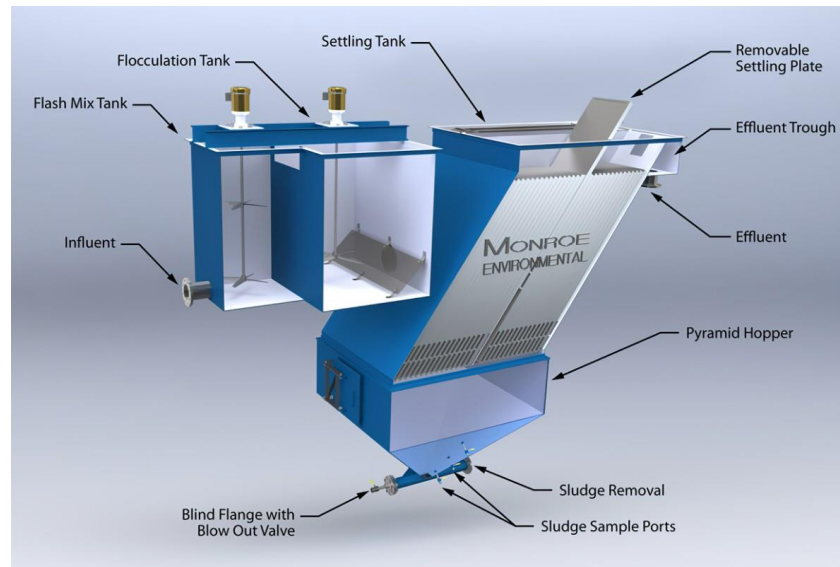


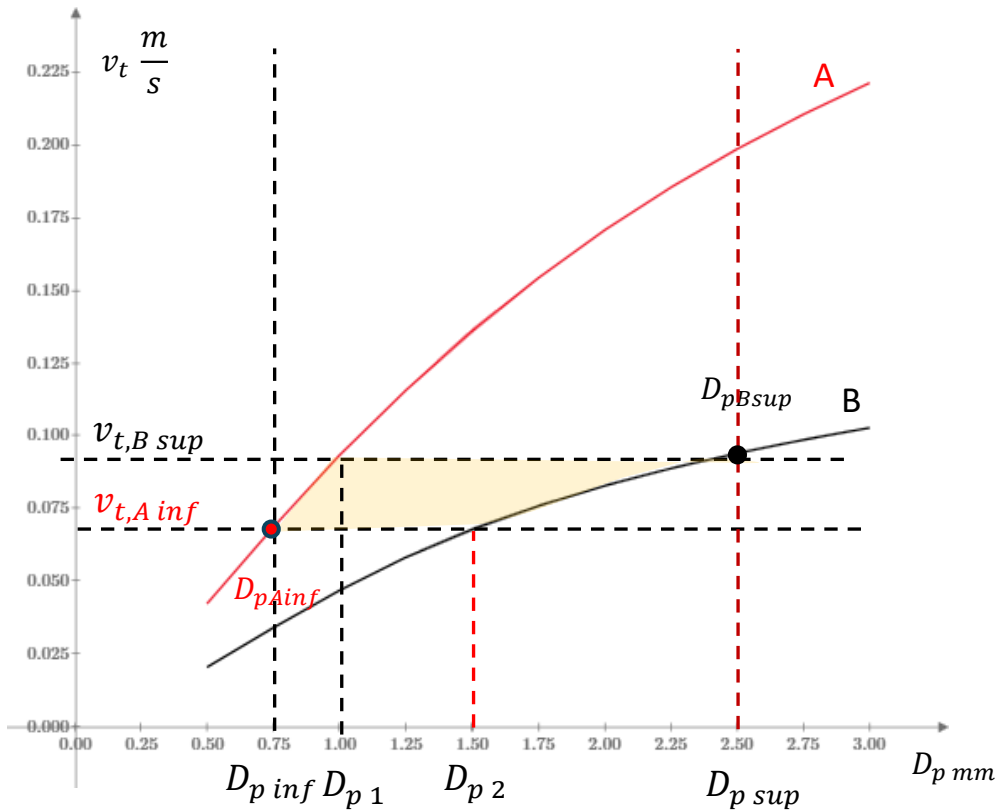
Operaciones Unitarias 1

Separación gravimétrica sólido - fluido



Operaciones de separación sólido – fluido; condición de isodromía Mezcla **A + B** de diferentes densidades

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 ($D_{p,inf} \leq D_p \leq D_{p,sup}$): $v_{t,A,inf} \leq v_{t,B,sup}$

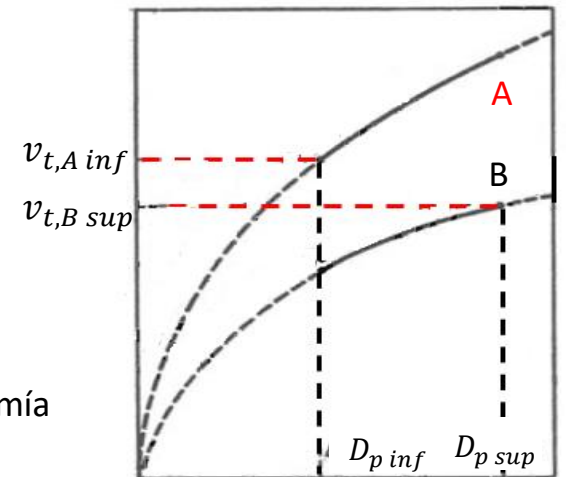
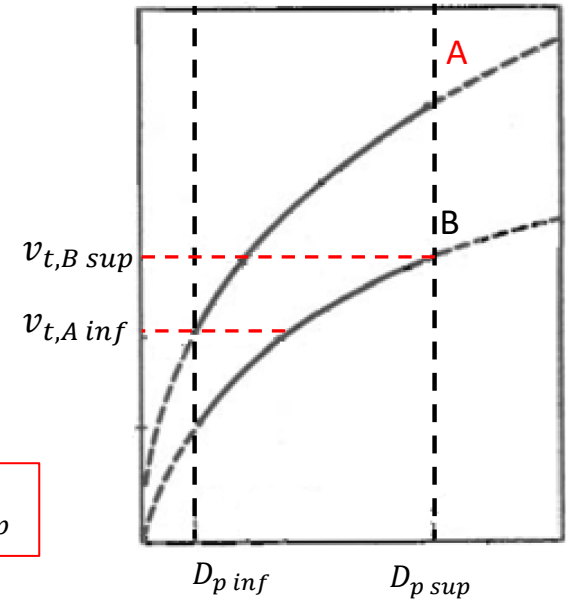
$$v_{t,i} = \sqrt{\frac{4 D_{p,i} g (\rho_{p,i} - \rho)}{3 \rho C_{D,i}}}; C_{D,i} = \phi \left(Re_{p,i} \left(= \frac{\rho v_{t,i} D_{p,i}}{\mu} \right), \psi_i \right) i: A, B \quad \Rightarrow$$

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

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

condición de isodromía

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

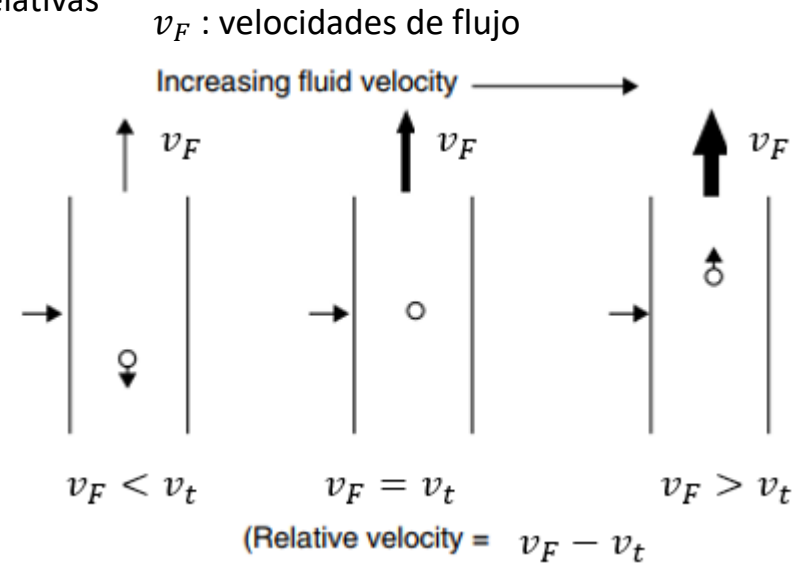
Nota de buena práctica: a valores de $R_D^{-1} > 2,5$ la separación puede ser asegurada. Si $R_D^{-1} < 1,5$ la separación no puede no ser asegurada.

Operaciones de separación sólido – fluido; velocidades relativas

Una única partícula inmersa en un fluido de densidad ρ :

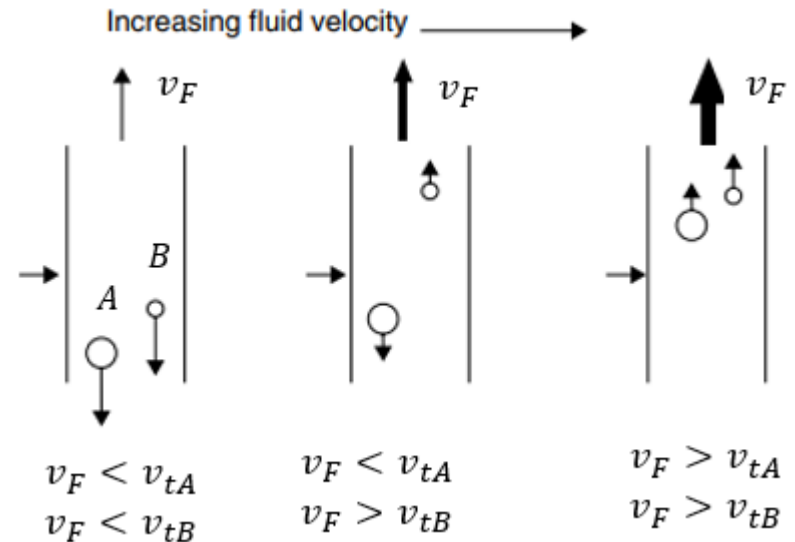
Si $v_F < v_t$, la partícula caerá; si $v_F = v_t$, permanecerá en la misma posición vertical; si $v_F > v_t$, se moverá hacia arriba.

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



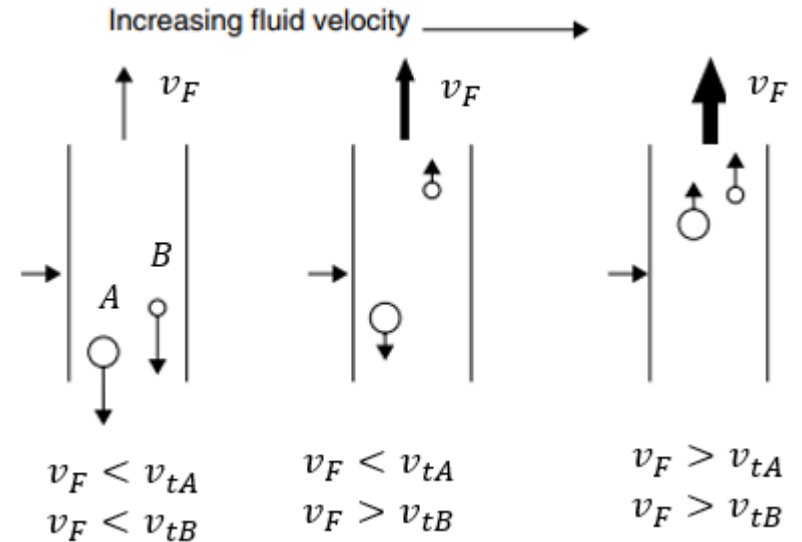
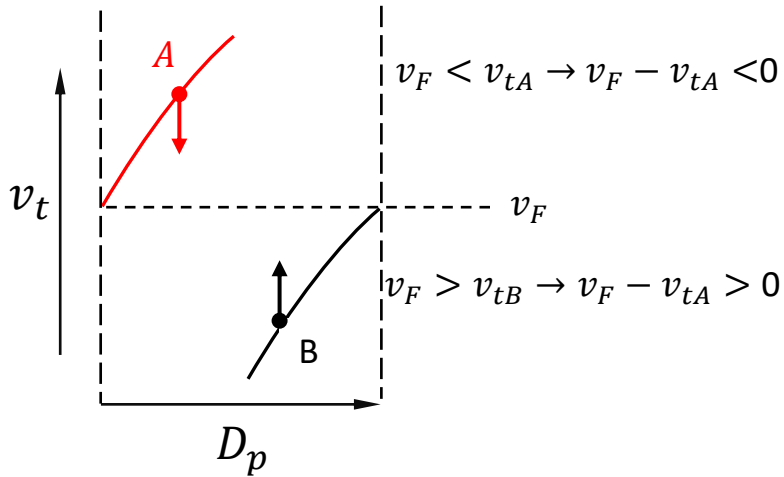
Dos partículas de diferente tamaño y densidad que tengan velocidades terminales v_{tA} y v_{tB} .

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

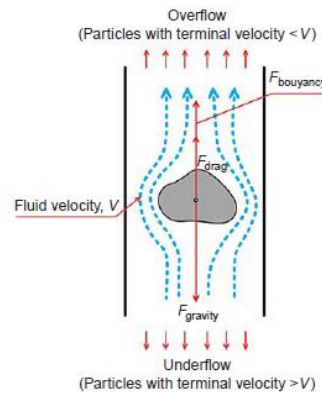
Considerar partículas de diferente naturaleza i , tamaño, D_{pi} y densidad ρ_{pi} , que se encuentran inmersas en un flujo de líquido o gas (de densidad ρ), que escurre hacia arriba contra la gravedad a la velocidad v_F ; aquellas partículas de tamaño $D_p = D_{pt}$ (donde D_{pt} es el diámetro de partícula

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.

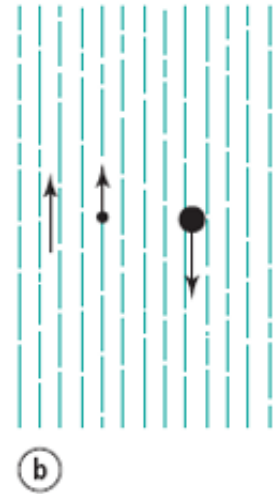
Si el sistema conformado por dos tipos de partícula: **A** (ρ_{pA}, v_{tA}) y **B** (ρ_{pB}, v_{tB}) (con $\rho_{pA} > \rho_{pB}$), si $v_{tA} = v_{tB}$ se presenta la condición de partículas isódromas.

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.

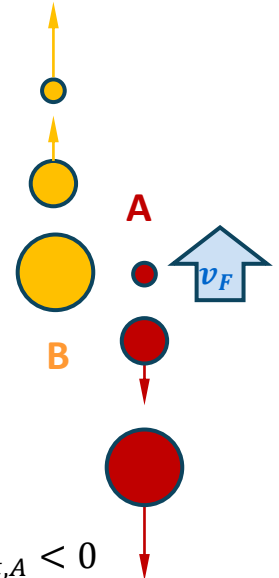


$$v_{relativa} = v_F - v_{tB} = v_F - v_{tA} = 0$$

fluido movimiento ascendente



$$v_{relativa} = v_F - v_{tB} > 0$$



$$v_{relativa} = v_F - v_{tA} < 0$$

Operaciones de separación sólido – fluido; 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

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

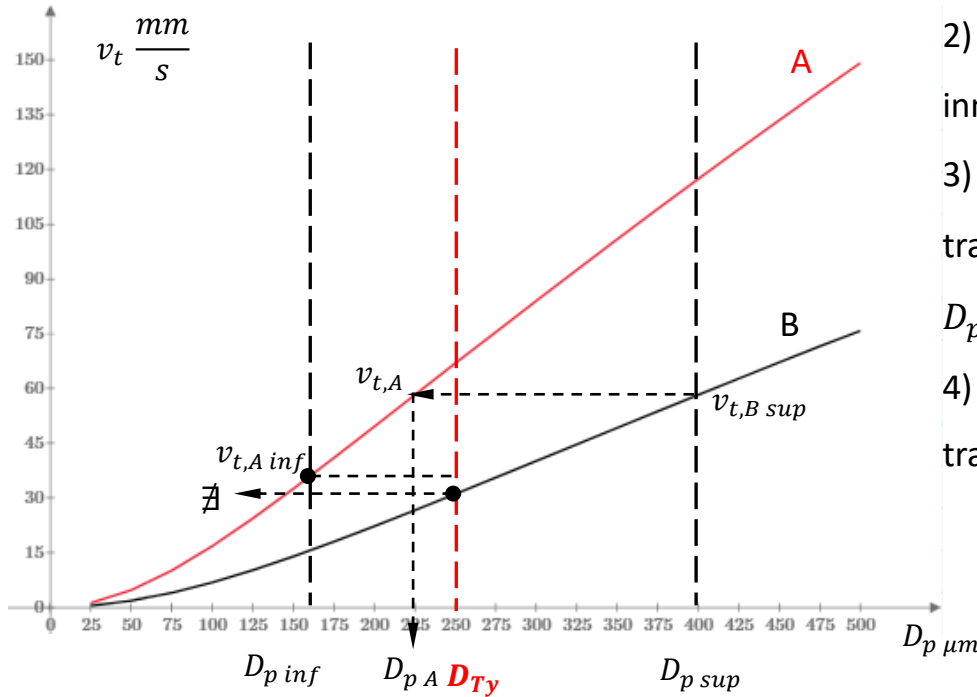
(\exists isodromía)

Operaciones de separación sólido – fluido; elutriación, ruptura de isodromía $R_D = \frac{D_{p,A,inf}}{D_{p,B,sup}} \leq \frac{(\rho_{p,B} - \rho) C_{D,A}}{(\rho_{p,A} - \rho) C_{D,B}} = R_{dens}$

(\exists isodromía)

Combinación de cribas y elutriadores

Procedimiento para selección de abertura de criba D_{Ty}



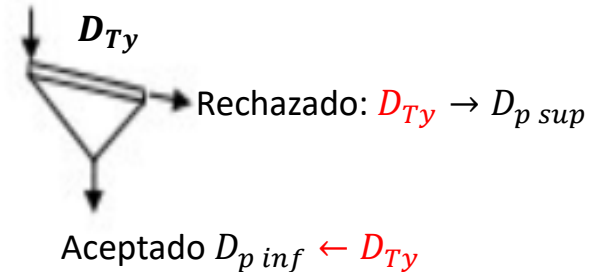
1) A la $v_{t,B sup}$ determinar $v_{t,A}$ y $D_{p A}$ mediante la condición de isodromía.

2) Seleccionar la malla normalizada de criba inmediatamente superior, $D_{Ty} \geq D_{p A}$

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

Alimentación

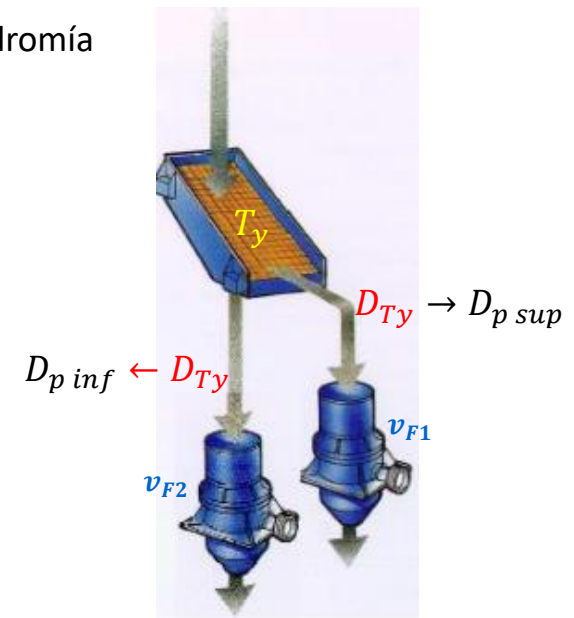
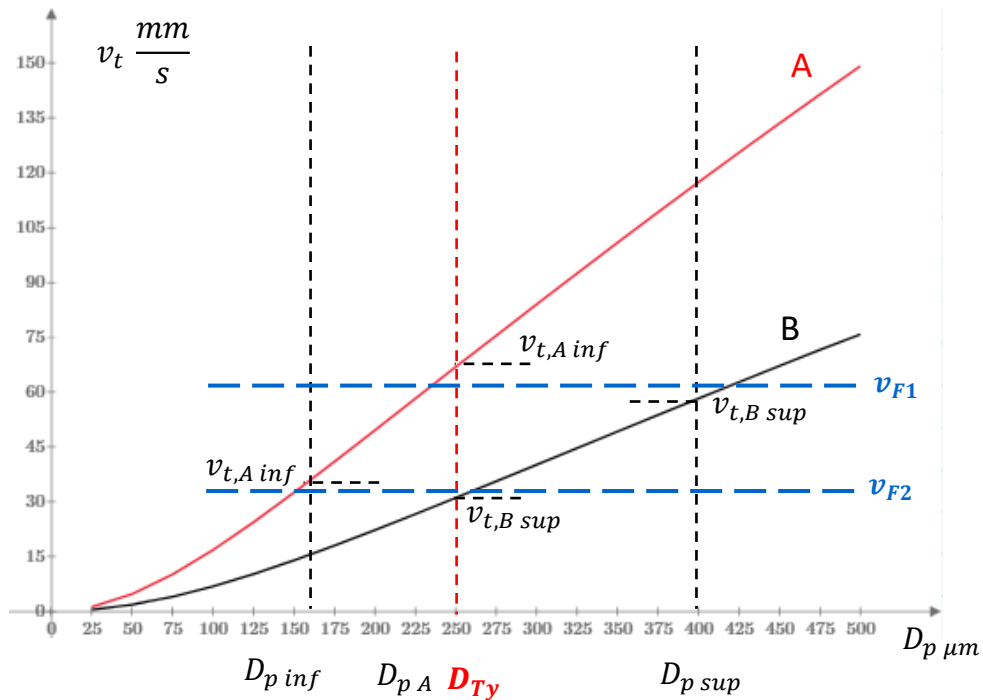


Este procedimiento gráfico es equivalente a definir:

$$R_D = \frac{D_{p,A,inf}}{D_{p,B,sup}} \geq \frac{(\rho_{p,B} - \rho) C_{D,A}}{(\rho_{p,A} - \rho) C_{D,B}} = R_{dens} \Rightarrow D_{Ty} \geq R_{dens} D_{p Bsup}$$

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

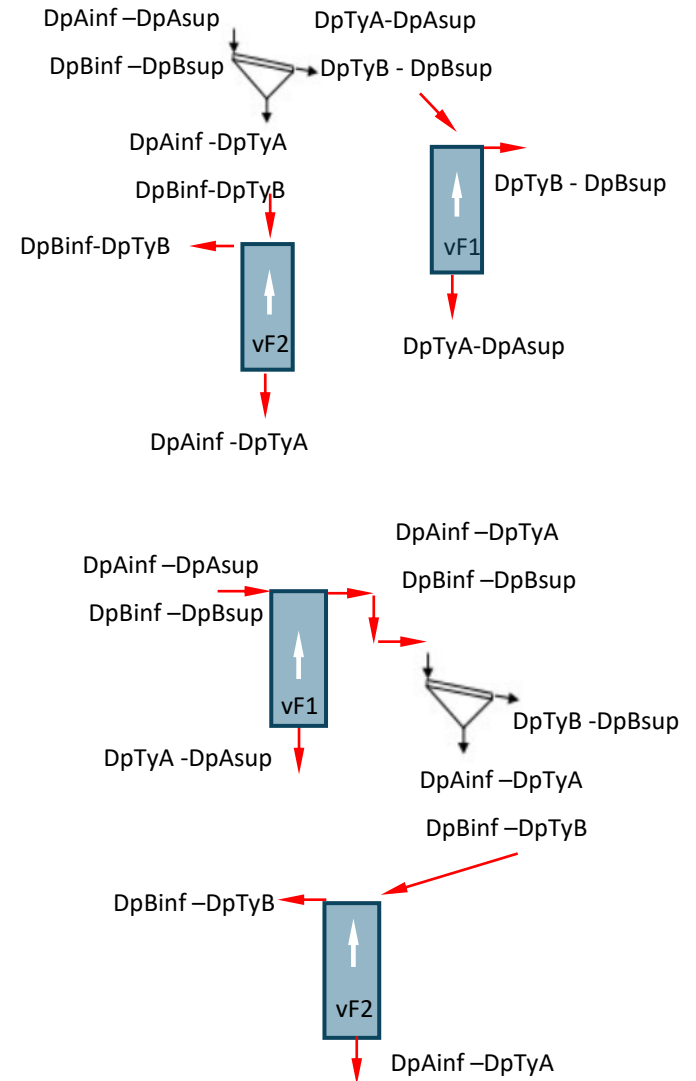
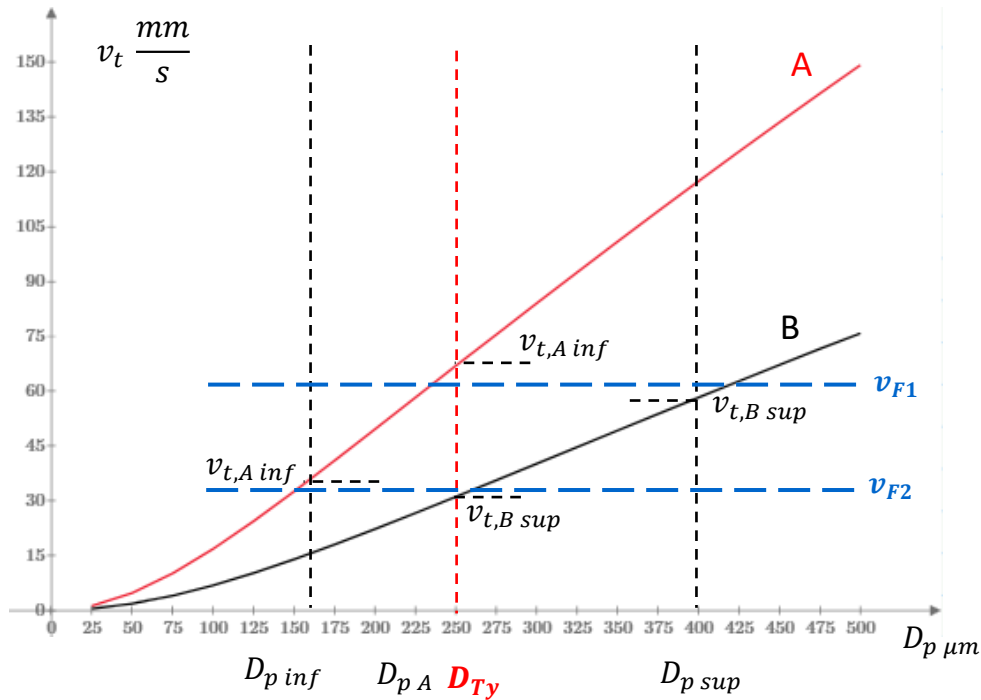
Combinación de cribas y elutriadores



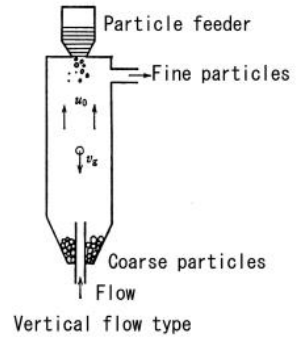
- 5) Determinar la velocidad del fluido: v_F se considerará como la **velocidad terminal promedio** entre la $v_{t,A\ inf}$ PARA LA PARTÍCULA MAS PEQUEÑA DEL SÓLIDO MAS PESADO A y la $v_{t,B\ sup}$ PARA LA PARTÍCULA MÁS GRANDE DEL SÓLIDO MÁS LIVIANO B para cada elutriador empleado (para garantizar la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

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

Combinación de cribas y elutriadores; algunas configuraciones en la secuencia de operación



Operaciones de separación sólido – fluido; elutriación, dimensionamiento



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

Balances

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_w Q_w + \rho_w Q_{w,F} = \rho_w Q_{w,B} + \rho_w Q_{w,A} \text{ Balance de masa de fluido (basado en agua, w)} \\ \dot{m}_{s,F} = \dot{m}_{s,B} + \dot{m}_{s,A} \text{ Balance de masa de sólidos} \\ \dot{m}_F + \rho_w Q_w = \dot{m}_B + \dot{m}_A \text{ Balance global} \end{array} \right.$$

Condición seca: $\dot{m}_{w,F} = 0$

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

Información adicional

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

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

Base de dimensionamiento

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

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

