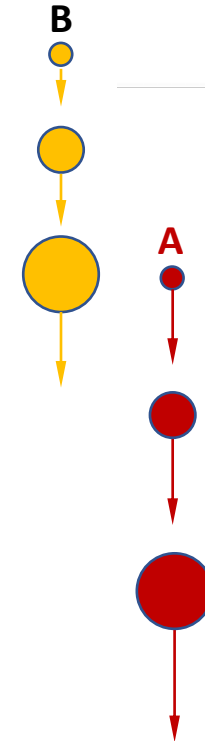
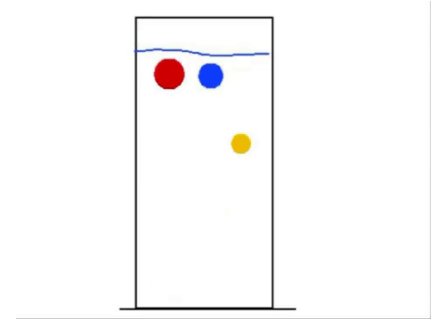
Separación fluidodinámica, partículas isódromas

Considerar partículas de diferente naturaleza i , tamaño D_{pi} y densidad ρ_{pi} ; las mismas se encuentran inmersas en un fluido estacionario o con movimiento ascendente, de un líquido o gas (de densidad ρ);

$$\text{su velocidad terminal es } v_{ti} = \sqrt{\frac{4 D_{pi} g (\rho_{pi} - \rho)}{3 \rho C_D}}, C_{D,i} = \phi \left(Re_{p,i} \left(= \frac{\rho v_{t,i} D_{p,i}}{\mu} \right), \psi_i \right)$$

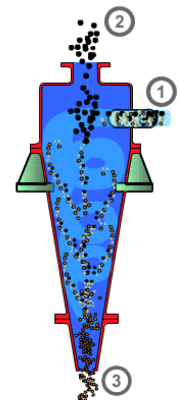
Si el sistema está conformado por dos tipos de partícula: **A** (ρ_{pA}), $v_{tA} = \sqrt{\frac{4 D_{pA} g (\rho_{pA} - \rho)}{3 \rho C_D}}$ y **B** (ρ_{pB}), $v_{tB} = \sqrt{\frac{4 D_{pB} g (\rho_{pB} - \rho)}{3 \rho C_D}}$, con $\rho_{pA} > \rho_{pB}$, si $v_{tA} = v_{tB}$ se presenta la condición de partículas isódromas o equescendentes (*equal falling*).

La isodromía implica que A (con D_{ptA}) y B (con D_{ptB}) tendrán el mismo comportamiento en el fluido y no podrán separarse entre sí, por interacción con éste.

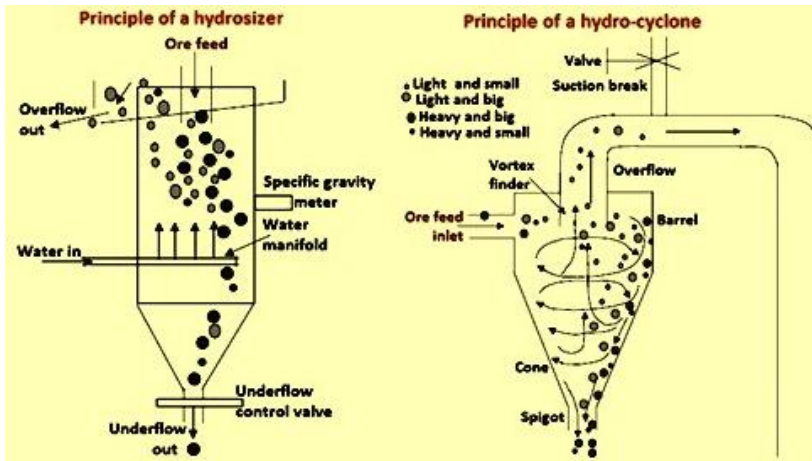


Operaciones de separación sólido – fluido clasificación

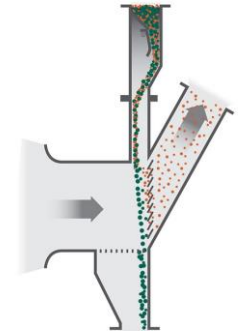
La clasificación consiste en separar las partículas sólidas suspendidas en un fluido, en dos o más fracciones de tipo y tamaño de partícula distintas: fina (o desbordamiento) y gruesa (o subdesbordamiento). El principio de separación se basa en las diferencias de velocidades de sedimentación en el fluido.



1. FEED IN
2. OVERFLOW FINE PARTICLES
3. COARSE/GRANULAR PARTICLES



Según el campo al cual se somete el sistema, existen dos tipos de equipos de clasificación: clasificadores gravitacionales o de sedimentación simple y los clasificadores centrífugos



clasificador gravitacional y centrífugo

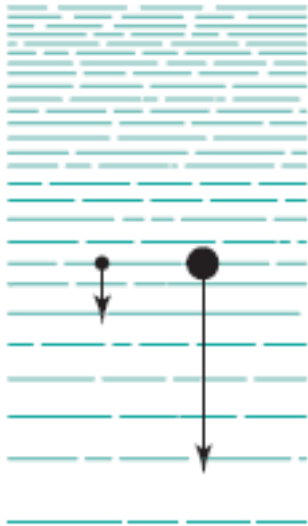
Según el fluido, los clasificadores se dividen en: clasificadores hidráulicos, que utilizan un líquido (normalmente agua); y clasificadores neumáticos basados en normalmente en aire. Los primeros también se denominan clasificadores húmedos y los segundos secos.

Se cuentan, por lo tanto, con 4 posibilidades o agrupaciones de operaciones de clasificación

Operaciones de separación sólido – fluido Condición del fluido

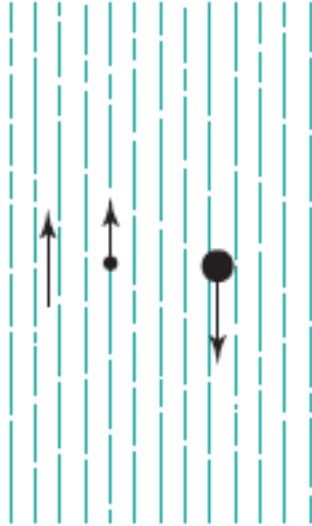
Fluido estacionario. Fluido en movimiento relativo

fluido estacionario



(a)

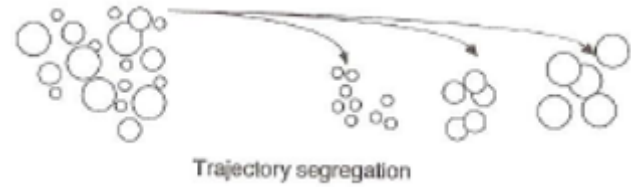
Fluido con movimiento ascendente



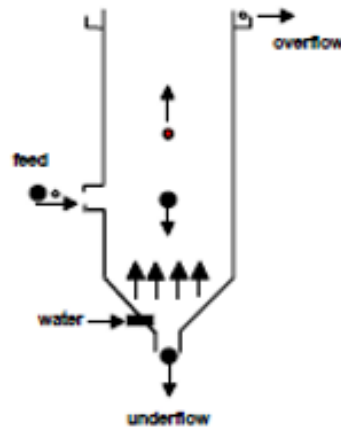
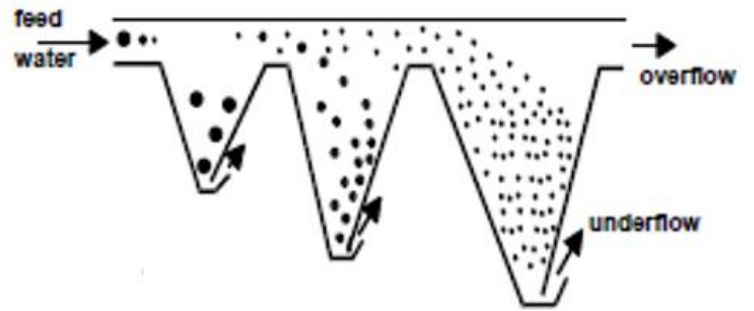
(b)



Segregation by elutriation

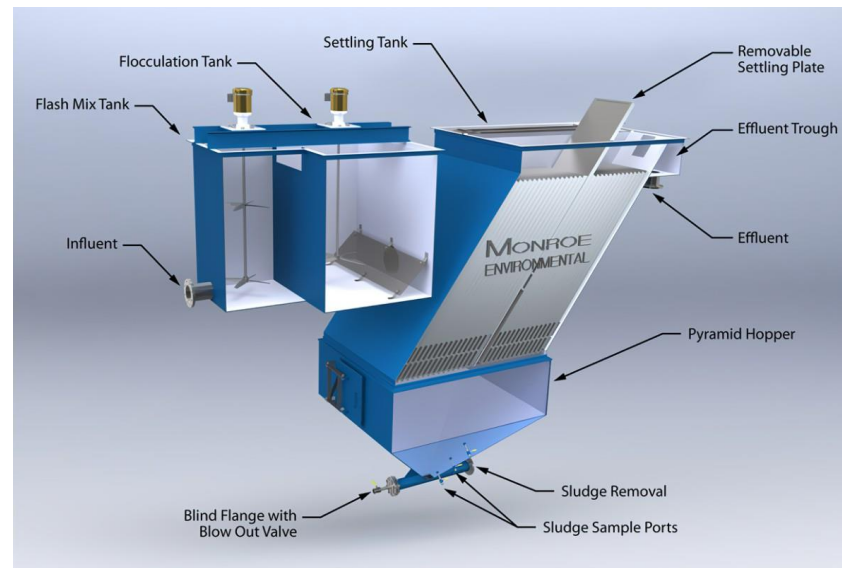


Trajectory segregation



Operaciones Unitarias 1

Separación gravimétrica sólido - fluido



Separaciones S-L Sedimentación gravimétrica, espesadores y clarificadores

Sedimentación gravimétrica: una operación unitaria que realiza la separación, debida a la gravedad de una suspensión en un fluido sobrenadante y una pulpa densa que contiene una mayor concentración de sólidos.

Cuando el propósito está enfocado en las partículas sólidas para obtener un lodo altamente concentrado, el proceso se denomina espesamiento (**thickening**), mientras que, si el propósito es aclarar el líquido, el proceso se conoce como clarificación (**clarification**).

Ecuaciones aplicables: $v_t = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{D_p g (\rho_p - \rho)}{\rho C_D}}$; $C_D = \phi \left(Re_p \left(= \frac{\rho v_t D_p}{\mu} \right), \psi \right)$

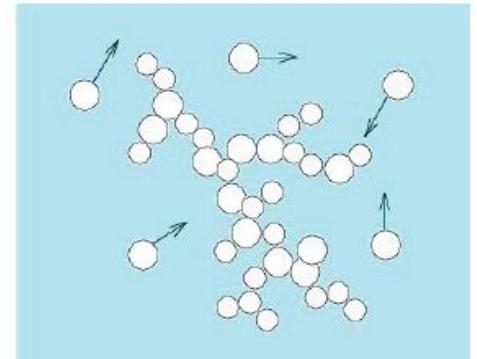
$$C_D = \frac{24}{Re_p} \left[1 + (8,171 e^{-4,0655\psi}) (Re_p)^{0,0964+0,5565\psi} \right] + \frac{73,69 (e^{-5,0748\psi}) Re_p}{Re_p + 5,378 e^{6,2122\psi}}$$

Las ecuaciones anteriores **son válidas en decantación libre (*free settling*)**; En espesadores, cuyo objetivo es incrementar la concentración de una de sus corrientes, aparecen fenómenos de decantación impedida (*hindered settling*); $v_s = v_t \varepsilon^n$ ε es la porosidad y n parámetro dependiente de Re_p ; ver ec. de Maude y Whitmore

El fenómeno de floculación y formación de *cluster* también afecta estas ecuaciones

<https://youtu.be/h8n3Nt4tPXU>

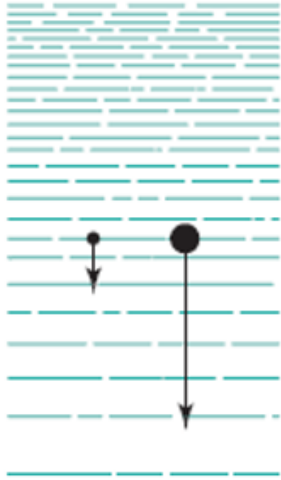
Decantación impedida



La diferencia de densidad entre los sólidos y el líquido es un requisito previo necesario. Si el tamaño de los sólidos suspendidos es pequeño, pueden conformar una suspensión estable. Se utilizan agentes floculantes, que incrementan el tamaño de las partículas

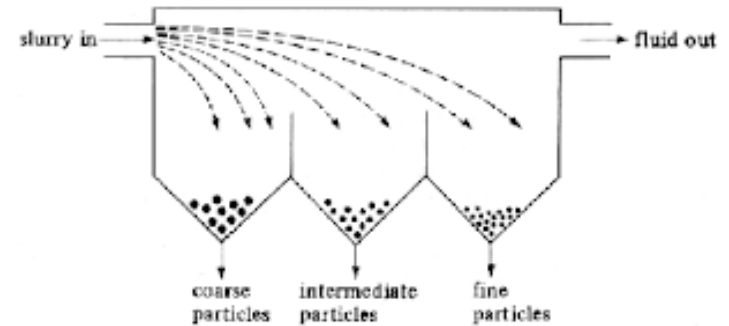
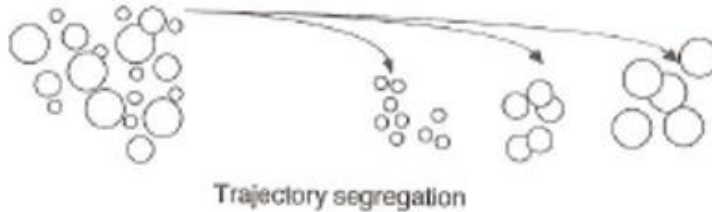
Separaciones S-L Sedimentación gravimétrica sedimentación por flujo horizontal en clarificador rectangular

fluido estacionario



Si la concentración de partículas es baja, cada partícula i se asienta discretamente, (*free settling*), no impedida por la presencia de otras partículas (*hindered settling*). La v_{ti} es una función del D_{pi} , $(\rho_{pi} - \rho)$, $C_{D,i}$. Una partícula fluyendo en forma horizontal tiene componentes de velocidad vertical y horizontal.

$$v_{ti} = \sqrt{\frac{4 D_{pi} g (\rho_{pi} - \rho)}{3 \rho C_D}}, C_{D,i} = \phi \left(Re_{p,i} \left(= \frac{\rho v_{ti} D_{p,i}}{\mu} \right), \psi_i \right)$$



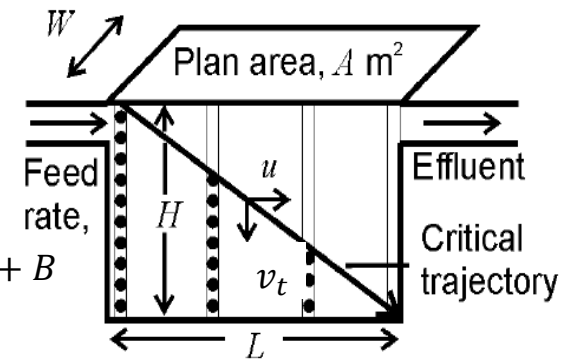
El dimensionado está basado en el **modelo de la trayectoria crítica**: definir la mayor distancia que debe recorrer uno de los componentes de una mezcla para separarse del otro componente, (**modelo de Camp – Hazen**). Requisito de dimensionamiento: permitir un tiempo de residencia suficiente dentro del recipiente para proporcionar una eliminación adecuada de partículas; implica: a) selección de un diámetro crítico b) igualar el tiempo que tarda la partícula en asentarse en una trayectoria vertical, desde su ingreso en un nivel superior a un nivel inferior del sedimentador (su altura total), al tiempo de residencia dentro del equipo asumiendo un flujo pistón.

Separaciones S-L Sedimentación gravimétrica sedimentación por flujo horizontal en clarificador rectangular

El dimensionamiento de este sedimentador está restringido a la condición de *free settling*

Dada una mezcla de partículas A + B

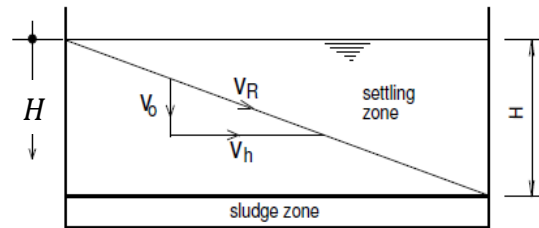
$$\text{Si } \rho < \rho_{p,B} < \rho_{p,A} \text{ y } D_{p,B,inf} < D_{p,B} < D_{p,B,sup} \approx D_{p,A,inf} < D_{p,A} < D_{p,A,sup} \text{ A + B}$$



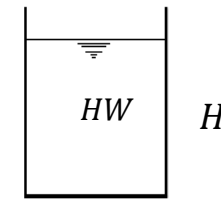
v_t es la velocidad terminal del componente más pesado y de menor diámetro (A, $D_{p,A,inf}$), en ausencia de isodromía

El tiempo de sedimentación de A, ($D_{p,A,inf}$) $t_s = \frac{H}{v_t}$

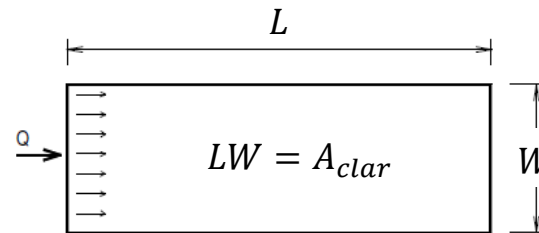
El tiempo de residencia $t_{red} = \frac{\text{Volumen}_{clar}}{Q_V}$



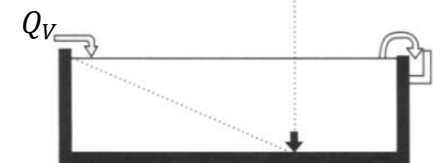
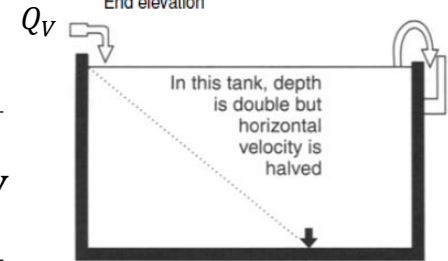
Side elevation



End elevation



Plan



$$t_{red} = t_s \rightarrow \frac{H}{v_t} = \frac{V_{clar}}{Q_V} = \frac{HLW}{Q_V} = \frac{HA_{clar}}{Q_V}$$

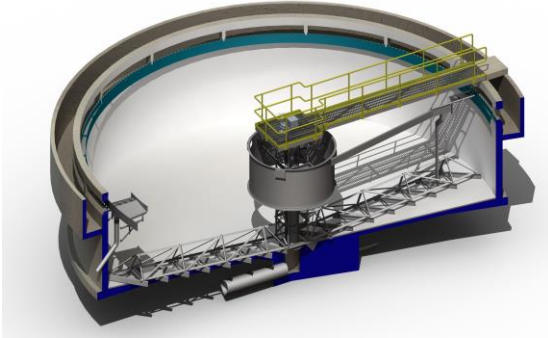
$$\frac{1}{v_t} = \frac{A_{clar}}{Q_V} \rightarrow A_{clar} = \frac{Q_V}{v_t}$$

Se desea separar una suspensión de partículas (densidad $2900 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$; Diámetro crítico $50 \text{ [}\mu\text{m]}$) en agua a 20°C mediante sedimentación simple en una pileta. El caudal es de $10 \text{ [m}^3\text{.min}^{-1}\text{]}$. ¿Cuál es la mínima área de sedimentación requerida para clarificar el agua?

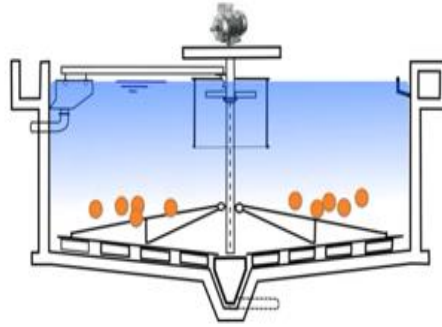


jlz_TSP_clarificador

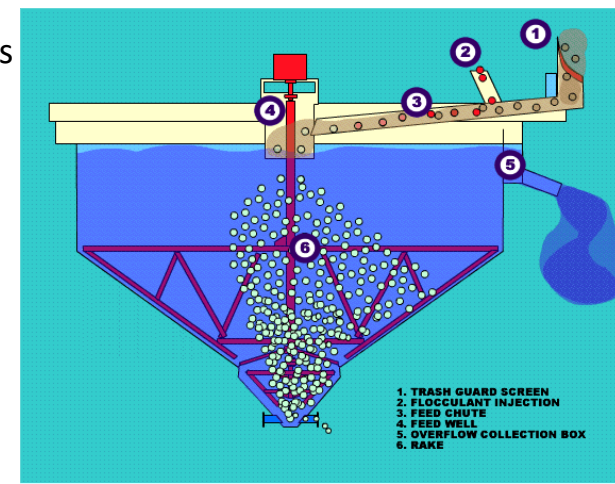
Separaciones S-L Sedimentación gravimétrica espesadores y clarificadores



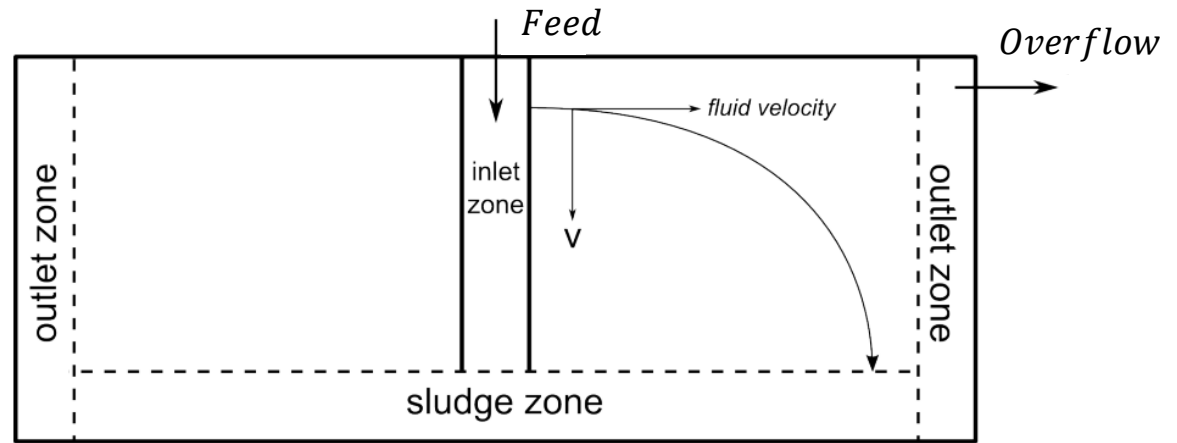
https://youtu.be/2I_eYvd38QU
 Construcción y funcionamiento



<https://youtu.be/J0LU25vjQRw>
 Clasificadores y espesadores:
 cómo funcionan



Espesador (*thicker*);
 en este caso con un agente floculante



Separaciones S-L Sedimentación gravimétrica espesadores y clarificadores, dimensionamiento

Se distinguen tres zonas

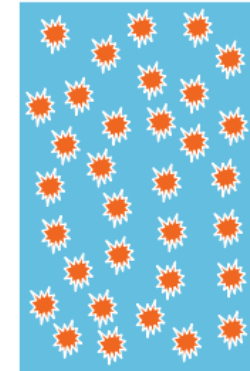
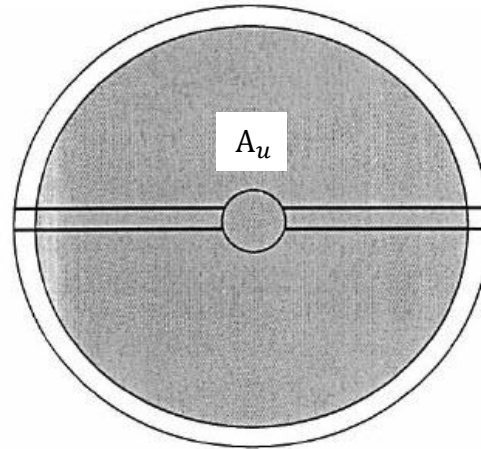
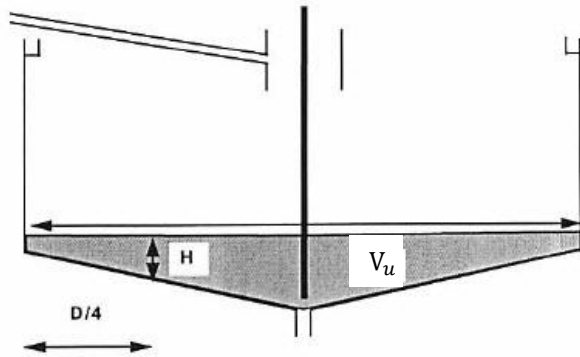
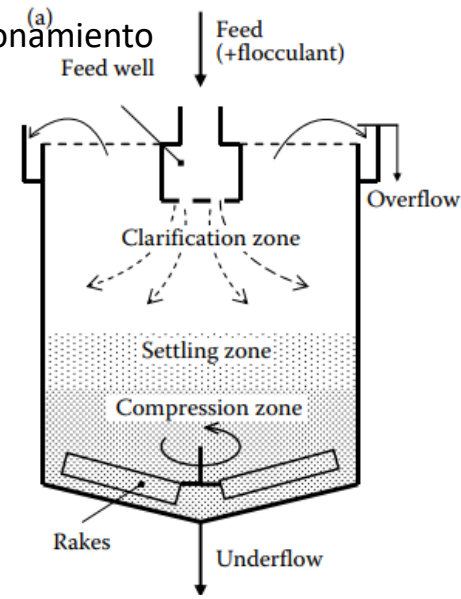
Clarificación: en la parte superior, baja concentración

Decantación: en la zona intermedia; define el área unitaria,

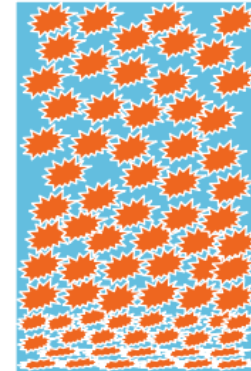
$$A_u \text{ m}^2/\text{tonne}/\text{día} \quad \text{m}^2 \cdot \text{s}/\text{kg}$$

Compresión: en la parte inferior; define el volumen unitario, V_u , $\text{m}^3/\text{tonne}/\text{día}$

$$V_u = A_u H; \quad H \text{ altura del piso del espesador al nivel de pulpa, medida a un cuarto del diámetro del equipo; valor recomendado 1 a 1,5 m.}$$



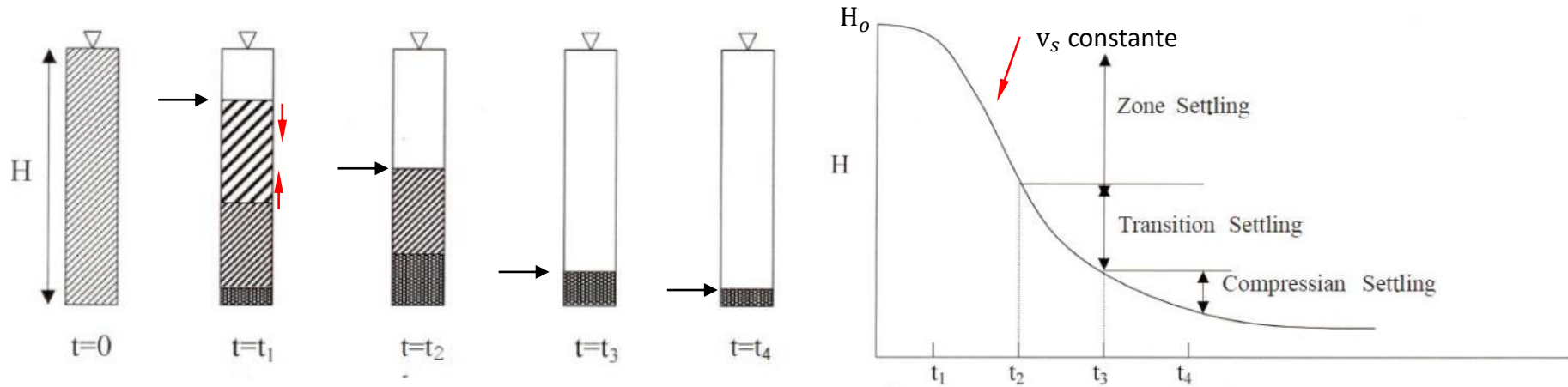
settling zone



compression zone

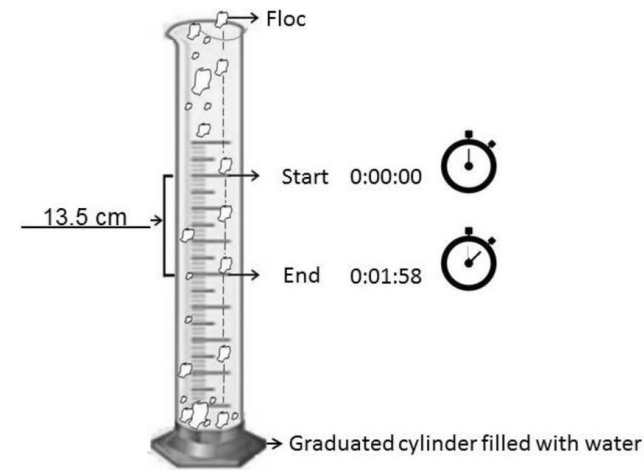
Las dimensiones más importantes son el área y la profundidad. El área se elige como el más grande de las requeridas por tres capas. En la mayoría de los casos, solo se deben considerar las zonas de decantación y compresión. Sin embargo, cuando el propósito es la clarificación en el *Overflow*, la zona de clarificación puede necesitar el área más grande. En cuanto a la profundidad, solo la zona de compresión tiene una demanda de profundidad real porque la concentración de los sólidos en el *Underflow* está determinada en gran medida por el tiempo de detención (así como por la presión estática a veces). Le profundidad de las otras dos zonas está determinado únicamente por consideraciones prácticas.

Separaciones S-L Sedimentación gravimétrica espesadores y clarificadores, dimensionamiento, *settling test*

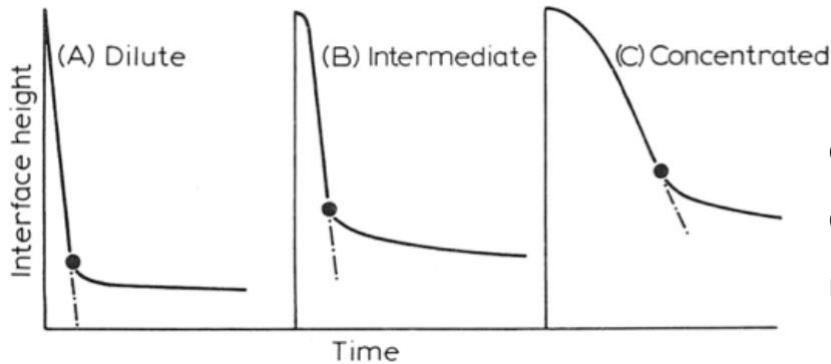


Se realiza en un cilindro graduado. La suspensión decanta en el cilindro. En la medida que sedimenta, se forma una interface que separa los sólidos y el fluido claro. La altura de la interface se traza *versus* el tiempo; la velocidad de sedimentación, v_s , se calcula a partir de la pendiente de la curva. La velocidad con la que los sólidos decantan depende de la concentración de sólidos.

Luego del tiempo $t=0$, hay dos interfaces que se mueven una hacia la otra, a v_s constante. Una, de abajo hacia arriba debido a la acumulación de capas de sólido desde la parte inferior; la otra, la capa de sedimentación, de arriba hacia abajo. En t_2 , éstas se reunirán y v_s disminuye. El periodo de decantación termina y comienza la compactación



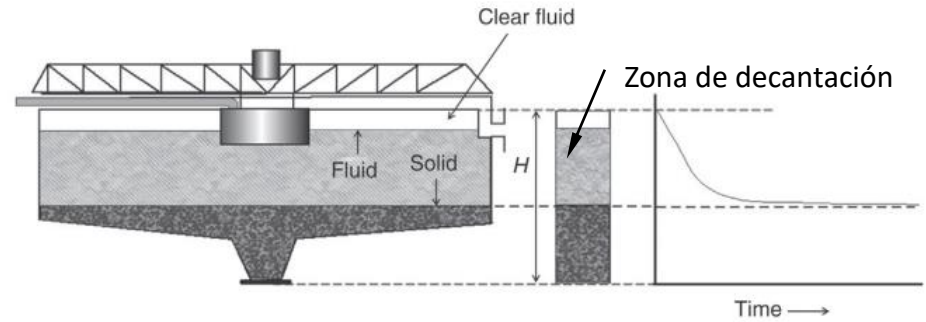
Separaciones S-L Sedimentación gravimétrica espesadores y clarificadores, dimensionamiento, *settling test*



La velocidad de sedimentación, v_s , es una función de la concentración de sólidos. A mayor concentración menor velocidad



Existen muchos métodos de dimensionamiento basados en *settling test*; los supuestos son los siguientes:



1. La concentración de partículas en cualquier plano horizontal es uniforme.
2. No se presenta sedimentación diferencial debida a diferencias de forma, tamaño o composición de las partículas. El efecto pared es insignificante.
3. La velocidad de sedimentación es sólo una función de la concentración del slurry y tiende a cero a una concentración equivalente a la capa de sedimento en el fondo del equipo
4. La alimentación está en régimen de la zona de decantación y la mayor demanda de área se encuentra en esta zona.
5. Los datos de sedimentación batch son representativos de las condiciones un espesador de funcionamiento continuo.

Separaciones S-L Sedimentación gravimétrica espesadores y clarificadores, dimensionamiento, balance de masa

Método de Mishler el método supone que en el overflow no hay partículas en suspensión (espesador ideal)

Flujo másico, Feed, Overflow, Underflow $F, O, U \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$

Fracción másica, $w_f, w_u \text{ kg}_s / \text{kg}_s + \text{kg}_{fl}$

Area mínima requerida en el espesador A_{min}

Densidad del fluido $\rho \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Velocidad de sedimentación $v_s \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

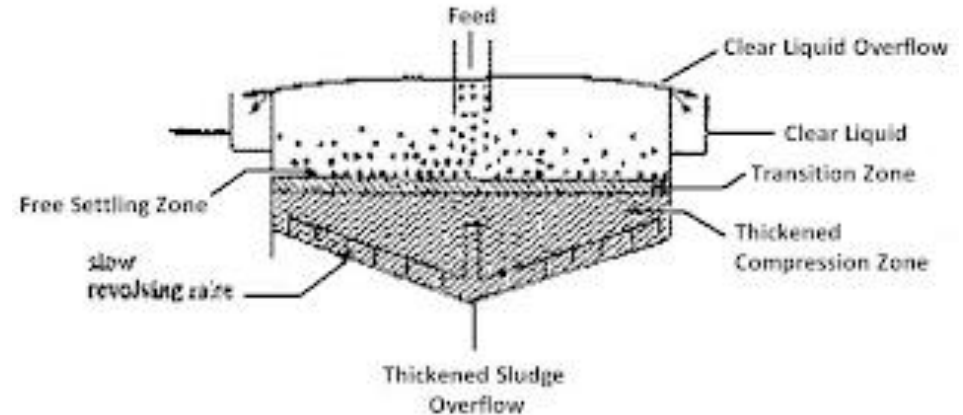
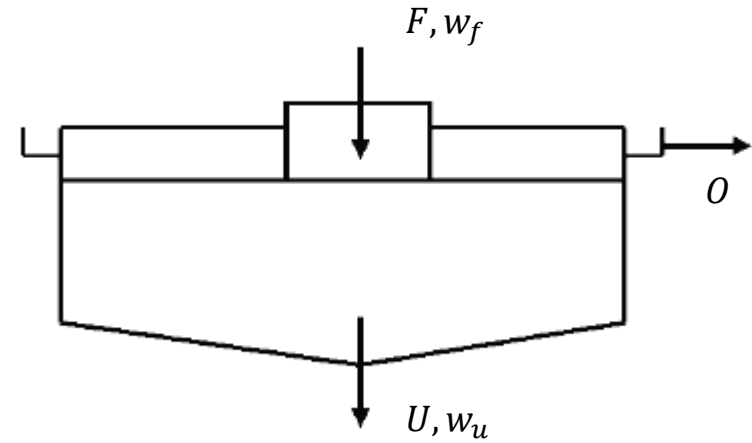
b.m. slurry $F = O + U$

b.m. líquido $F(1 - w_f) = O + U(1 - w_u)$

b.m. sólido $Fw_f = Uw_u$

$$F(1 - w_f) = O + \frac{Fw_f}{w_u}(1 - w_u) \Rightarrow O = F \frac{(w_u - w_f)}{w_u}$$

$$A_{min} = \frac{O}{\rho v_s} = F \frac{(w_u - w_f)}{w_u} \frac{1}{\rho v_s}$$

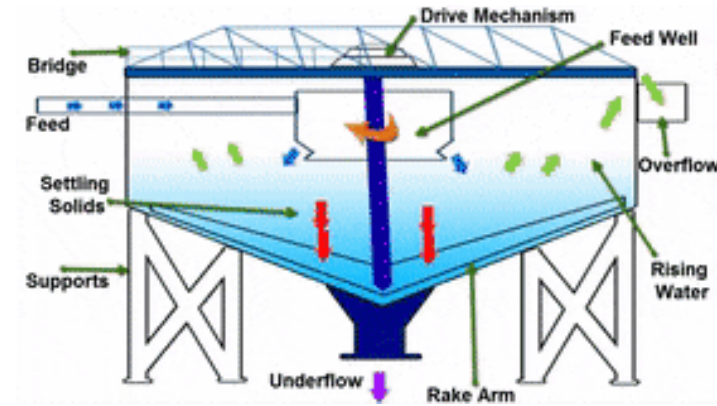


Separaciones S-L Sedimentación gravimétrica espesadores y clarificadores, dimensionamiento, método de Yoshioka

También llamado método de la curva de flux. Se define flux como: caudal másico por unidad de área: $G = C_i v_i \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

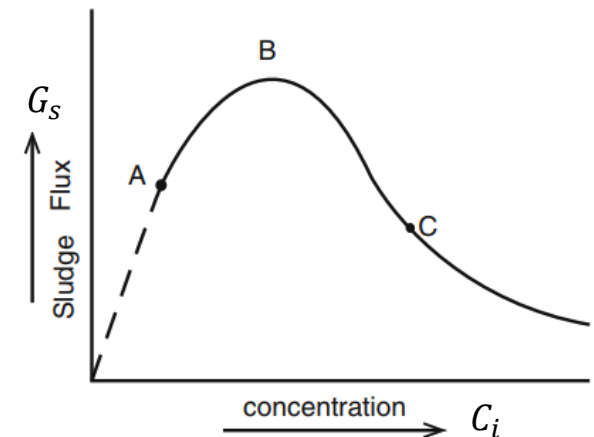
El diseño del espesador implica la selección del flujo de sólidos que limitará el funcionamiento del mismo, es decir, la carga máxima de sólidos.

El equipo funcionará con éxito siempre que el flujo de sólidos ingresados en el *feed* no exceda la velocidad a la que los sólidos se transfieren al *underflow*.



Hay dos formas en que los sólidos se movilizan hacia el fondo:

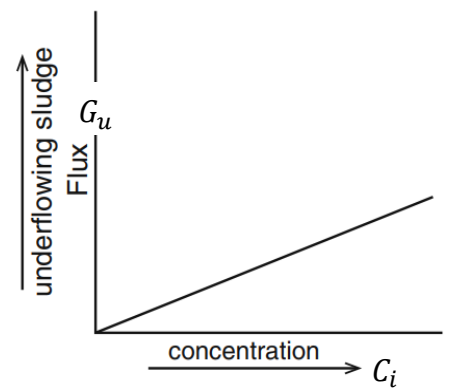
1. Bajo la influencia de su velocidad de sedimentación. v_s ; esta es función de la concentración de sólidos C_i en cualquier sección i del espesador. $G_s = C_i v_i$. Con el incremento de C_i , v_s disminuye por el efecto de la sedimentación impedida. Ello determina un comportamiento particular. De A a B el flux aumenta, pero con pendiente progresivamente decreciente; en $C_i = C_B$, el flux queda compensado. En $C_i = C_C$ la concentración está en fase de compresión y el flujo disminuirá rápidamente.



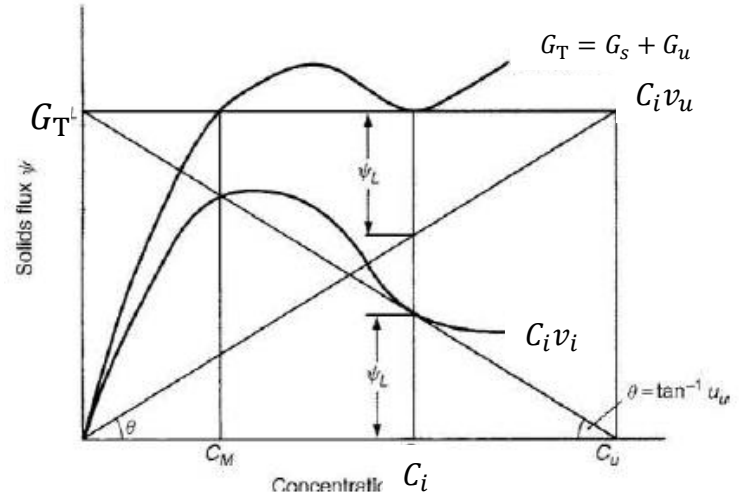
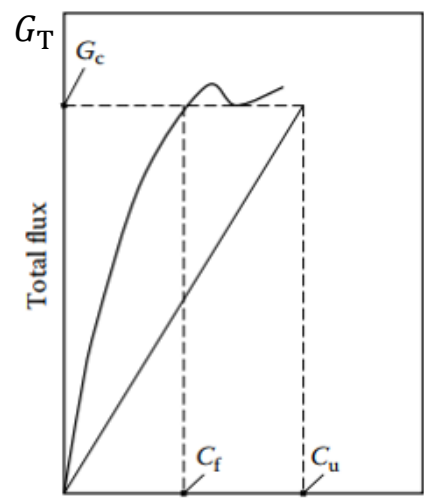
Separaciones S-L Sedimentación gravimétrica espesadores y clarificadores, dimensionamiento, método de Yoshioka

2. Debido a la eliminación continua del slurry espesado en el underflow. Su flux es $G_u = C_i v_u$ y será lineal con C_i a v_u constante

En cualquier sección i del espesador el flux total hacia abajo es $G_T = G_s + G_u$. Esta curva presentará un mínimo en G_c correspondiente a un $C_i = C_m$ ubicado entre C_f , la concentración de alimentación y C_u , la concentración del *slurry* en el *underflow*.



Es posible demostrar que este comportamiento es representable en una curva G_s vs C_i ; los valores asociados G_c vs C_m quedan determinados por una recta tangente que trazada desde C_u pasa por el mínimo de esta curva, siendo la ordenada al origen el valor de G_c

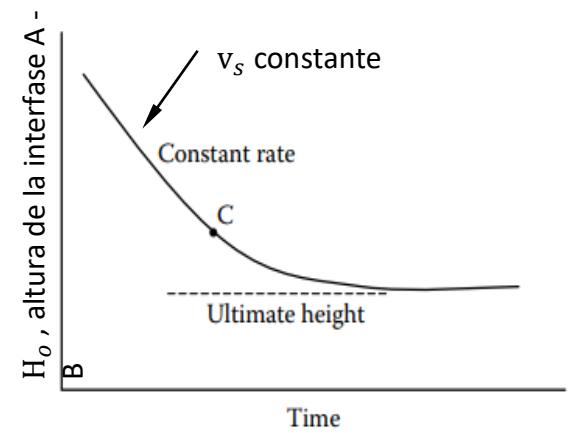
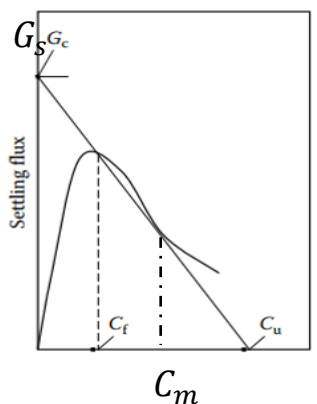
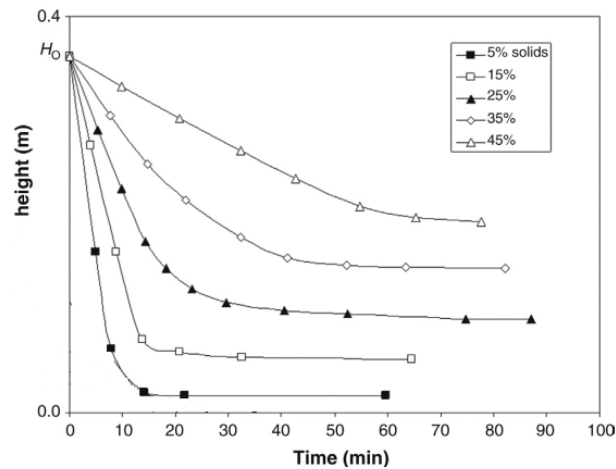
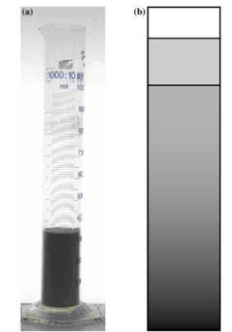


Un balance de masa determina que $AG_c = Q_f C_f = Q_u C_u$ por lo que el área del espesador que asegure el balance entre el slurry extraído en el underflow sea el mismo que ingresa a la zona de espesamiento

Separaciones S-L Sedimentación gravimétrica espesadores y clarificadores, dimensionamiento, método de Yoshioka

Para encontrar el flux mínimo para el diseño, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Se elige una profundidad adecuada de espesador a diseñar.
2. Se lleva a cabo un *settling test* en una columna con una altura igual a la profundidad del espesador. El diámetro de la columna debe ser más de 7,5 cm.
3. Se determinan curvas de altura de la interfase vs tiempo para diferentes concentraciones de alimentación, C_{fi} .
4. Se determina la velocidad v_{si} según la pendiente de la porción lineal de cada una de las curvas, para cada concentración inicial C_{fi}
5. Se grafica la curva de flux $G_s = C_{fi}v_{si}$
6. La concentración C_u deseada se marca en la abscisa.
7. Desde este punto, se dibuja una tangente a la curva de flujo determinada en el paso 5.
8. La intersección de la recta tangente en la ordenada G_s será el flux mínimo G_c para el diseño



Dimensionar un espesador para la concentración de 1200 tonne.dia⁻¹ de una suspensión al 3% w/w de cristales de Li₂CO₃ (densidad 2110 kg.m⁻³, temperatura 80°C). El concentrado tendrá 40% w/w de partículas en suspensión.

Una primer *settling test* en una probeta de 500 mL y 300 mm de altura determinó que la interfase desciende de 500 a 215 mL en 55 min.

Ensayos completos de decantación determinaron el siguiente comportamiento de la velocidad de sedimentación con la concentración. Utilizar los métodos de

a) Mishler y b) Yoshioka

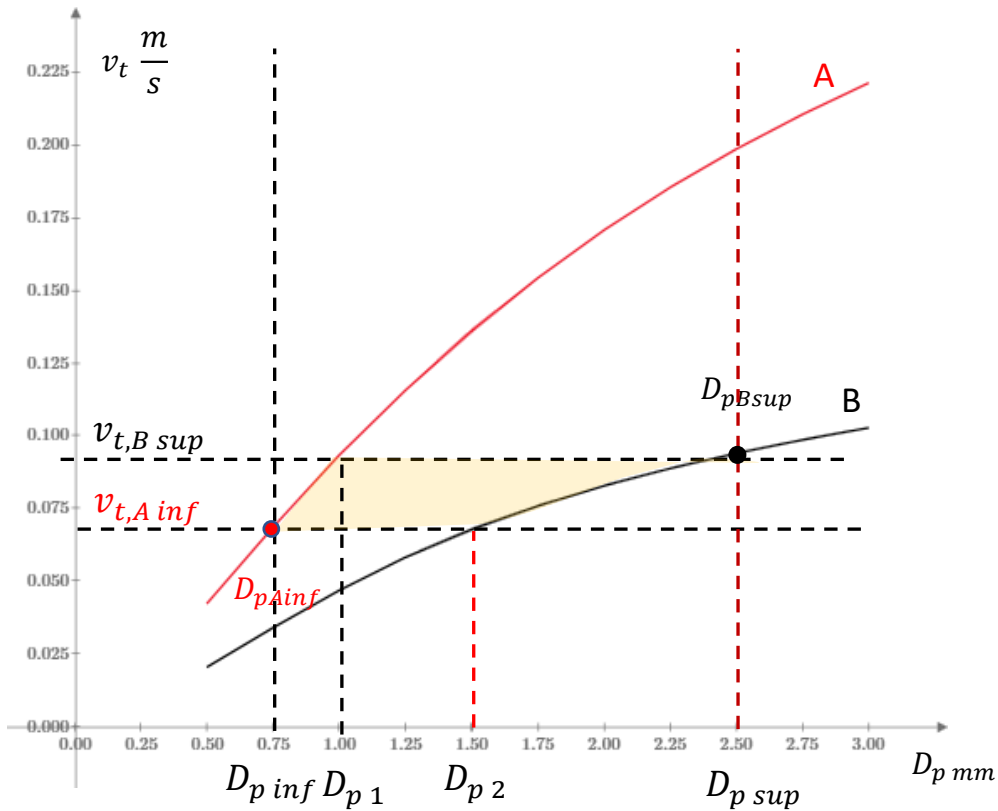


jlz_TSP_thickner1

w % w/w	3,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	52,4
v _s μm.s ⁻¹	52,0	47,9	38,4	29,9	22,6	16,2	11,0	6,82	3,70	1,64	0,65	0,56

Operaciones de separación sólido – fluido; condición de isodromía

B	A	condición
$D_{p\ inf} \rightarrow D_{p\ 2}$		las partículas livianas B caerán más lento que las de A (\nexists isodromía)
$D_{p\ 2} \rightarrow D_{p\ sup}$	$D_{p\ inf} \rightarrow D_{p\ 1}$	cualquier partícula liviana B se moverá con la misma velocidad que una partícula pesada A en este intervalo de tamaños (\exists isodromía)
	$D_{p\ 1} \rightarrow D_{p\ sup}$	las partículas pesadas A caerán más rápido que las de B (\nexists isodromía)



Operaciones de separación sólido – fluido; condición de isodromía

Dado un sistema de dos componentes A y B, donde $\rho < \rho_{p,B} < \rho_{p,A}$ y $D_{p,B,inf} < D_{p,B} < D_{p,B,sup} \approx D_{p,A,inf} < D_{p,A} < D_{p,A,sup}$, las más grandes y ligeras ($D_{p,B,sup}$) interactuarán con el fluido a la misma velocidad que las más pequeñas y pesadas ($D_{p,A,inf}$), por lo que se obtendrá una fracción mezclada.

En el rango de diámetros considerado ($D_{p,inf} \leq D_p \leq D_{p,sup}$):

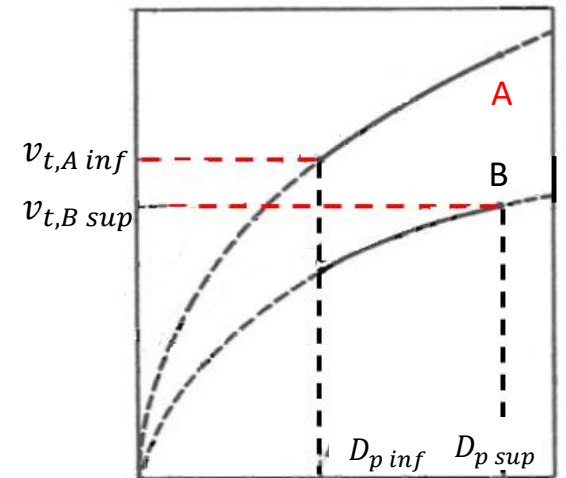
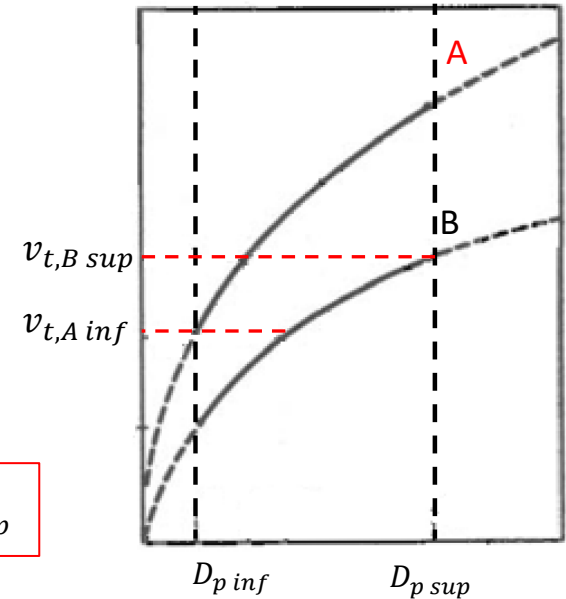
$$v_{t,A,inf} \leq v_{t,B,sup}$$

$$v_{t,i} = \sqrt{\frac{4 D_{p,i} g (\rho_{p,i} - \rho)}{3 \rho C_{D,i}}}; C_{D,i} = \phi \left(Re_{p,i} \left(= \frac{\rho v_{t,i} D_{p,i}}{\mu} \right), \psi_i \right) i: A, B \quad \Rightarrow$$

$$v_{t,A,inf} = \sqrt{\frac{4 D_{p,A,inf} g (\rho_{p,A} - \rho)}{3 \rho C_{D,A}}} \leq v_{t,B,sup} = \sqrt{\frac{4 D_{p,B,sup} g (\rho_{p,B} - \rho)}{3 \rho C_{D,B}}} \Rightarrow$$

$$v_{t,A,inf} \leq v_{t,B,sup} \rightarrow R_D = \frac{D_{p,A,inf}}{D_{p,B,sup}} \leq \frac{(\rho_{p,B} - \rho) C_{D,A}}{(\rho_{p,A} - \rho) C_{D,B}} = R_{dens}$$

(\exists isodromía)



(\nexists isodromía)

Operaciones de separación sólido – fluido; condición de isodromía

$$v_{t,A,inf} \leq v_{t,B,sup} \rightarrow R_D = \frac{D_{p,A,inf}}{D_{p,B,sup}} \leq \frac{(\rho_{p,B}-\rho) C_{D,A}}{(\rho_{p,A}-\rho) C_{D,B}} = R_{dens}$$

$$C_{D,i} = \phi \left(Re_{p,i} \left(= \frac{\rho v_{t,i} D_{p,i}}{\mu} \right), \psi_i \right) i: A, B$$

Consideraciones sobre el cómputo de $C_{D,i}$

En régimen de Stokes, $C_{D,i} = \frac{24}{Re_{p,i}} \Rightarrow \frac{D_{p,A,inf}}{D_{p,B,sup}} \leq \left[\frac{(\rho_{p,B}-\rho)}{(\rho_{p,A}-\rho)} \right]^{\frac{1}{2}}$ (La ecuación de Stokes es inexacta para $D_p > 100 \mu m$)

En régimen de Newton, $C_{D,A} \approx C_{D,B} = ctte$ $\frac{D_{p,A,inf}}{D_{p,B,sup}} \leq \left[\frac{(\rho_{p,B}-\rho)}{(\rho_{p,A}-\rho)} \right]^1$

En régimen intermedio, $\Rightarrow \frac{D_{p,A,inf}}{D_{p,B,sup}} \leq \left[\frac{(\rho_{p,B}-\rho)}{(\rho_{p,A}-\rho)} \right]^j$ $0,5 \leq j \leq 1$

Se sugiere el cómputo de $R_{dens} = \frac{(\rho_{p,B}-\rho) C_{D,A}}{(\rho_{p,A}-\rho) C_{D,B}}$

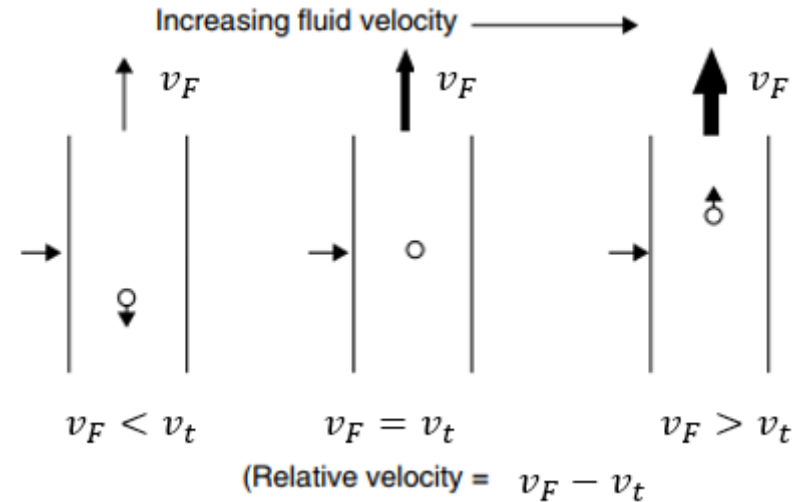
Nota de buena práctica: a valores de $R_D^{-1} > 2,5$ la separación puede ser asegurada. Si $R_D^{-1} < 1,5$ la separación no puede no ser asegurada.

Operaciones de separación sólido – fluido; velocidades relativas

Una única partícula inmersa en un fluido de densidad ρ :

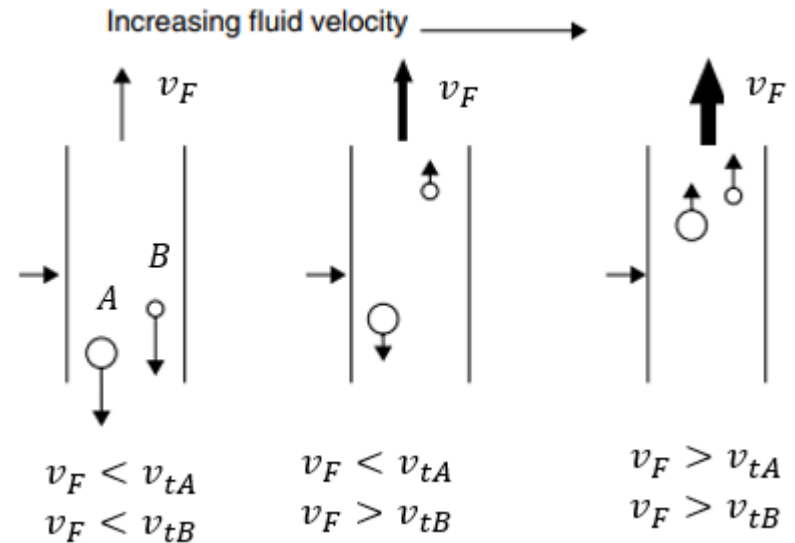
Si $v_F < v_t$, la partícula caerá; si $v_F = v_t$, permanecerá en la misma posición vertical; si $v_F > v_t$, se moverá hacia arriba.

La velocidad de la partícula relativa a la pared es $v_F - v_t$.



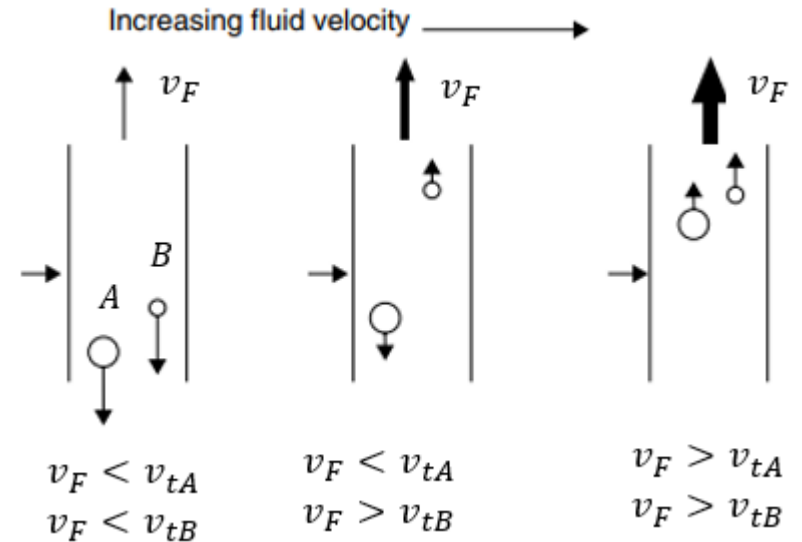
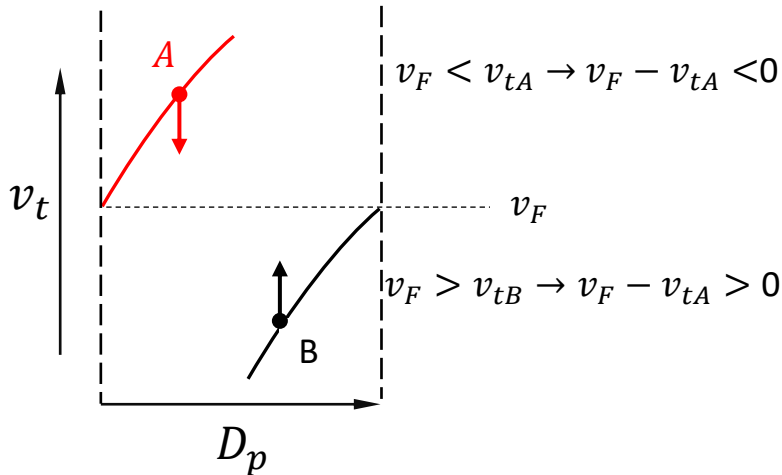
Dos partículas de diferente tamaño y densidad que tengan velocidades terminales v_{tA} y v_{tB} .

A bajas velocidades de fluido $v_F < v_{tB} < v_{tA}$, ambas partículas caerán. A altas velocidades ($v_F > v_{tA} > v_{tB}$), serán transportadas hacia arriba. A velocidades intermedias $v_{tB} < v_F < v_{tA}$, la partícula A caerá y la partícula B subirá.



Operaciones de separación sólido – fluido; velocidades relativas, elutriación

Esta es la base de una separación (clasificación) según tamaño de partícula y densidad, en presencia de un fluido ascendente (**elutriación**). Para poder separar completamente las partículas A y B, no debe haber superposición entre los rangos de velocidad terminal de las partículas; es decir, todos los tamaños del material más denso A deben tener velocidades terminales que sean mayores que todos los tamaños del material menos denso B.



Operaciones de separación sólido – fluido; velocidades relativas, elutriación

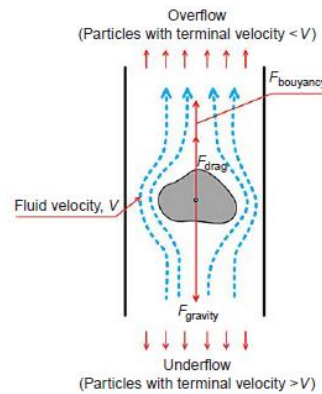
Considerar partículas de diferente naturaleza i , tamaño, D_{pi} y densidad ρ_{pi} , que se encuentran inmersas en un flujo de líquido o gas (de densidad ρ), que escurre hacia arriba contra la gravedad a la velocidad v_F ; aquellas partículas de tamaño $D_p = D_{pt}$ (donde D_{pt} es el diámetro de partícula

correspondiente a su $v_{ti} = \sqrt{\frac{4 D_{pti} g (\rho_{pi} - \rho)}{3 \rho C_{Di}}}$, si $v_F = v_{ti}$, permanecerán estacionarias en el flujo;

aquellas partículas de tamaño $D_p > D_{pti}$ se moverán hacia abajo; aquellas partículas de tamaño $D_p < D_{pti}$ se moverán hacia arriba.

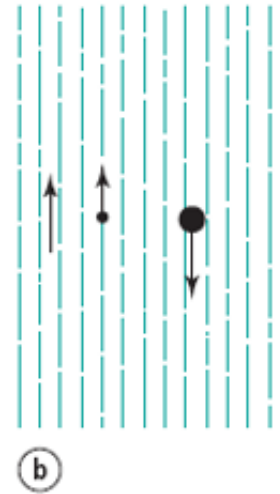
Si el sistema conformado por dos tipos de partícula: **A** (ρ_{pA}, v_{tA}) y **B** (ρ_{pB}, v_{tB}) (con $\rho_{pA} > \rho_{pB}$), si $v_{tA} = v_{tB}$ se presenta la condición de partículas isódromas.

La isodromía implica que A (con D_{ptA}) y B (con D_{ptB}) tendrán el mismo comportamiento en el flujo y no podrán separarse entre sí. Es decir, si $v_F = v_{tA} = v_{tB}$, permanecerán estacionarias; si $v_F > v_{tA} = v_{tB}$, ambas ascenderán; si $v_F < v_{tA} = v_{tB}$, ambas descenderán.

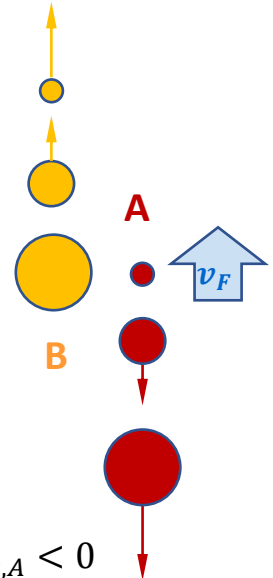


$$v_{relativa} = v_F - v_{t,B} = v_F - v_{t,A} = 0$$

fluido movimiento ascendente



$$v_{relativa} = v_F - v_{t,B} > 0$$



$$v_{relativa} = v_F - v_{t,A} < 0$$

Operaciones de separación sólido – fluido; elutriación, ruptura de isodromía

Modificación de la densidad ρ del fluido:

$$R_{dens} = \frac{(\rho_{p,B} - \rho) C_{D,A}}{(\rho_{p,A} - \rho) C_{D,B}}$$

Operación usual en beneficiación de minerales; consiste en la utilización de un fluido más denso; DMS (*Dense Media Separation*).

Los fluidos industriales más utilizados, son mezclas acuosas de magnetita ($[\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2]\text{O}_4$) y ferro silicio (FeSi)

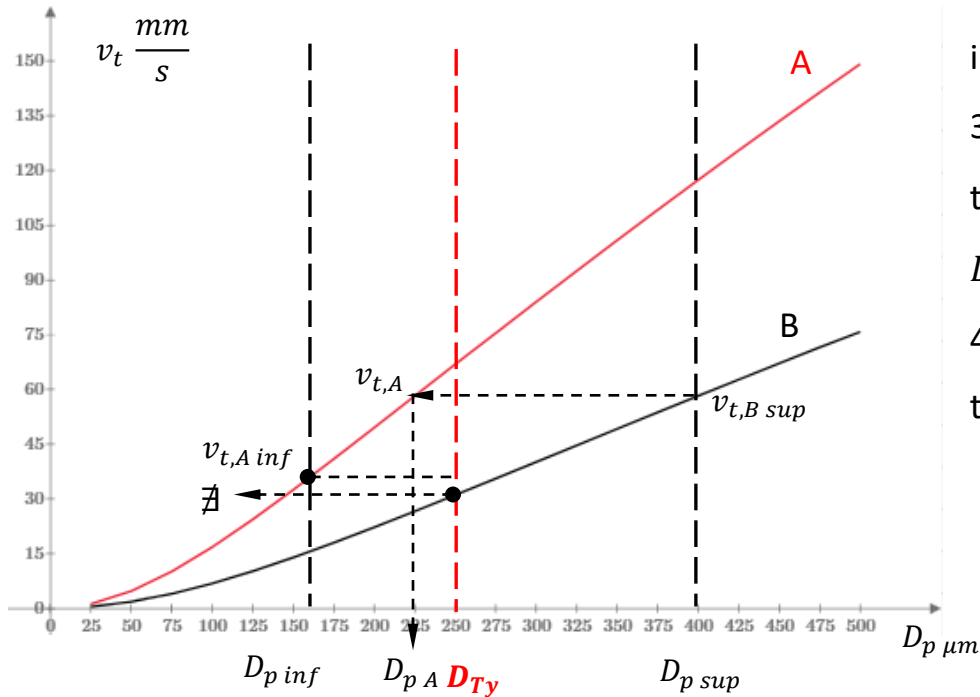
Material	SG SG: Specific Gravity (del solido)	Regeneration
Galena	7.4-7.6	Froth-flotation
Magnetite	5.0-5.2	Magnetic separation
Mill-scale	~5	Magnetic separation
Ferro-silicon	6.3-7.0	Magnetic separation
Pyrite	5.02	-
Quartz sand	2.65	-

Heavy Liquid	Formula	S.G.	Dilution	Health
Tri-chloro-ethylene	CCl_2CHCl	1.46	-	Group 2A carcinogen
Carbon-tetrachloride	CCl_4	1.5	Most organic liquids	Group 2B carcinogen
Bromoform, tribromomethane	CHBr_3	2.87	Alcohol, CCl_4	Liver damage, group 3
Tetrabromoethane (TBE)	$\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$	2.95	Alcohol, CCl_4 chloroform	Suspected carcinogen
Di-iodo methane (methylene iodide)	CH_2I_2	3.31	CCl_4 , benzene	Moderate toxicity-central nervous system
Clerici solution (thallium malonate/thallium formate)	$(\text{TlCOOH})_2\text{C}/\text{TlCOOH}$	4.2-5.0	Water	Highly toxic, cumulative poison
Lithium heteropolytungstate (LST)	$\text{Li}_m\text{X}_n(\text{W}_{12}\text{O}_{40})$	2.95	Water	Low-to-moderate toxicity
Sodium polytungstate (SPT)	$\text{Na}_6(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40})$	3.1	Water	Low-to-moderate toxicity
Lithium metatungstate (LMT)	$\text{Li}_6(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40})$	3.0	Water	Low-to-moderate toxicity

Operaciones de separación sólido – fluido; elutriación, ruptura de isodromía

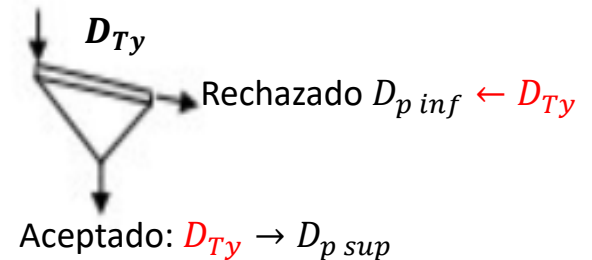
Combinación de cribas y elutriadores

Procedimiento para selección de abertura de criba D_{Ty}



- 1) A la $v_{t,B sup}$ determinar $v_{t,A}$ y D_{pA} mediante la condición de isodromía.
- 2) Seleccionar la malla normalizada de criba inmediatamente superior, $D_{Ty} \geq D_{pA}$
- 3) La operación de clasificación queda dividida en dos tramos de diámetro de partícula: $D_{Ty} \rightarrow D_{p sup}$ y $D_{p inf} \leftarrow D_{Ty}$.
- 4) Verificar la existencia de isodromía en este último tramo. Si existe, repetir pasos 1) a 4).

Alimentación



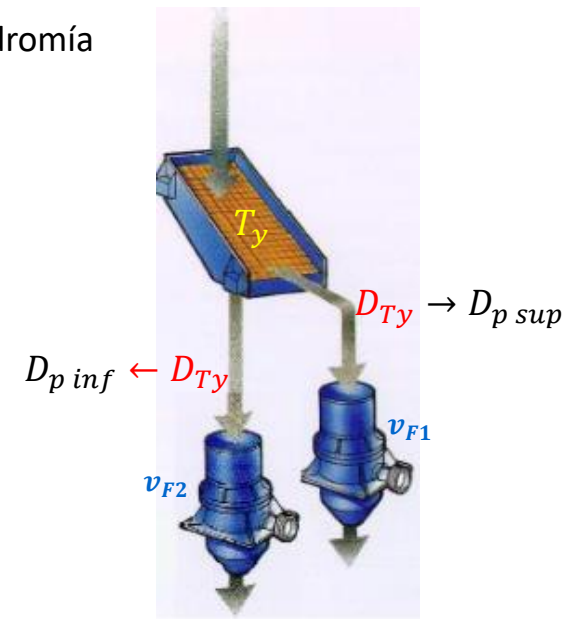
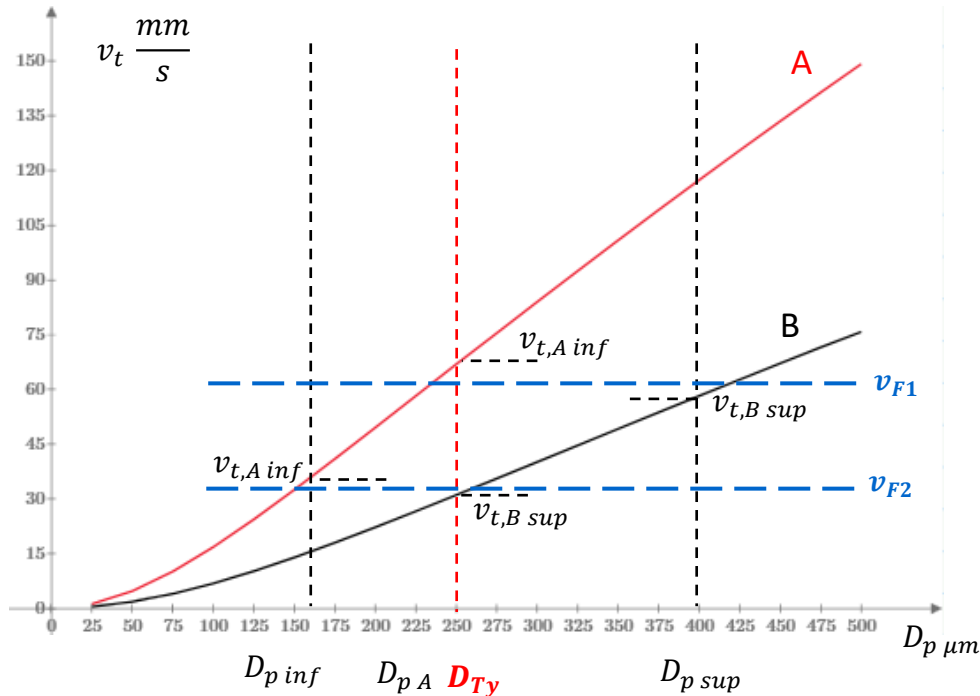
Este procedimiento es equivalente a definir:

$$R_{dens} = \frac{(\rho_{p,B} - \rho) C_{D,A}}{(\rho_{p,A} - \rho) C_{D,B}}$$

$$D_{Ty} > R_{dens} D_{p B sup}$$

Operaciones de separación sólido – fluido; elutriación, ruptura de isodromía

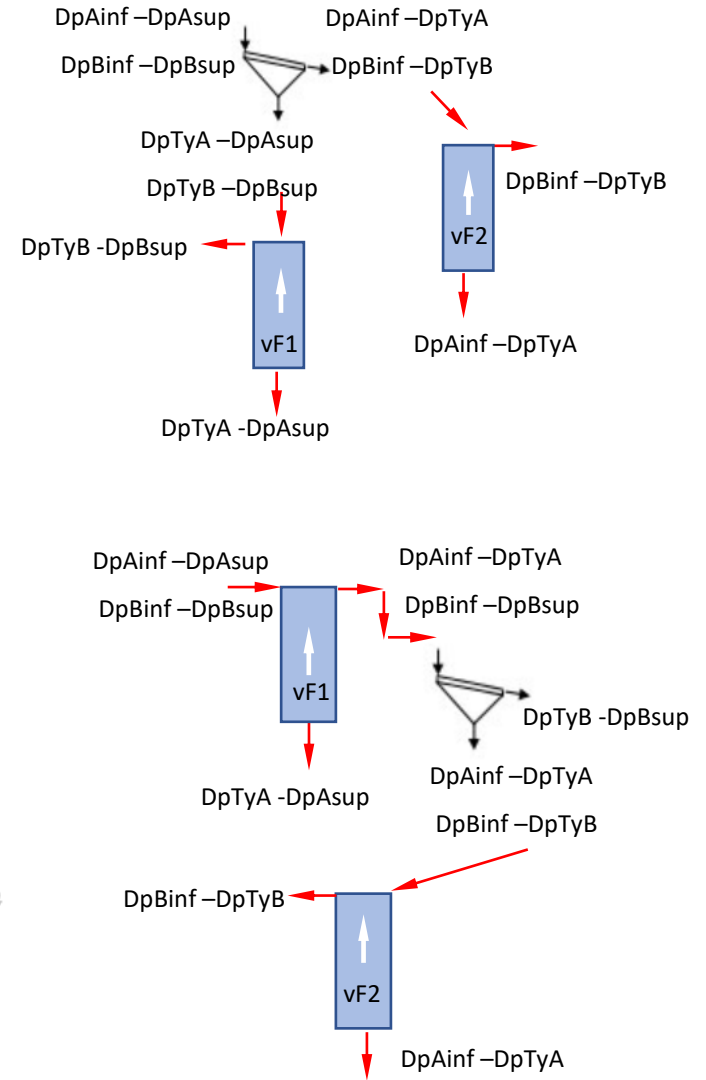
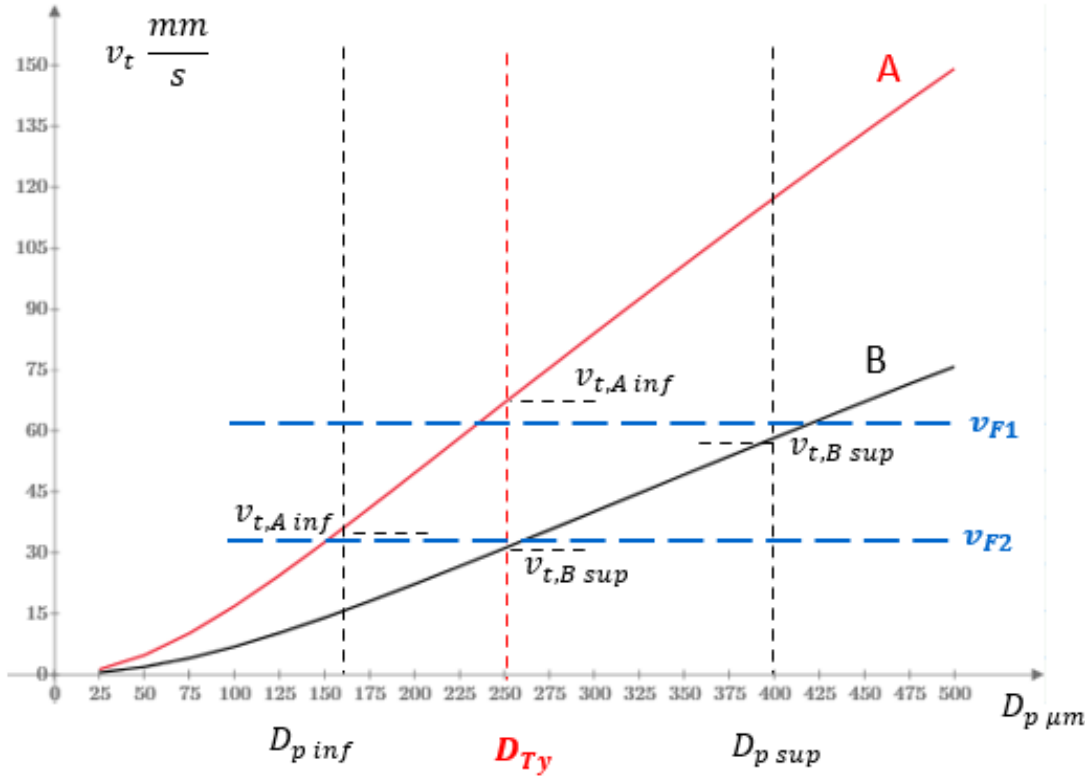
Combinación de cribas y elutriadores



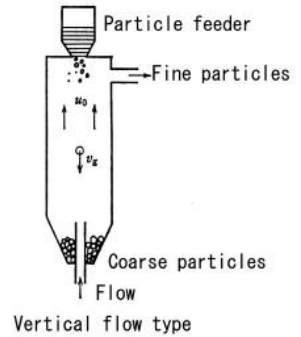
- 5) Determinar la velocidad del fluido: v_F se considerará como la **velocidad terminal promedio** entre la $v_{t,A\ inf}$ PARA LA PARTÍCULA MAS PEQUEÑA DEL SÓLIDO MAS PESADO A y la $v_{t,B\ sup}$ PARA LA PARTÍCULA MÁS GRANDE DEL SÓLIDO MÁS LIVIANO B para cada elutriador empleado (para garantizar la separación de los sólidos).

Operaciones de separación sólido – fluido; elutriación, ruptura de isodromía

Combinación de cribas y elutriadores ; algunas configuraciones



Operaciones de separación sólido – fluido; elutriación, dimensionamiento



Dimensionamiento en ausencia de isodromía; supone una clasificación previa, por ejemplo, mediante cribado

Balances

$$\rho_w Q_w + \rho_w Q_{w,F} = \rho_w Q_{w,B} + \rho_w Q_{w,A} \quad \text{Balance de masa de fluido (basado en agua, w)}$$

$$\dot{m}_{s,F} = \dot{m}_{s,B} + \dot{m}_{s,A} \quad \text{Balance de masa de sólidos}$$

$$\dot{m}_F + \rho_w Q_w = \dot{m}_B + \dot{m}_A \quad \text{Balance global}$$

$$\dot{m}_F = \dot{m}_{s,F} + \dot{m}_{w,F} = \dot{m}_{s,F} + \rho_w Q_{w,F} \quad (A+B)$$

Información adicional

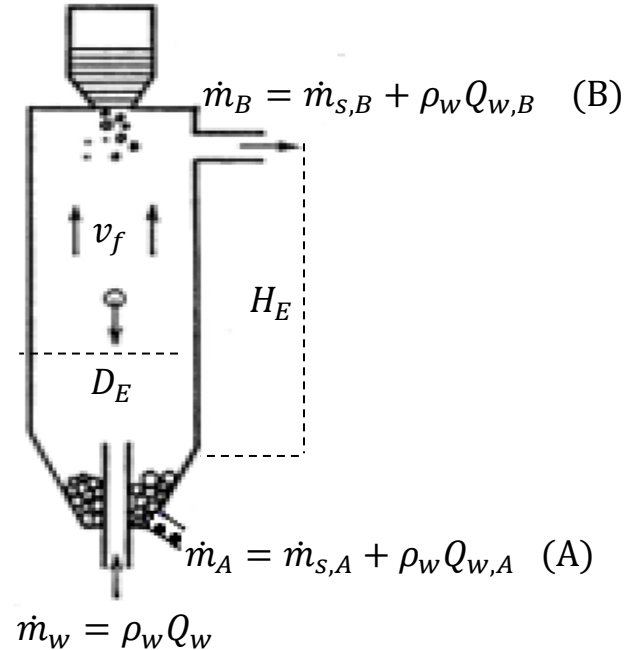
$$r_{B,bfluido} = \frac{\dot{m}_{s,B}}{\rho_w Q_{w,B}}; r_{A,bfluido} = \frac{\dot{m}_{s,A}}{\rho_w Q_{w,B}}$$

$$r_{B,btotal} = \frac{\dot{m}_{s,B}}{\dot{m}_{s,B} + \rho_w Q_{w,B}}; r_{A,btotal} = \frac{\dot{m}_{s,A}}{\dot{m}_{s,A} + \rho_w Q_{w,A}}$$

Base de dimensionamiento

La $v_f \approx v_t$ del componente más liviano y de mayor diámetro (B, $D_{p,B,sup}$)

$$Q_{w,B} = v_f \frac{\pi D_E^2}{4} \rightarrow D_{elut} = \sqrt{\frac{4 Q_{w,B}}{\pi v_f}} \rightarrow H_{elut} = F_d D_{elut}$$



En una planta industrial para el tratamiento de minerales se construirá un nuevo sector para la separación total de una mezcla de partículas sólidas A y B por tamizado y elutriación empleando agua a 20°C .

Dimensione los elutriadores y especifique las condiciones de operación para obtener la separación completa de los sólidos (diámetros de partículas a ingresar a cada elutriador y caudales de proceso en cada caso).

El análisis por tamizado de la mezcla indica lo siguiente:

Malla Tyler	32	35	42	48
Fracción másica	-	20	60	20

Alimentación de la mezcla de sólidos:

Gasto $\text{kg}\cdot\text{hr}^{-1}$: 800;

Composición de la mezcla de alimentación (%A): 25;

Densidad de sólidos ($\text{gm}\cdot\text{cm}^{-3}$): 5.2 para A; 4.1 para B;

Esfericidad: 0.82

Consistencia de sólidos en la corriente de salida

(masa/Volumen cabeza y fondo) $3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$

Relación altura / diámetro elutriadores : 3



mdj_TSP diseño elutriador