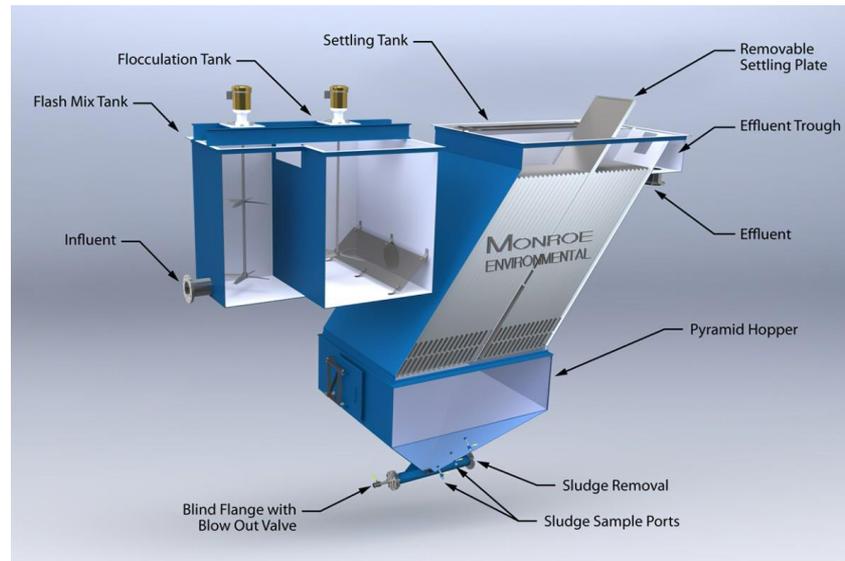


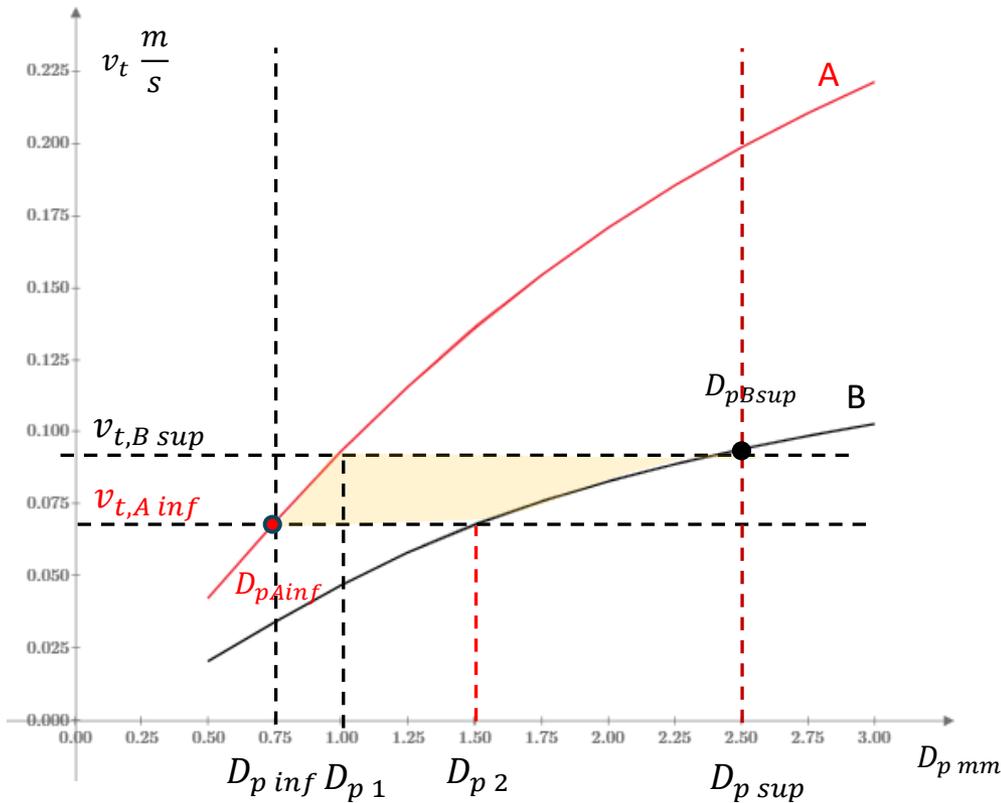
# Operaciones Unitarias 1

## 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 ( $D_{p,inf} \leq D_p \leq D_{p,sup}$ ):

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

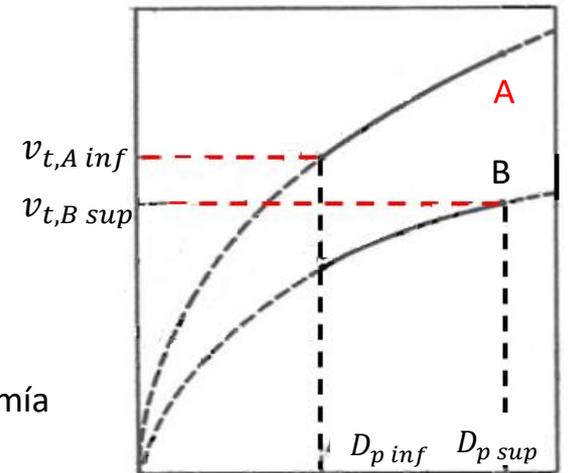
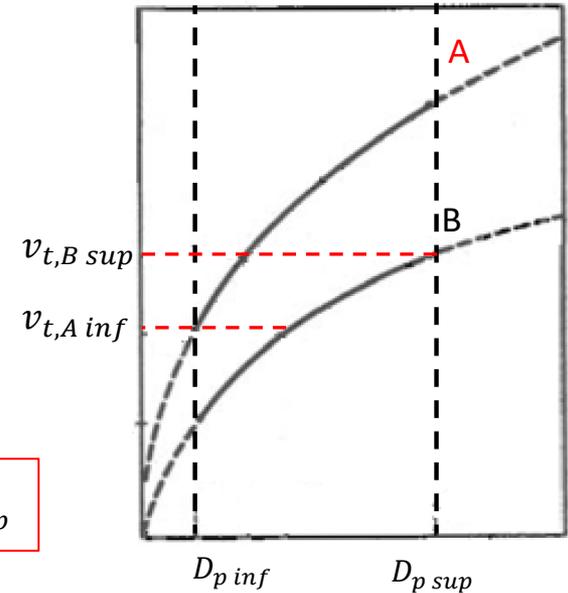
$$v_{t,i} = \sqrt{\frac{4 D_{p,i} g (\rho_{p,i} - \rho)}{3 \rho C_{D,i}}}; C_{D,i} = \phi \left( Re_{p,i} \left( = \frac{\rho v_{t,i} D_{p,i}}{\mu} \right), \psi_i \right) i: A, B \quad \Rightarrow$$

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

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

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

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

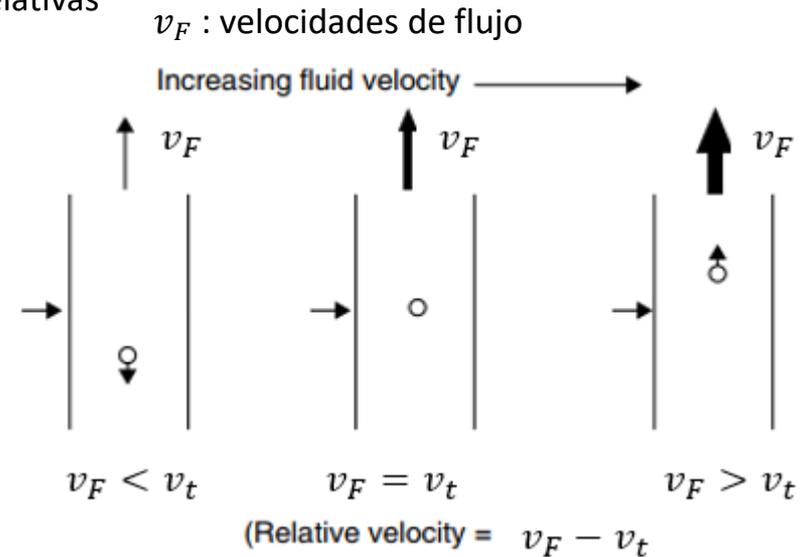
Nota de buena práctica: a valores de  $R_D^{-1} > 2,5$  la separación puede ser asegurada. Si  $R_D^{-1} < 1,5$  la separación no puede no ser asegurada.

## Operaciones de separación sólido – fluido; velocidades relativas

Una única partícula inmersa en un fluido de densidad  $\rho$ :

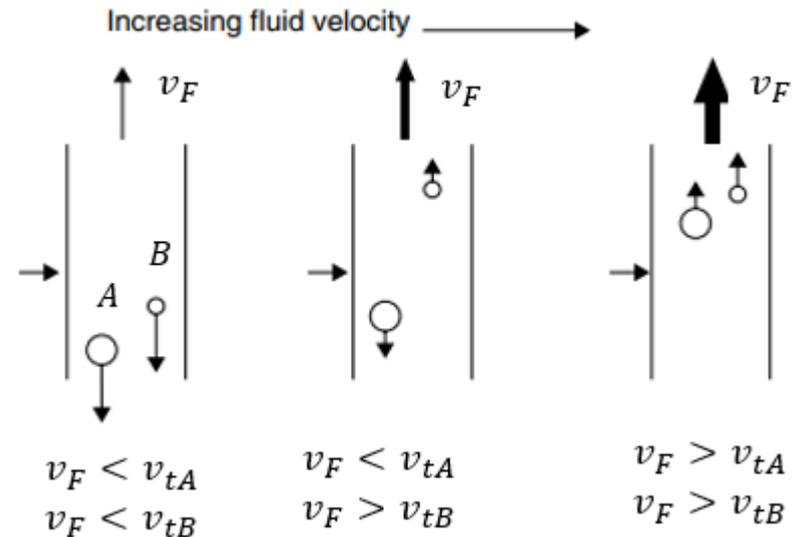
Si  $v_F < v_t$ , la partícula caerá; si  $v_F = v_t$ , permanecerá en la misma posición vertical; si  $v_F > v_t$ , se moverá hacia arriba.

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



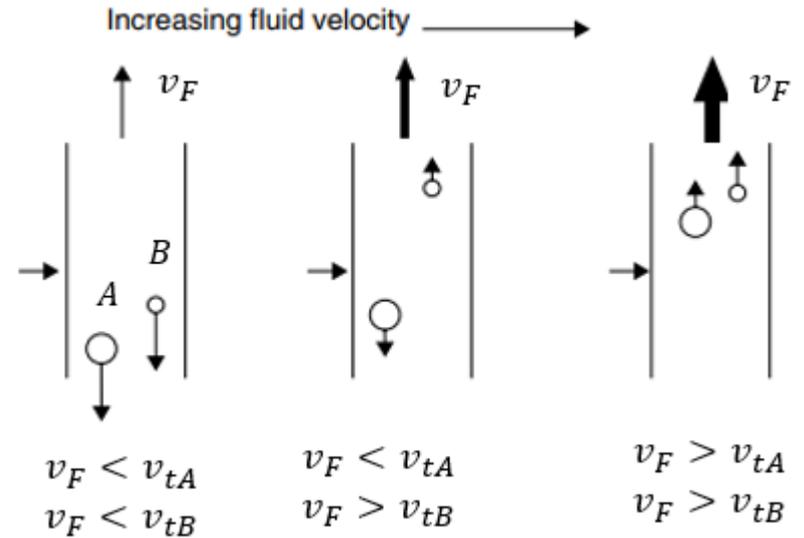
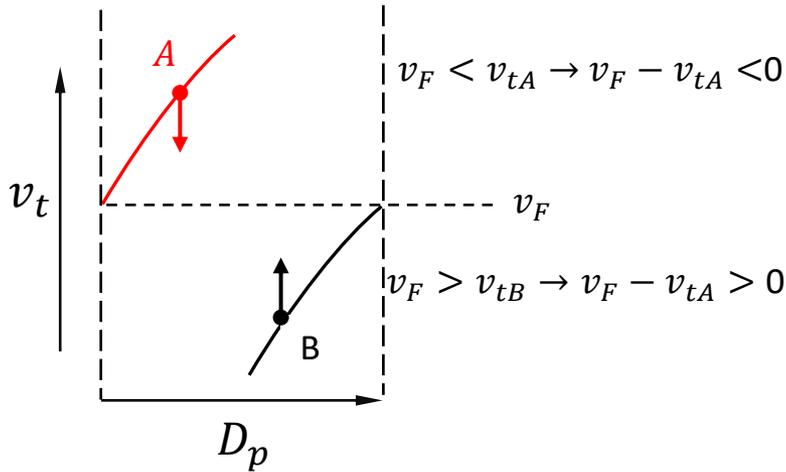
Dos partículas de diferente tamaño y densidad que tengan velocidades terminales  $v_{tA}$  y  $v_{tB}$ .

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

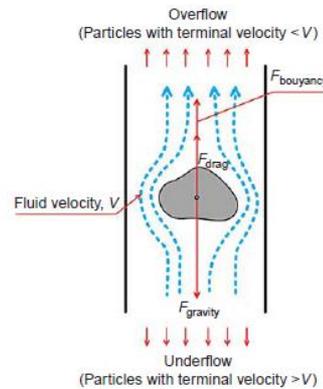
Considerar partículas de diferente naturaleza  $i$ , tamaño,  $D_{pi}$  y densidad  $\rho_{pi}$ , que se encuentran inmersas en un flujo de líquido o gas (de densidad  $\rho$ ), que escurre hacia arriba contra la gravedad a la velocidad  $v_F$ ; aquellas partículas de tamaño  $D_p = D_{pt}$  (donde 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

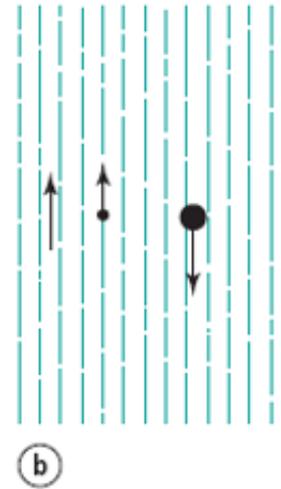
Si el sistema conformado por dos tipos de partícula: **A** ( $\rho_{pA}, v_{tA}$ ) y **B** ( $\rho_{pB}, v_{tB}$ ) (con  $\rho_{pA} > \rho_{pB}$ ), si  $v_{tA} = v_{tB}$  se presenta la condición de partículas isódromas.

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.

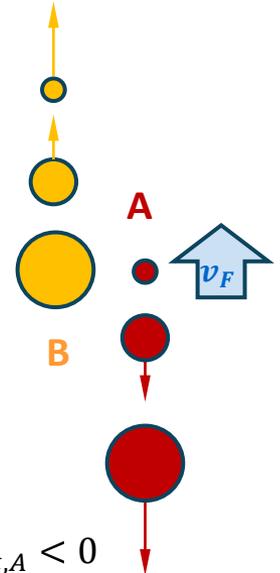


$$v_{relativa} = v_F - v_{tB} = v_F - v_{tA} = 0$$

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  $\rho$  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	$\text{CCl}_2\text{CHCl}$	1.46	-	Group 2A carcinogen
Carbon-tetrachloride	$\text{CCl}_4$	1.5	Most organic liquids	Group 2B carcinogen
Bromoform, tribromomethane	$\text{CHBr}_3$	2.87	Alcohol, $\text{CCl}_4$	Liver damage, group 3
Tetrabromoethane (TBE)	$\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$	2.95	Alcohol, $\text{CCl}_4$ chloroform	Suspected carcinogen
Di-iodo methane (methylene iodide)	$\text{CH}_2\text{I}_2$	3.31	$\text{CCl}_4$ , 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

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

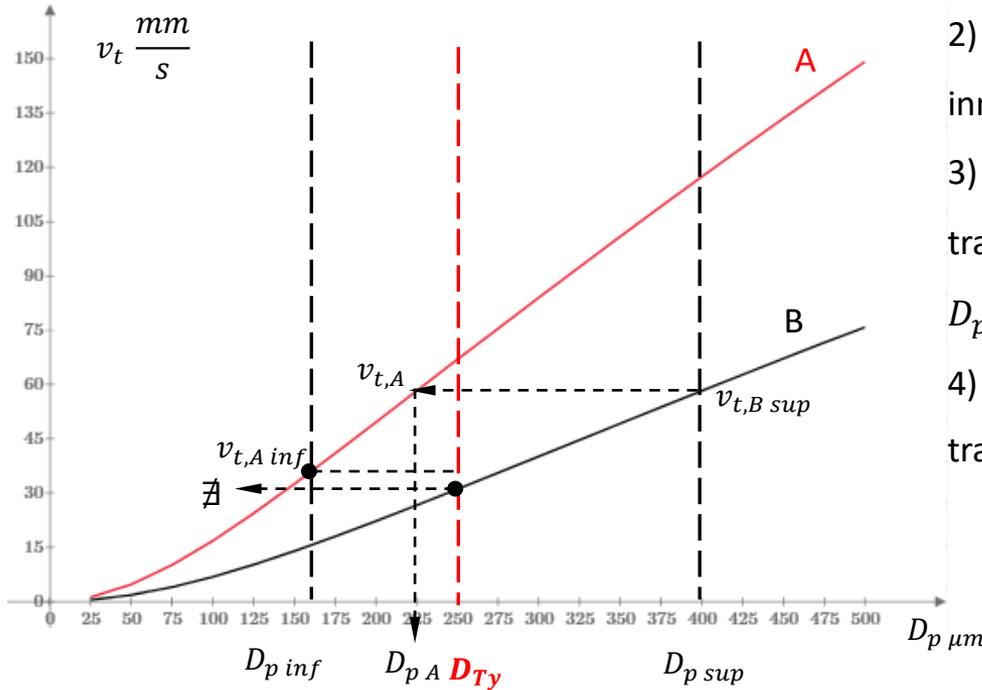
( $\exists$  isodromía)

**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  $D_{Ty}$



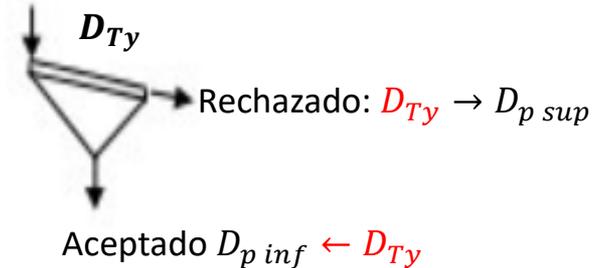
1) A la  $v_{t,B sup}$  determinar  $v_{t,A}$  y  $D_{p A}$  mediante la condición de isodromía.

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



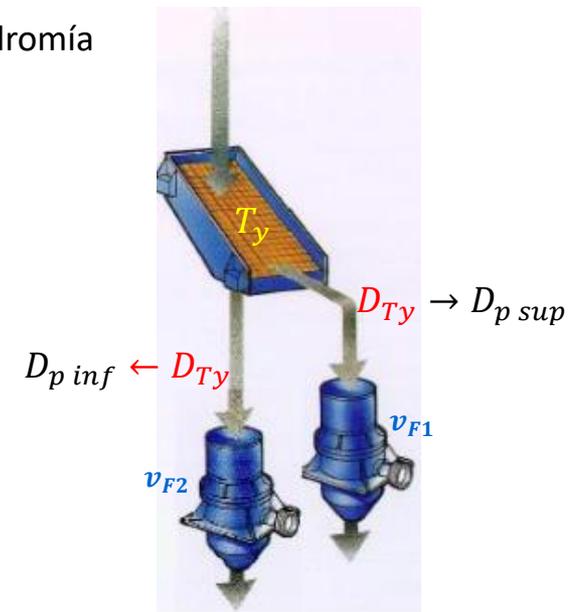
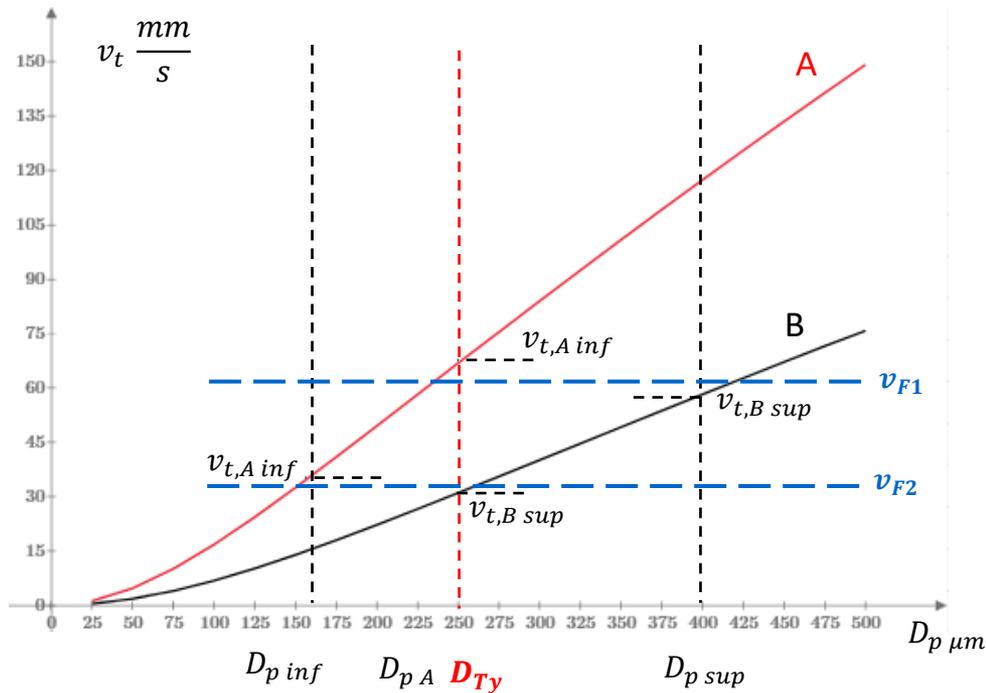
Este procedimiento gráfico es equivalente a definir:

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

$D_{p A,inf} \equiv D_{Ty}?$

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

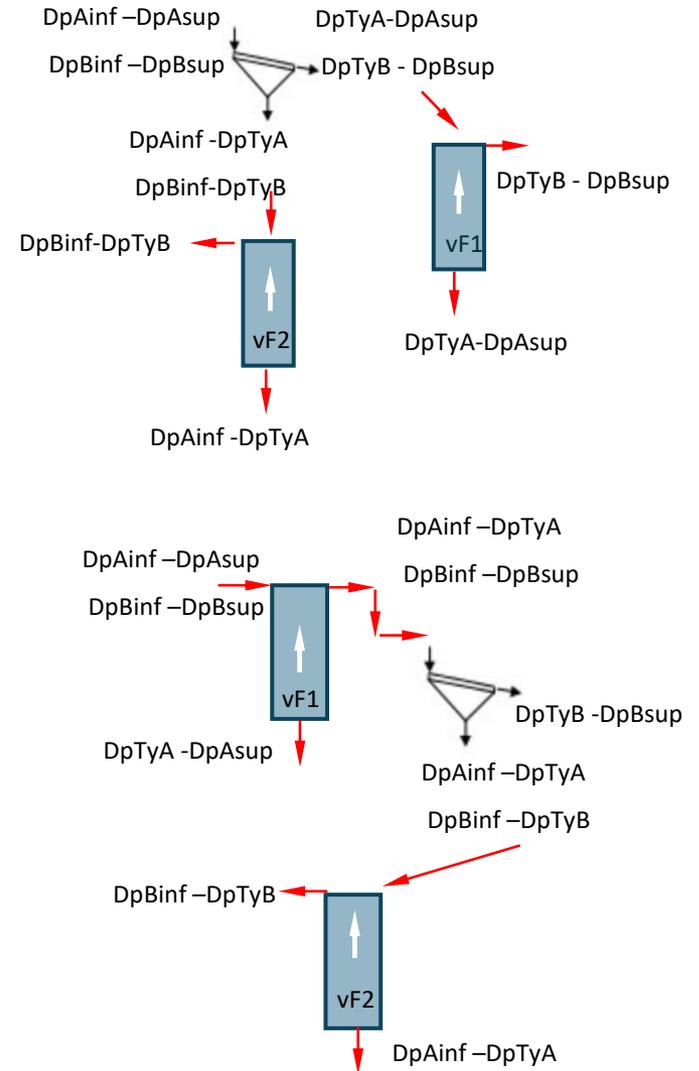
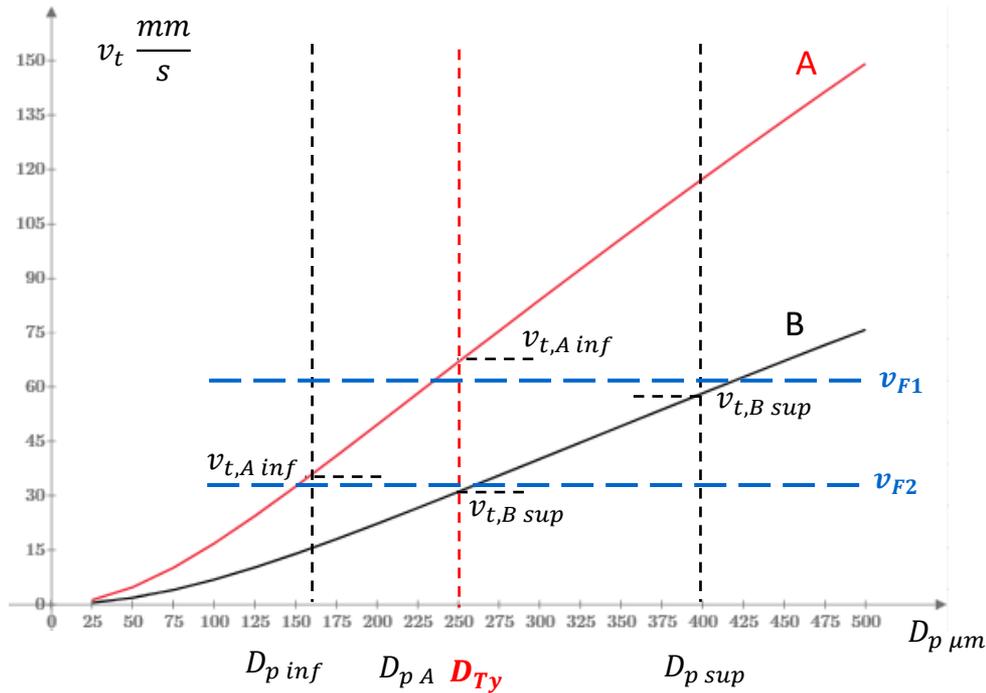
### Combinación de cribas y elutriadores



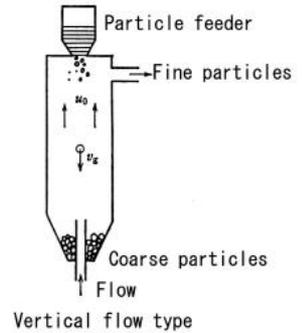
- 5) Determinar la velocidad del fluido:  $v_F$  se considerará como la **velocidad terminal promedio** entre la  $v_{t,A\ inf}$  PARA LA PARTÍCULA MAS PEQUEÑA DEL SÓLIDO MAS PESADO A y la  $v_{t,B\ sup}$  PARA LA PARTÍCULA MÁS GRANDE DEL SÓLIDO MÁS LIVIANO B para cada elutriador empleado (para garantizar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

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

