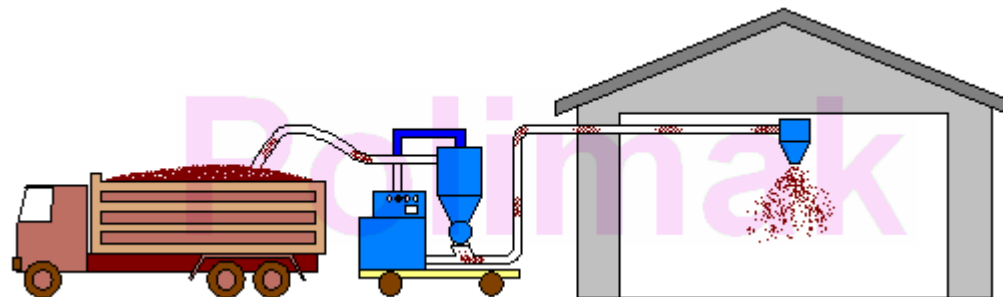
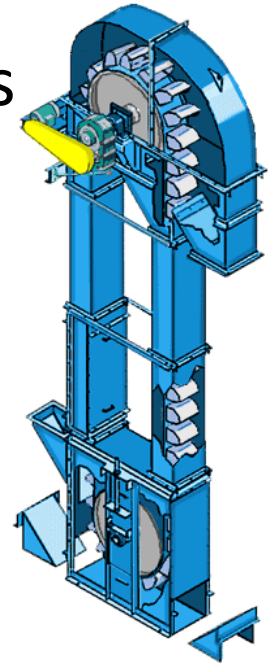
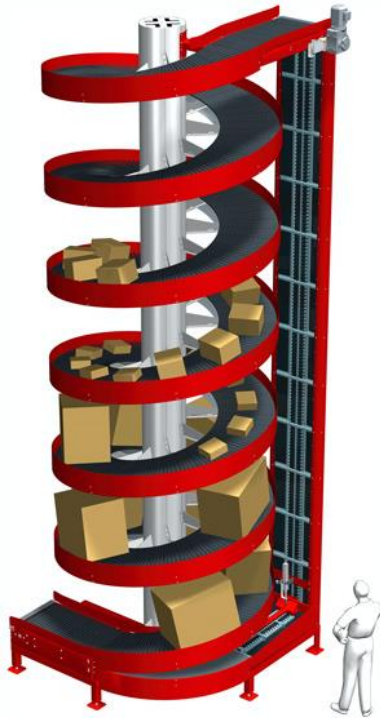


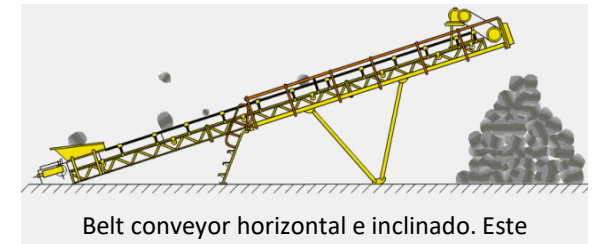
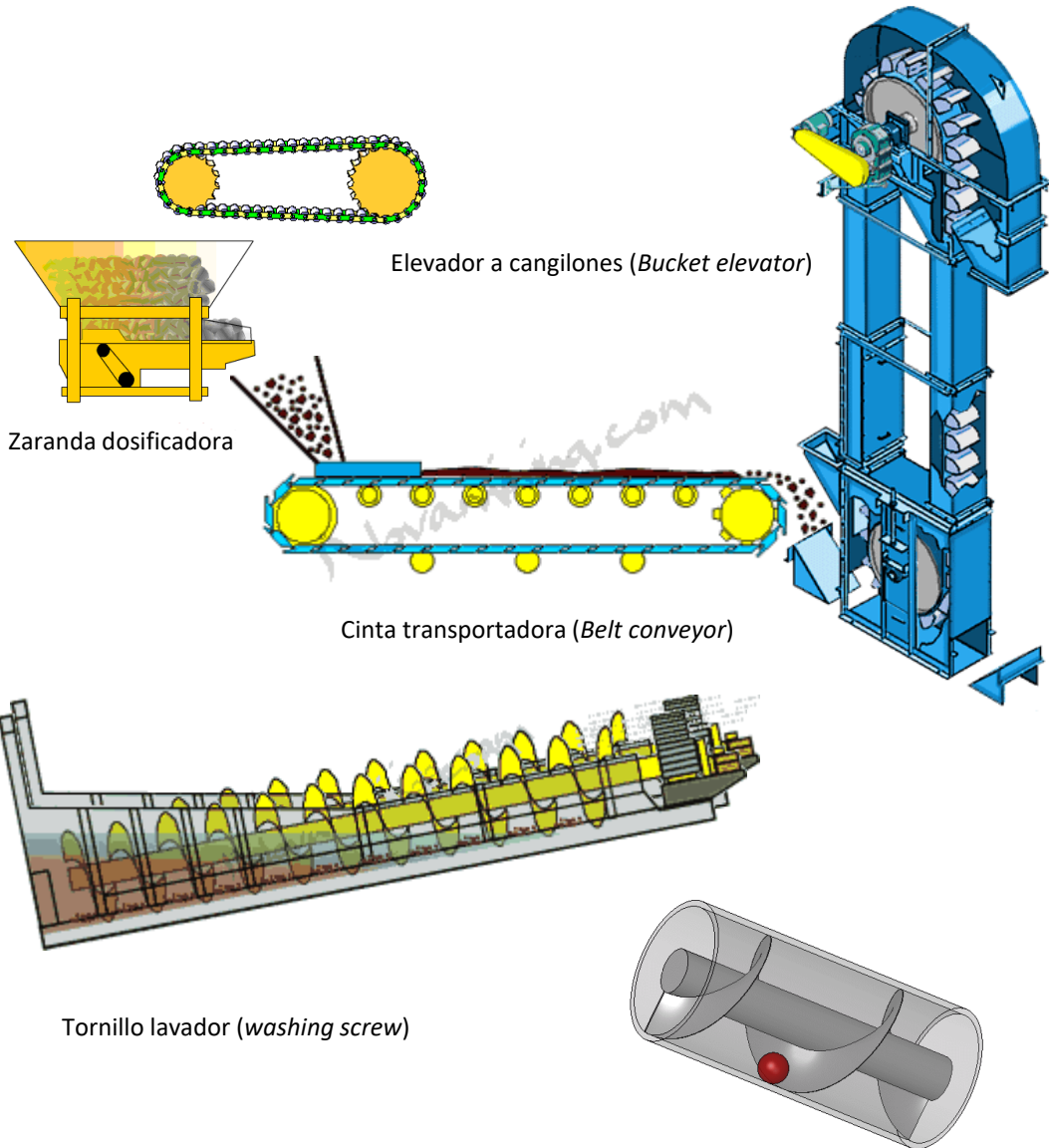
Operaciones Unitarias 1

Tecnología de los sistemas particulados

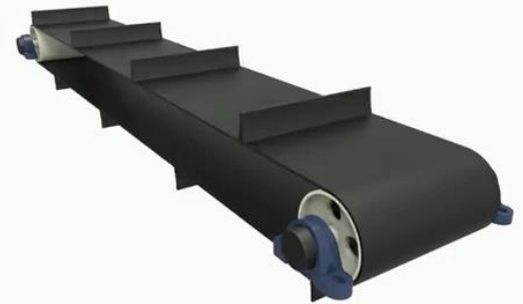
❖ Operaciones de transporte



Transporte mecánico

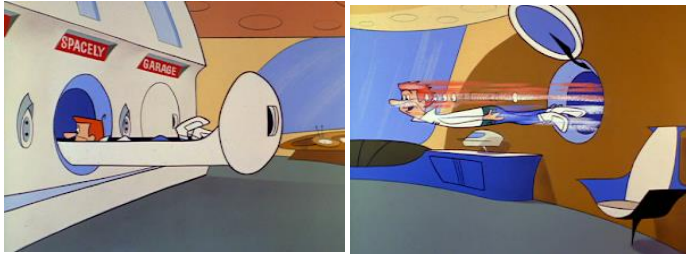


Belt conveyor horizontal e inclinado. Este último para operaciones de apilamiento

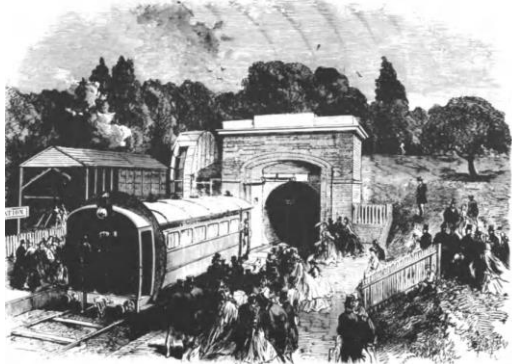


Transporte de sólidos dispersos en fluidos

Transporte hidráulico y neumático

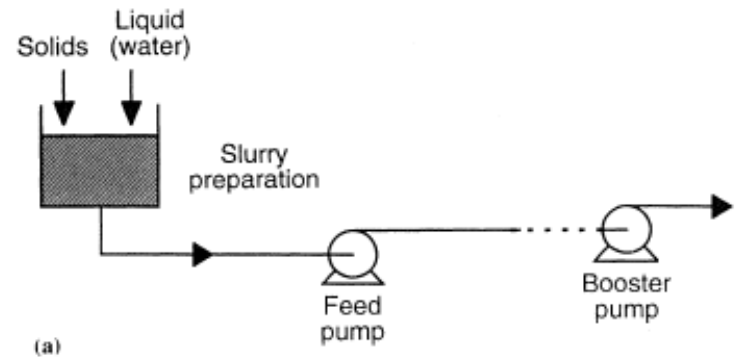


Los supersónicos

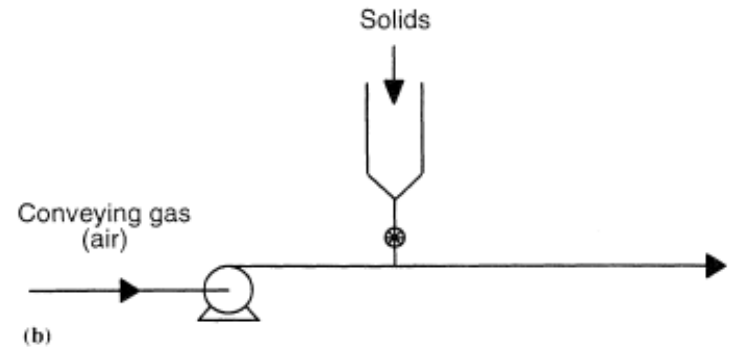


Tube and rail maps

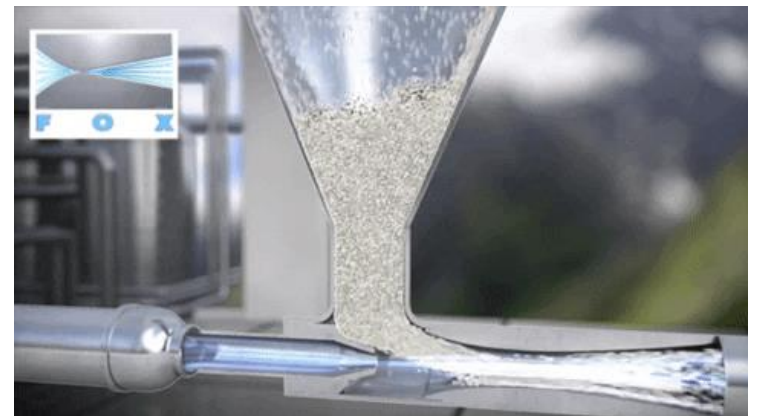
Whitehall Pneumatic Railway 1865- 1868 London Underground TUBE



(a)

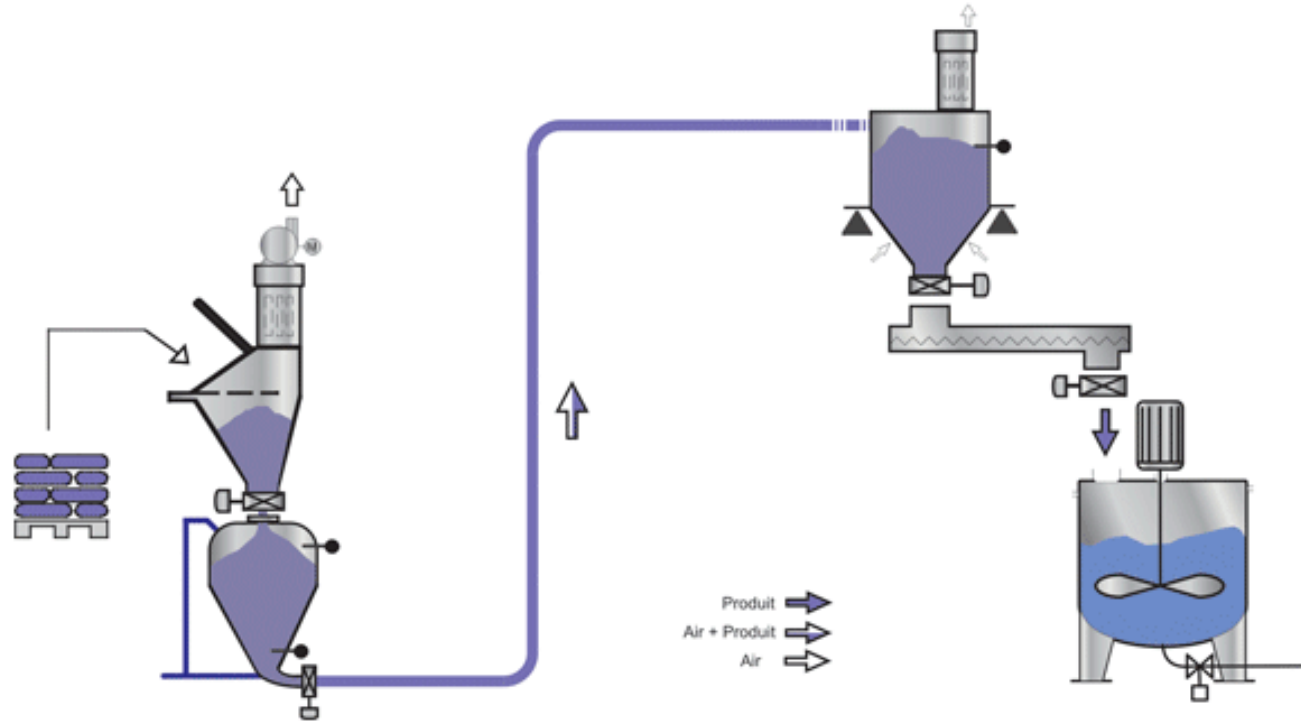


(b)



Transporte hidráulico y neumático

Cuando la velocidad superficial del fluido sobrepasa la velocidad límite de sedimentación de las partículas sólidas, éstas adquieren un movimiento de desplazamiento respecto al recipiente en la misma dirección que el movimiento del fluido. El dimensionamiento de un transporte de sólidos supone conocer el efecto que sobre las pérdidas por fricción ejercen las diversas variables, tales como el diámetro del tubo, la cantidad de fluido y de sólido en movimiento, y las propiedades del fluido y del sólido.

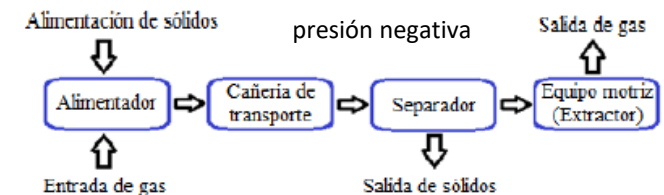
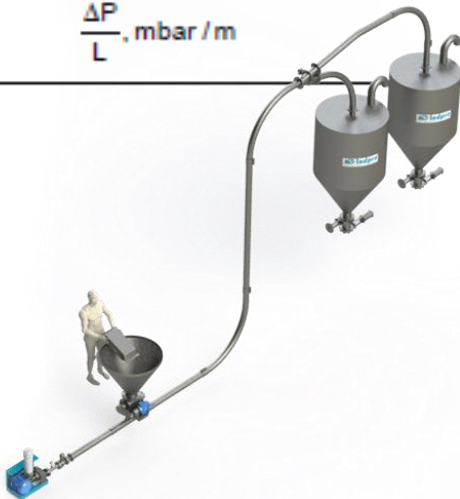


Transporte neumático

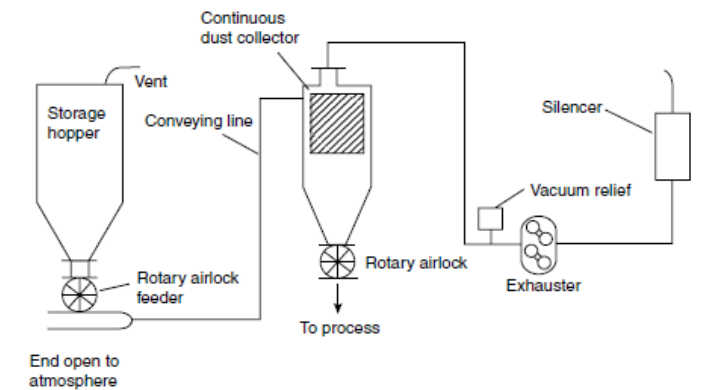
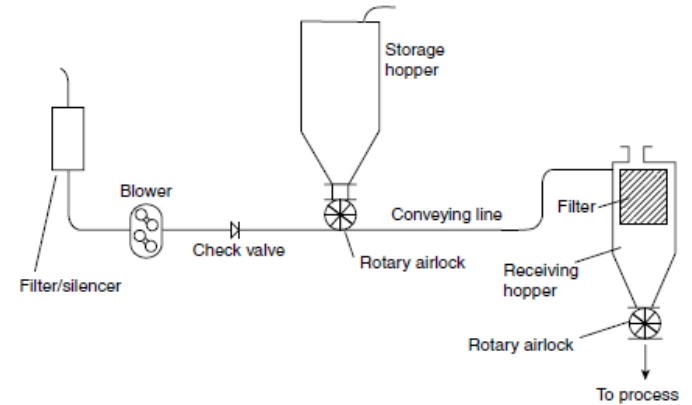
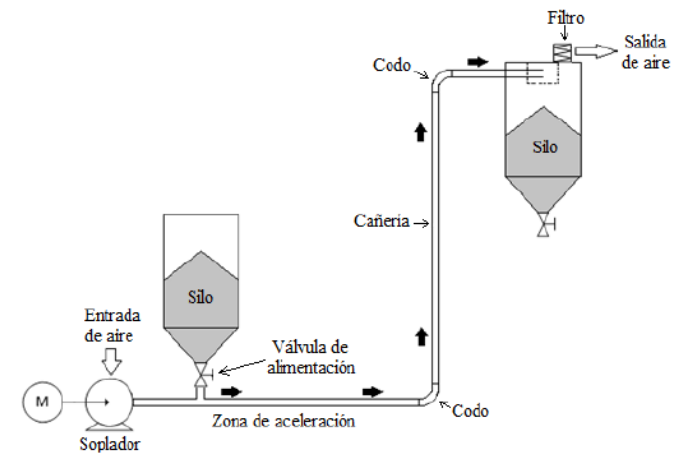
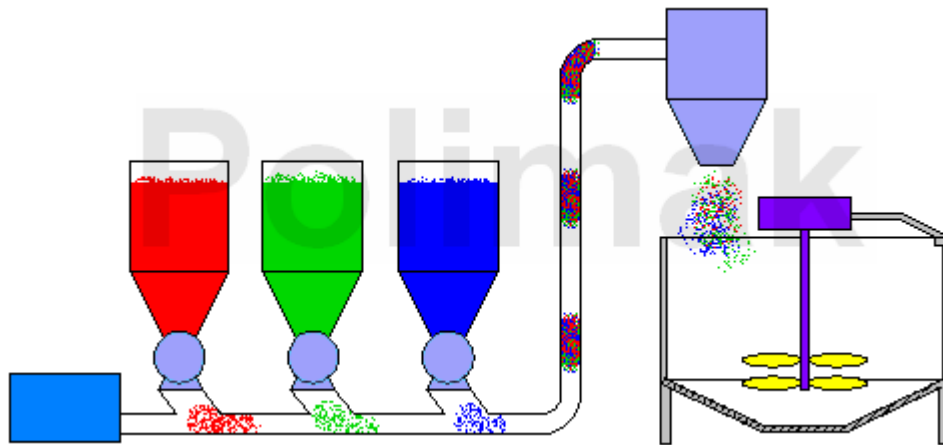
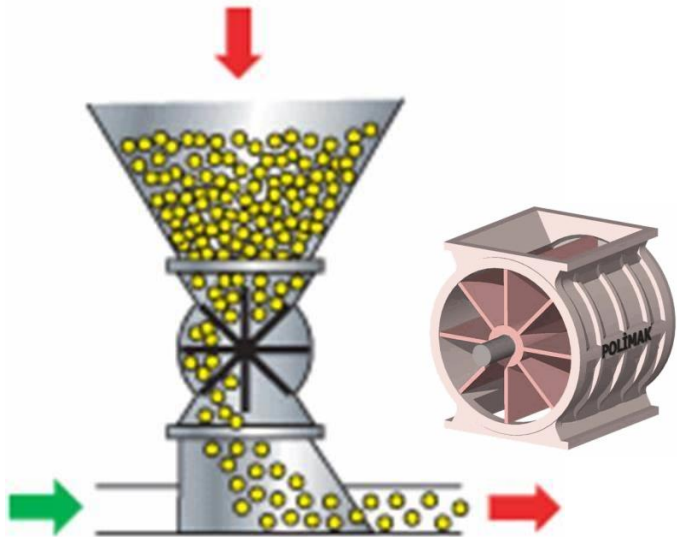
El transporte neumático puede efectuarse en **fase diluida** utilizando grandes volúmenes de aire a alta velocidad; las partículas sólidas se comportan como individuos, completamente suspendidos en el gas, y dominan las fuerzas fluido-partícula.

Un segundo modo de transporte es en **fase densa**, en el que las partículas sólidas no están completamente suspendidas. En fase densa hay mucha interacción entre las partículas. Una segunda clasificación es transporte horizontal y vertical. Una tercera clasificación, según la ubicación de la unidad motriz es transporte de presión positiva o negativa.

Propiedad	Transporte en fase diluida	Transporte en fase densa
Velocidad de gas, m/s	20	1-5
Concentración de sólidos, % en volumen	<1	>30
$\frac{\Delta P}{L}$, mbar / m	< 5	>20



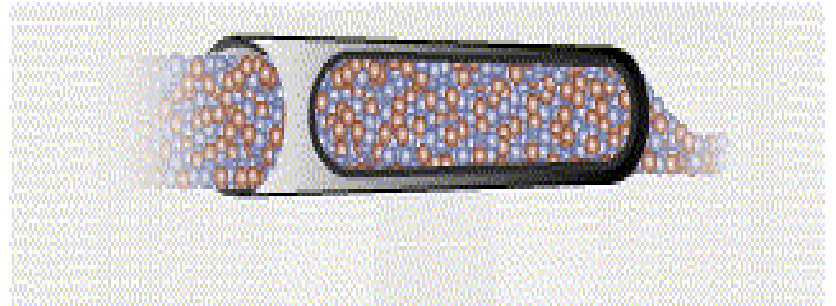
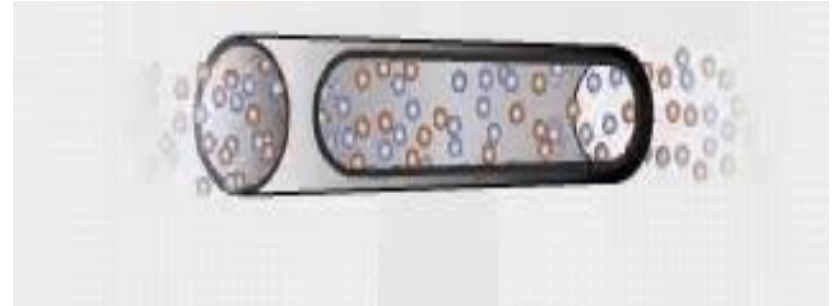
Transporte neumático . Elementos del sistema



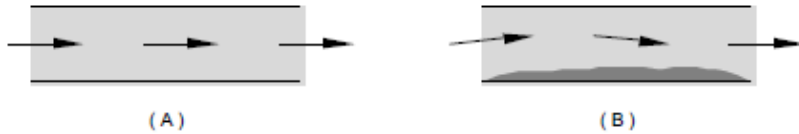
Transporte neumático Tipos de flujo y diagramas de estado

A) Sistemas de transporte neumático diseñados para operar a altas velocidades (flujo homogéneo): están sujetos a un alto consumo de energía, posible degradación y/o segregación del material, y desgaste excesivo de cañerías y codos, lo cual se puede traducir en una operación costosa y poco rentable.

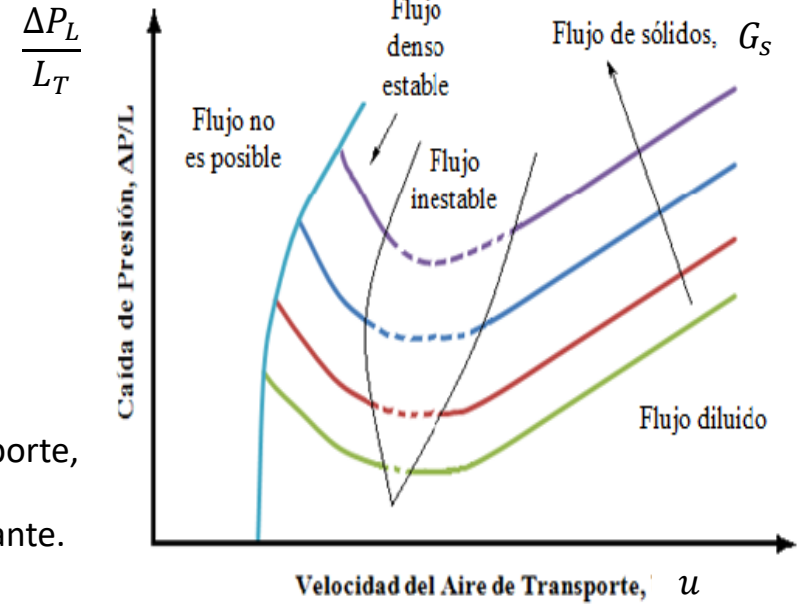
B) Sistemas diseñados para operar a bajas velocidades o elevados flujos de sólidos pueden sufrir la deposición de partículas sobre el fondo de la cañería, flujo errático de material, e incluso llegar a tapan o embancar la cañería, lo cual detiene completamente el sistema. Por lo tanto, como determinar la velocidad óptima de transporte es considerado uno de los pasos más importantes en el correcto dimensionamiento y operación de sistemas de transporte neumático.



Transporte neumático Tipos de flujo y diagrama de estado



$\frac{\Delta P_L}{L_T}$ en función de la velocidad superficial del gas de transporte, u ; parametrizado flujo másico de sólidos G_S [$kg \cdot s^{-1}$] constante.



Distinguir:

- Transporte vertical
- Transporte horizontal

Transporte neumático Tipos de flujo y diagrama de estado; transporte vertical

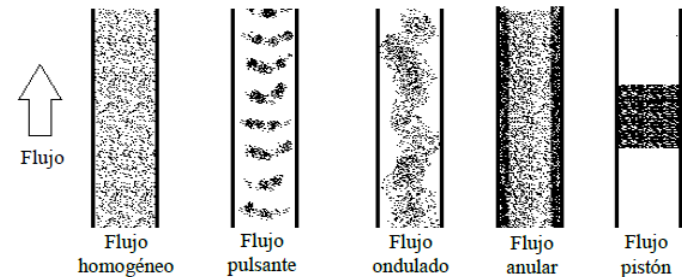
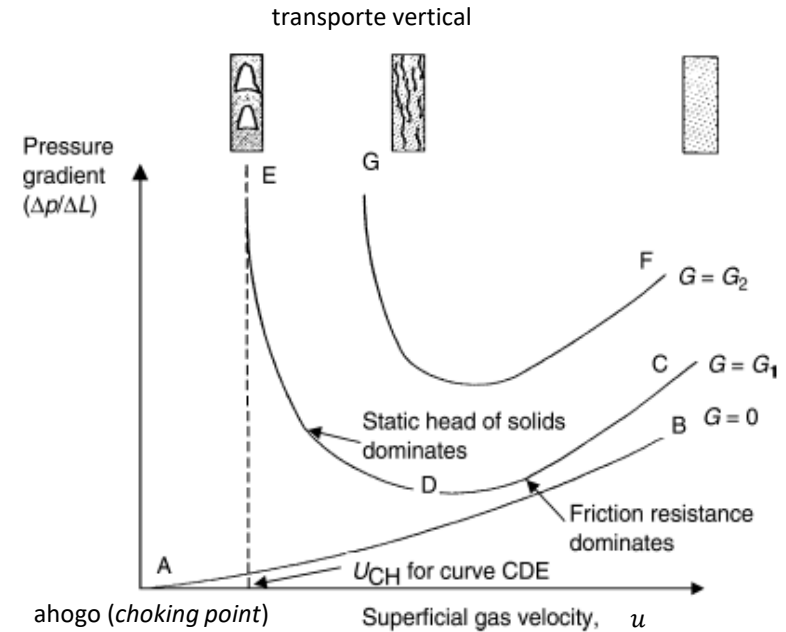
Cuando $G_s = 0$ sólo se transporta gas, de manera que la pérdida de carga en el tubo es la calculada convencionalmente para un flujo monofásico.

Cuando se aumenta el flujo de sólidos $G_2 > G_1$, la pérdida de carga aumenta. En el punto C la velocidad del gas es alta, el flux de sólidos G_1 es bajo; la pérdida de carga se aproxima a la del gas. A medida que la velocidad del gas disminuye, la pérdida de carga disminuye hasta una velocidad donde la presión estática aumenta debido al aumento en la **concentración** de sólidos (a un dado G_s).

En este punto el gas no puede fluidizar el medio, y comienzan a formarse tapones de gas (slugs) en la línea de transporte.

“velocidad de ahogo” (*choking velocity*). Es la transición del transporte neumático en fase diluida a fase densa.

Cuando se transporta un caudal másico por unidad de área mayor (G_2) la velocidad de ahogo es mayor.



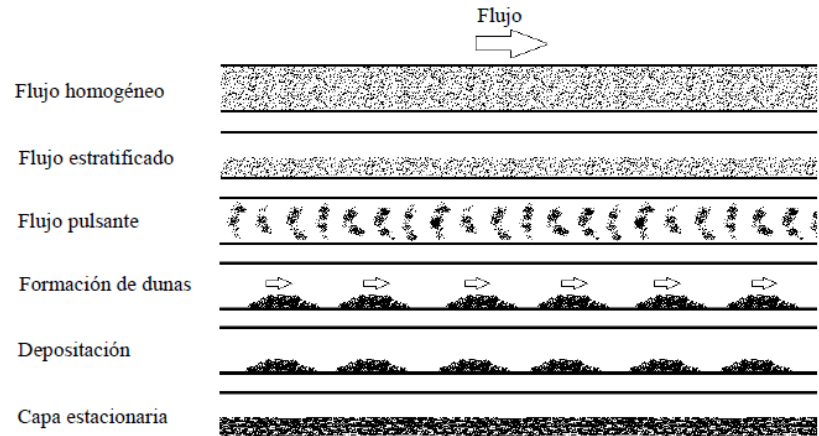
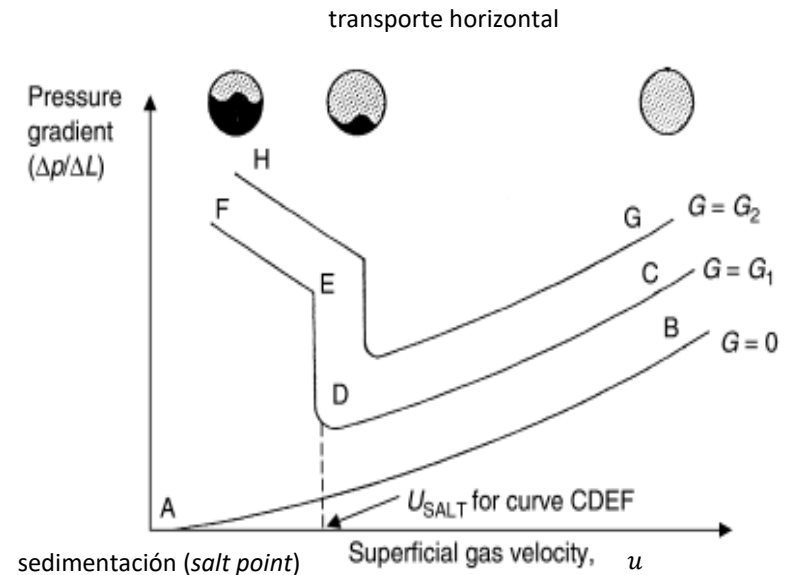
Transporte neumático Tipos de flujo y diagrama de estado; transporte horizontal

La línea AB es la pérdida de carga cuando sólo se transporta gas en.

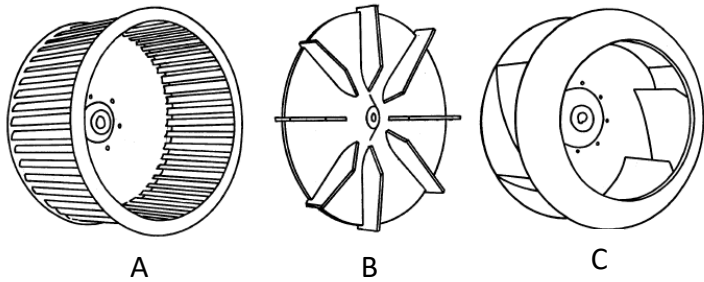
A $G_1 \neq 0$, si la velocidad superficial del gas es alta (punto C) los sólidos se encuentran en suspensión, no sedimentan. Cuando la velocidad se disminuye, la caída de presión baja; esto ocurre hasta una velocidad para la cual los sólidos sedimentan en el fondo de la línea de transporte. A dicha velocidad (punto D) se la denomina velocidad de sedimentación (*saltation velocity*).

A partir de esta velocidad, descensos de la velocidad ocasionan una mayor pérdida de carga debido a la disminución de área para el pasaje para el gas.

En el tramo EF algunos sólidos se mueven en fase densa por el fondo de la tubería, mientras que otros viajan en fase diluida en la parte superior de la línea de transporte.



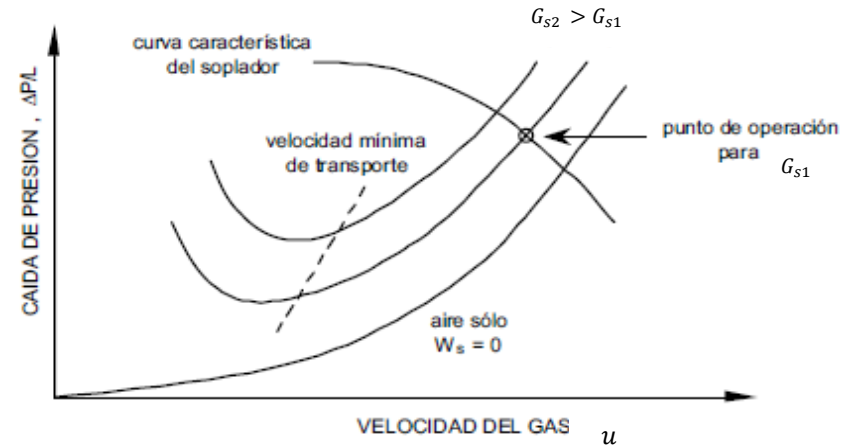
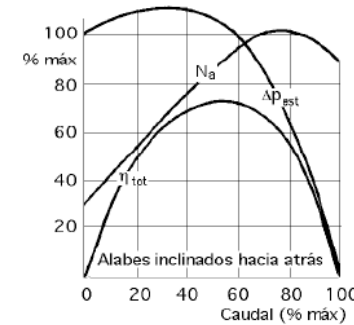
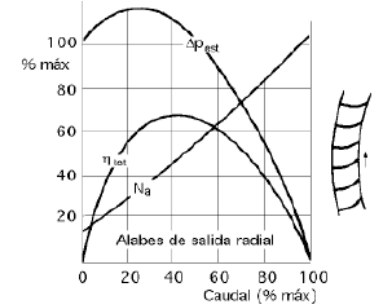
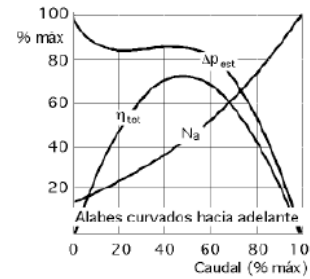
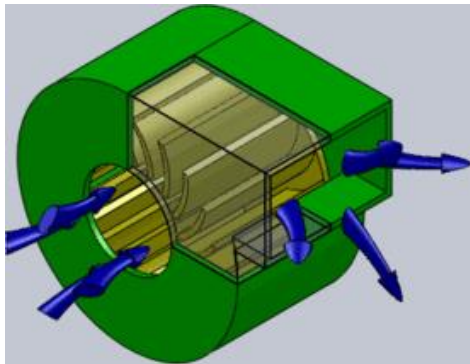
Transporte neumático . Elementos del sistema



A) Rotor jaula de ardilla: rodete con los álabes curvados en el mismo sentido que la dirección de giro; baja velocidad periférica; baja a media presión estática.

B) Rotor radial: tienen el rodete con los alabes dispuestas en forma radial.

C) Los ventiladores centrífugos de álabes curvados hacia atrás tienen un rodete con álabes inclinados en sentido contrario al de rotación. Este tipo de ventilador es el de mayor velocidad periférica y mayor rendimiento con un nivel sonoro relativamente bajo.



Transporte hidráulico y neumático evaluación de la caída de presión ; transporte horizontal y vertical

Caída de presión en cañería horizontal

λ_s coeficiente de fricción de sólidos; $Y = G_s [kg_s/s]/G_g [kg_g/s]$; relación de carga sólido / gas

coeficiente de pérdida de carga

$$\frac{\Delta P_L}{L_T} = \frac{\Delta P_f}{L_T} + \frac{\Delta P_s}{L_T} = f_g \frac{\rho_g u^2}{2D_{ducto}} + \lambda_s Y \frac{\rho_g u^2}{2D_{ducto}} = \frac{\rho_g u^2}{2D_{ducto}} (f_g + \lambda_s Y) = f_g \frac{\rho_g u^2}{2D_{ducto}} \left(1 + \frac{\lambda_s}{f_g} Y \right)$$

factor de fricción de Darcy: $f_g = 0,3114 Re^{-0,25}$; $Re = \frac{\rho_g u D_{ducto}}{\mu} < 10^5$

$$\frac{\Delta P_f}{L_T}$$

$$\frac{\Delta P_L}{L_T} = \frac{\Delta P_f}{L_T} \left(1 + \frac{\lambda_s}{f_g} Y \right) = \frac{\Delta P_f}{L_T} (1 + K_{SH} Y) \quad \alpha_H = \frac{\Delta P_L}{\Delta P_f} = 1 + K_{SH} Y$$

Caída de presión en cañería vertical

Caída de presión estática $\Delta P_{EP} = \rho_s (1 - \varepsilon_{ducto}) L_T g$

$$\frac{\Delta P_L}{L_T} = \frac{\Delta P_f}{L_T} + \frac{\Delta P_s}{L_T} + \frac{\Delta P_{EP}}{L_T} = \frac{\Delta P_f}{L_T} (1 + K_{SV} Y) \rightarrow \alpha_V = \frac{\Delta P_L - \Delta P_{EP}}{\Delta P_f} = 1 + K_{SV} Y$$

Los valores de K_{SH} y K_{SV} deben ser obtenidos en forma experimental

Transporte hidráulico y neumático evaluación de la caída de presión ; transporte horizontal y vertical

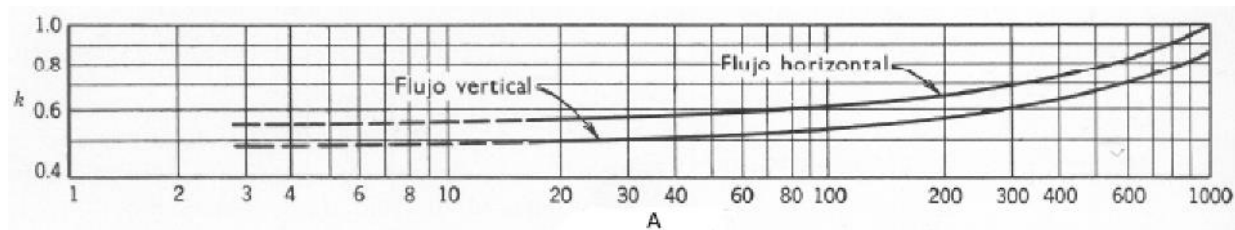
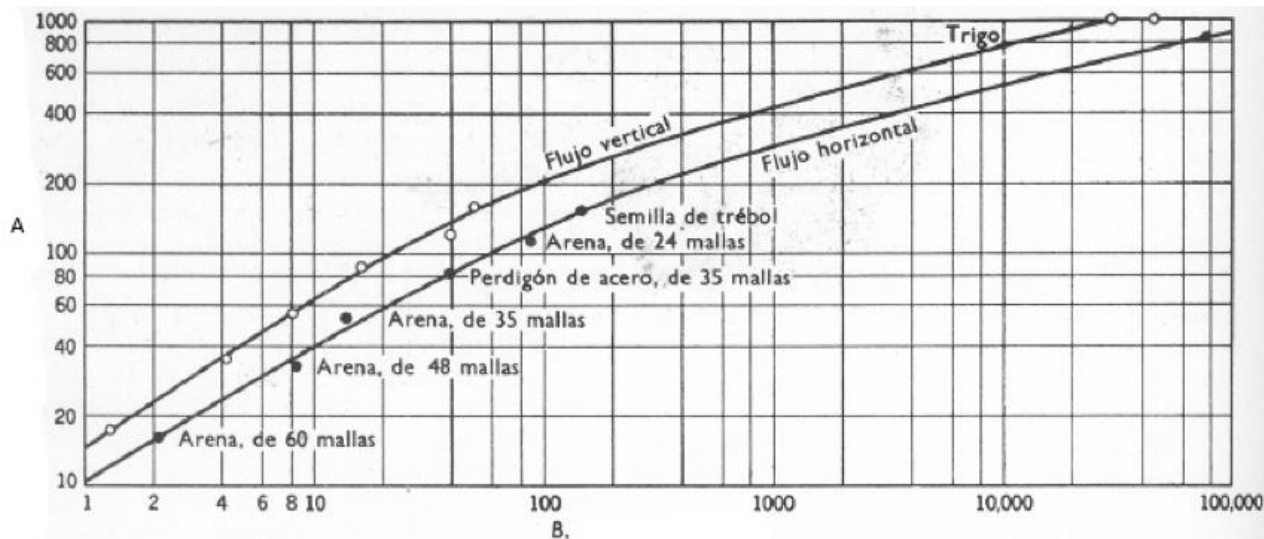
Gasterstadt (1924) establece una correlación general para el transporte en dirección horizontal y vertical. La aplicación de las correlaciones está sujeta a errores, debido a que el valor de α puede ser varias veces superior al gradiente de presión calculado para el fluido puro. Los valores recomendados en transporte hidráulico para los parámetros k , A y B fueron determinados sobre un conjunto estrecho de datos

Este error resulta particularmente significativo en el flujo vertical, donde el factor determinante de la pérdida de presión es el peso de las partículas sólidas suspendidas en la columna vertical del sistema.

$$\alpha - 1 = B \left(\frac{D_h}{D_{SV}} \right)^2 \left(\frac{\rho \gamma \mu}{\rho_p D_h \rho u} \right)^k ; B = \phi(A) ; A = \sqrt{\frac{\frac{1}{3}(\rho_p - \rho) \rho g D_{SV}^3}{\mu^2}}$$

Para líquidos: $k = 1$. B : 0,48 a 1,4 A : 0,60 a 1

Para gases:



Transporte neumático . Transición horizontal vertical o viceversa. Codos

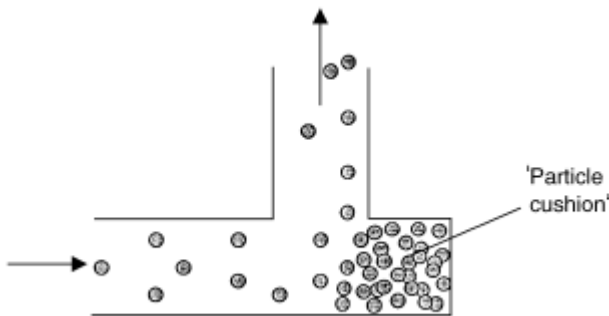
En el diseño de transporte neumático se busca minimizar el número de codos en la línea; ellos constituyen los puntos de mayor erosión de tuberías y atrición de sólidos

Se consideraba que la curvatura de los codos debía ser suave para evitar grandes pérdidas de carga.

Sin embargo, se ha probado que el uso de T con un tramo ciego alarga el tiempo de vida útil en más de 15 veces respecto a un codo convencional. En la parte ciega se forma un colchón de partículas que amortiguan los golpes contra las cañerías.



Transporte neumático fluido: gas



Se sugiere asignar a un codo una caída de presión equivalente a 7.5 metros de una tubería vertical