



# SISTEMAS DE TRANSPORTE NEUMÁTICO

Sistemas de transporte para cualquier aplicación

FIABLE – CUIDADOSO - EFICIENTE

19/11/2014

# SISTEMAS DE TRANSPORTE NEUMÁTICO

## NECESIDADES DEL CLIENTE

**CAPACIDAD DE TRANSPORTE**

**PROPIEDADES DE PRODUCTOS**

**TRAYECTO DE TRANSPORTE ILIMITADO**

**MÍNIMA ROTURA Y DESGASTE DE GRANO**

**FUNCIONAMIENTO SEGURO Y CUIDADOSO**

## CONOCIMIENTOS TÉCNICOS

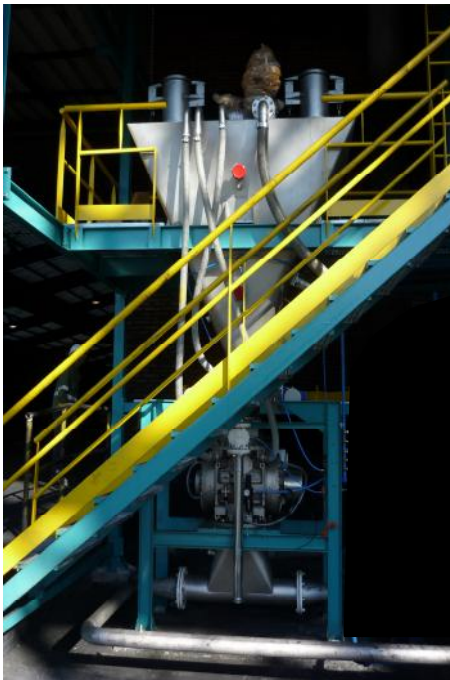
**CALIDAD**

**EFICIENCIA**

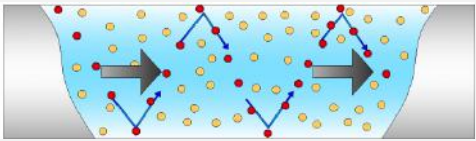
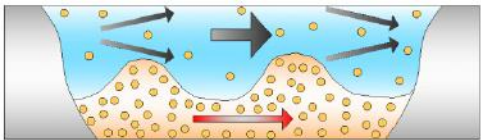
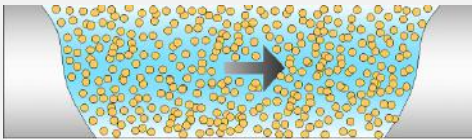
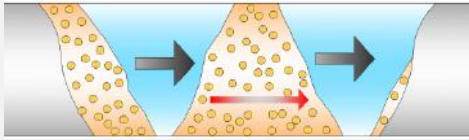
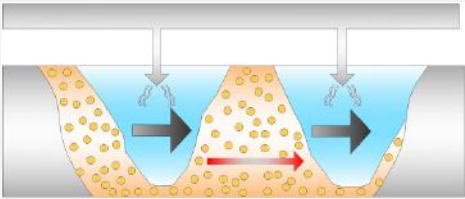
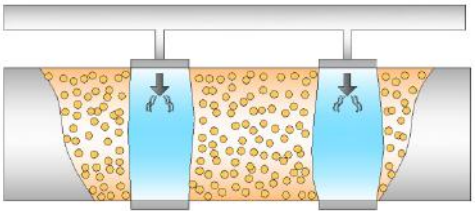
**EXPERIENCIA**

**COSTES DE INVERSIÓN**

**FIABILIDAD**



**PROCESOS DE TRANSPORTE**

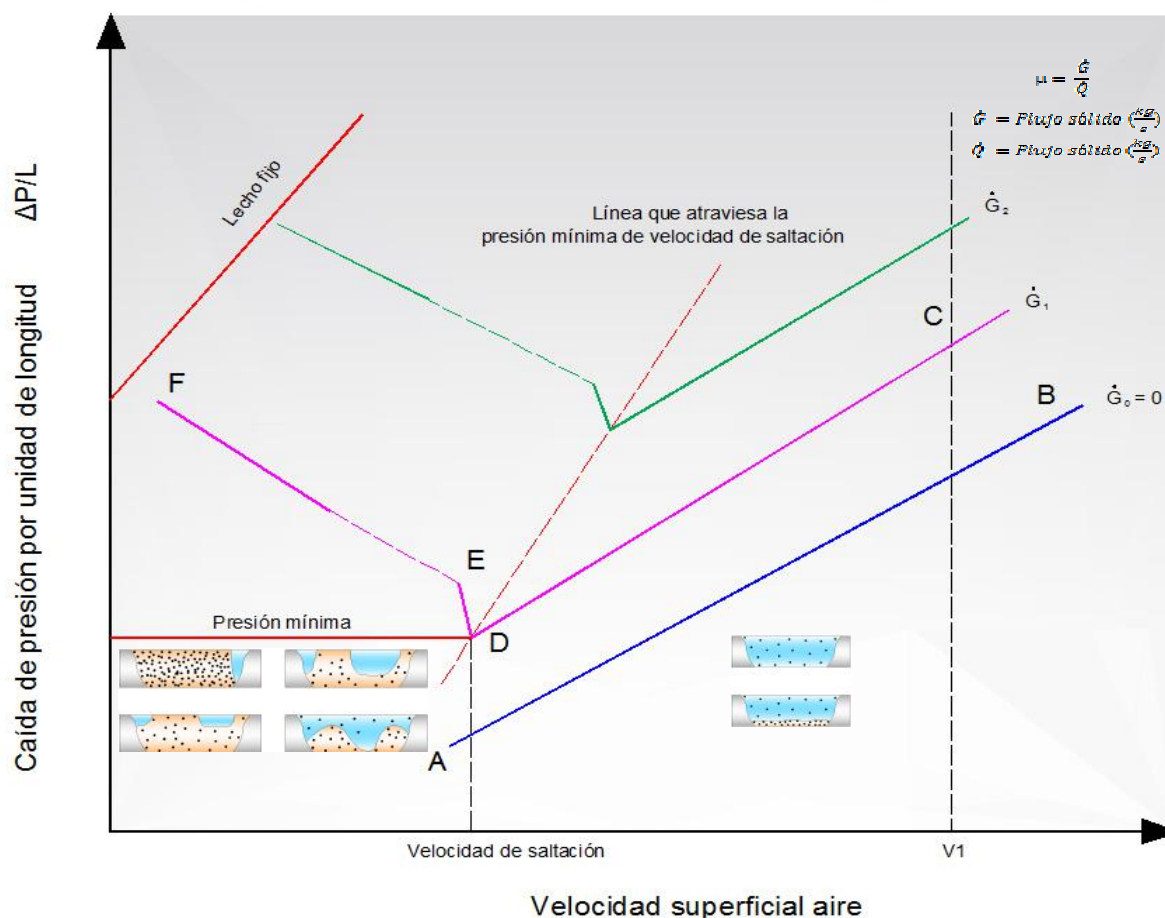
TIPO DE TRANSPORTE	ESQUEMA GRÁFICO
<p><b>ES_Dilute (Fase Diluida):</b></p> <p>1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Método de transporte más directo.</li> <li>. Las partículas se aertransportan disueltas con el flujo de aire.</li> <li>. Para manipulación de grano grueso.</li> <li>. Posible tratamiento térmico de material como secado, calentado y enfriado.</li> </ul>	
<p><b>ES_Dune (Transporte por dunas)</b></p> <p>2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Método transporte optimizado de fase diluida</li> <li>. Velocidad de aire reducida</li> <li>. El material transportado se mueve suavemente a través de la tubería de transporte, en forma de dunas.</li> <li>. Para materiales a granel en polvo, de flujo libre que puede ser fluidificado.</li> </ul>	
<p><b>ES_Compact Phase (Fase compacta):</b></p> <p>emisor</p> <p>3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Método que utiliza la fuerza del aire para el transporte</li> <li>. Se emplea para productos fluidificables</li> <li>. El producto se mezcla homogéneamente con el aire</li> </ul>	
<p><b>ES_SlugFlow (Transporte de flujo slug):</b></p> <p>4</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Velocidad de transporte baja</li> <li>. El aire vibrante de la entrada forma un material lento y uniforme</li> <li>. Adecuado para materiales ásperos y de grano fino con distribución de tamaños de partículas uniforme.</li> <li>. Suave manejo de materiales sensibles a la abrasión, con tendencia a segregarse</li> <li>. Transporte con mantenimiento estimulante, gracias a un volumen bajo de aire</li> </ul>	
<p><b>ES_SlugBy (Transporte slug-bypass):</b></p> <p>5</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Transporte neumático en fase densa con tubería auxiliar con inyecciones de aire</li> <li>. Para productos difíciles y para evitar atascos, los cartuchos se separan con inyección de aire</li> <li>. Garantiza una buena continuidad en el transporte, un suave transporte del producto y una confiabilidad operacional.</li> </ul>	
<p><b>ES_BoosPlung (Transporte Booster-plunger System)</b></p> <p>6</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Transporte neumático en fase densa con tubería auxiliar con inyecciones de aire a través de una conformadora de cartuchos</li> <li>. Para productos con poca fluidez</li> <li>. Sistema cuidadoso con materiales sensibles y abrasivos</li> <li>. Los cartuchos formados se mantienen a lo largo del tubo</li> </ul>	

Características técnicas de tipo de transporte

	ES_Dilute	ES_Dune	ES_Compact Phase	ES_SlugFlow	ES_SlugBy	ES_BoosPlung
<b>Granulometría (mm)</b>	0,0005-20	-	0,01-2	1-10	0,001-1	0,0005-20
<b>Productos</b>	Harina, cereales ... polvo en general	-	Cemento, cenizas, cal viva, hidróxido cálcico ...	Arena, granulados, guisante, grano de café ...	Leche en polvo, óxido de plomo, minerales, polvos metálicos...	Material reciclado, cascotes, carbón, arena húmeda, productos cohesivos ...
<b>Sobrepresión (bar)</b>	2,5	0,3-0,8	4,0	6,0	4,0	5,0
<b>Depresión (bar)</b>	0,5	-	0,2	-	-	-
<b>Ratio (kg sólido/kg gas)</b>	10	-	15-30	20-40	15-40	20-100
<b>Capacidad de transporte (t/h)</b>	< 200	-	< 100	-	< 200	-
<b>Velocidad inicial (m/s)</b>	Aire: 15 Sólido: 12	Aire: 10	Aire: 5 Sólido: 3	Aire: 1 Sólido: 0,5	Aire: 5 Sólido: 3	Aire: 1 Sólido: 0,5
<b>Velocidad final (m/s)</b>	Aire: 45 Sólido: 36	Aire: 21	Aire: 20 Sólido: 15	Aire: 15 Sólido: 10	Aire: 20 Sólido: 15	Aire: 15 Sólido: 10



## Diagrama de estado para sistema de flujo horizontal



. Se pueden observar diferentes diagramas de secciones, desde la fase diluida hasta la fase densa, que muestran el estado de transporte.

. La línea AB presenta una baja fricción para tuberías horizontales que sólo transporta gas.

. A una velocidad "V1", se introducen en un tubo partículas de sólido homogéneas con frecuencia constante ( $\dot{G}$ ).

. La presión incrementa de "B" a "C", como resultado del arrastre en las partículas y la interacción con las paredes.

. Descendiendo la velocidad del aire a lo largo de CD, la velocidad de la partícula desciende y el ratio de dilución ( $\mu$ ) aumenta, dando como resultado una menor fricción del sólido.

. El punto "D" sería el punto de saltación, en la que todo sólido sólo puede ser transportado en suspensión en la fase diluida, prevaleciendo la velocidad del aire y la alimentación constante ( $\dot{G}$ ).

. En este punto "D", una pequeña disminución de velocidad de aire supone un depósito sustancial de sólidos (formación de lechos). Esto supone que en el punto "E" incremente la resistencia de fricción.

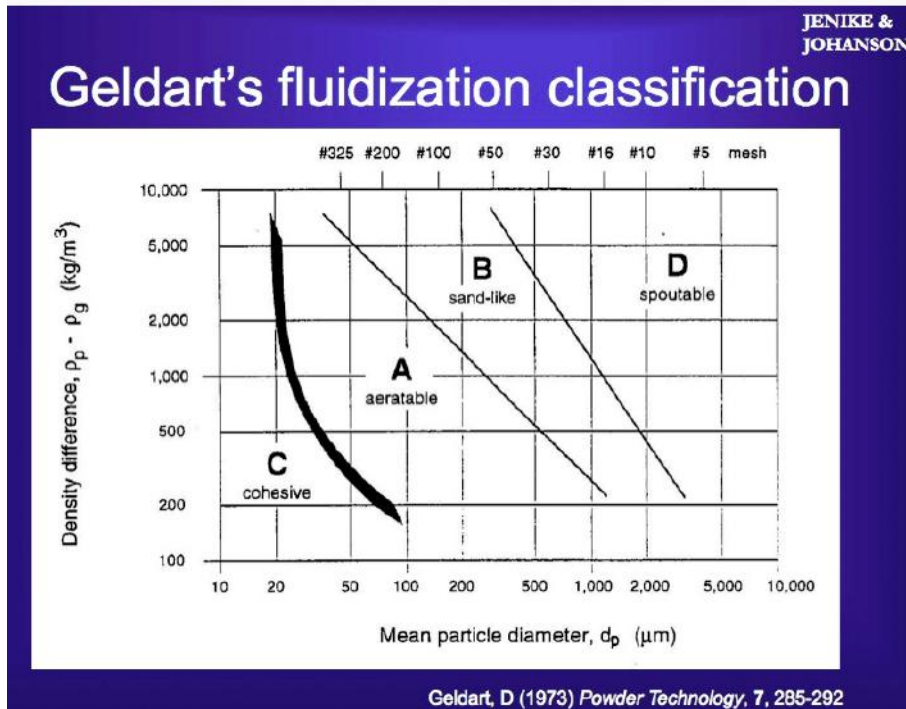
. Con un mayor descenso de velocidad del aire de "E" a "F", el flujo del sólido se transporta parcialmente en suspensión y en forma de "slug". Así, a medida que cargamos más sólidos, la presión sube.

. Observando las curvas de flujo sólido ( $\dot{G}$ ), aparece una curva característica para todos los flujos máxicos sólidos, que pasa a través de una presión mínima de velocidad de saltación. Por tanto, a mayor carga de sólidos la velocidad de saltación aumenta.

. Esto demuestra que habría que diseñar un transporte de sólidos a una frecuencia particular; y si lo que deseamos es subir la frecuencia es necesario aumentar la velocidad de transporte y el flujo de aire, para garantizar un funcionamiento estable.

Table 1.2 Minimum safe air velocity in vertical and horizontal lines for materials with different bulk densities and sizes

Material	Average bulk density (kg/m <sup>3</sup> )	Approximate size grading (mm)	Minimum safe air velocity vertical (m/s)	Minimum safe air velocity horizontal (m/s)
Coal	720	13	12.00	15.00
Coal	720	6	9.00	12.00
Wheat	753	5	9.00	12.00
Polythene cubes	480	3	9.00	12.00
Cement	1400	90	1.5	7.6
Flour	560	150	1.5	4.6
Pulverized coal	720	75	1.5	4.6
Pulverized ash	720	150	1.5	4.6
Fullers earth	640	106	1.5	6.1
Bentonite	900	75	1.5	7.6
Barite	1750	63	4.6	7.6
Silica flour	880	106	1.5	6.1
Fluorspar	1760	75	3.0	9.1
Phosphate rock	1280	150	3.0	9.1
Tripolyphosphate	1040	180	1.5	7.6
Common salt	1360	150	3.0	9.1
Soda ash	560	106	3.0	9.1
Soda ash	1040	180	3.0	12.2
Sodium sulphate	1360	106	3.0	12.2
Sodium perborate	865	180	3.0	9.1
Ground bauxite	1440	106	1.5	7.6
Alumina	930	106	1.5	7.6
Kieselguhr	240	75	1.5	7.6
Magnesite	1600	75	3.0	3.0
Uranium dioxide	3520	75	6.1	18.3

Clasificación GELDART

El comportamiento de fluidificación de sólidos por los gases se divide en cuatro grupos claramente reconocibles, caracterizados por diferentes densidad y tamaños de partículas. Las características más reconocibles de los grupos son:

- Los polvos en el grupo A presentan una expansión en fase densa después de una fluidificación mínima y antes del comienzo del burbujeo. Se trata de polvos con granulometría fina y con baja densidad, se fluidifica bien y tiene una buena retención de aire.
- Los polvos en el grupo B burbujean a velocidad de mínima fluidificación. Se trata de polvos con granulometría media y densidades medias, fluidificables y con mala retención del aire.
- Los polvos en el grupo C son difíciles para fluidificar totalmente. Son polvos finos con alta densidad, cohesivos, difícilmente fluidificables y con mala retención del aire.
- Los polvos del grupo D puede formar lechos de cama estables. Son polvos con granulometría gruesa y alta densidad, no son fluidificables y no tienen retención de aire.

### **Grupo A (aeratable)**

Los materiales, teniendo un tamaño medio pequeño y/o densidad de partícula baja ( $> 1.4 \text{ g/cm}^3$ ), generalmente demuestran un tipo de comportamiento como el que se describe a continuación.

En este grupo, el lecho de polvo se expande considerablemente antes de que comience el burbujeo. Cuando el suministro de gas se interrumpe de golpe, el lecho cae lentamente, a un ratio de 0.3-0.6 cm/s, similar a la velocidad superficial del gas en la fase densa. La circulación total del polvo (similar a la corriente de convección en los líquidos), ocurre incluso estando presentes unas pocas burbujas, produciendo una mezcla rápida.

Las burbujas aparecen en lechos bidimensionales, para romperse y refusionarse con mucha frecuencia. Todas las burbujas suben más rápido que la velocidad del gas intersticial, pero en lechos libres de burbujas la velocidad de pequeñas burbujas ( $< 4 \text{ cm}$ ) parece ser alrededor de 30/40 cm/s independientemente del tamaño de la burbuja. Esto sugiere que la circulación total se refiere a controlar el aumento de velocidad.

Hay evidencias de que el tamaño medio de las burbujas se puede disminuir de dos maneras diferentes: teniendo una distribución amplia de tamaño de partícula y/o un pequeño tamaño de partícula media. Parece existir un tamaño máximo de partícula.

En la fase densa ocurre una considerable mezcla de gas, y el intercambio de gas entre el burbujeo y la fase densa suele ser alto. Aunque el ratio (volumen nube/ volumen de burbuja) es insignificante. Cuando la velocidad del gas superficial es suficientemente alta como para causar la formación de condiciones de “slugging” o golpeo, estos “slugs” o golpes son axi-simétricos. Como la velocidad del gas superficial se incrementa, el flujo se descompone en un régimen turbulento. La velocidad a la que esto ocurre, parece disminuir con el tamaño de las partículas.

### **Grupo B (Sand-like)**

Contiene la mayoría de los materiales comprendidos en los tamaños medios entre  $40 \mu\text{m}$ - $500 \mu\text{m}$ , y densidades entre  $1.4 \text{ g/cm}^3$ -  $4 \text{ g/cm}^3$ .

Las burbujas que se producen comienzan a formarse en este tipo de polvo, o sólo ligeramente por encima de la mínima velocidad de fluidificación. La expansión del lecho es pequeña y colapsa rápidamente cuando se interrumpe el suministro de gas. Hay poca o ninguna circulación de polvo en ausencia de burbujas, y las burbujas estallan en la superficie del lecho. La mayoría de las burbujas suben más rápido que la velocidad del gas intersticial y el tamaño de la burbuja aumenta linealmente con la altura del lecho y el exceso de velocidad del gas. La fusión es el fenómeno predominante.

No hay evidencias del tamaño máximo de partícula, aunque estudios. Se ha demostrado que cuando se hacen comparaciones con valores iguales de la altura del lecho ( $U-U_0$ ), los tamaños de la burbuja son independientes del tamaño medio de la partícula y de la distribución del tamaño.

El “back-mixing” o retromezclado del gas en fase densa es relativamente bajo, como es el intercambio de gas entre las burbujas y la fase densa. El ratio (Volumen nube / volumen burbujas) es insignificante. Cuando la velocidad del gas es muy alta comienza el slugging, los slugs o cartuchos son iniciados axi-simétricos, pero con un mayor aumento en la velocidad del gas, la proporción del aumento del gas se convierte en asimétrica, moviéndose la pared del lecho con una velocidad mejorada que arriba del eje del tubo. No hay evidencia del desglose del “slugging” en un flujo turbulento.



### **Grupo C (Cohesive)**

Pertenecen a esta categoría los polvos que de alguna manera son cohesivos. La fluidificación normal de estos polvos es extremadamente difícil; el polvo se levanta malamente en tubos de diámetro pequeño o ratoneras.

El gas pasa por los huecos que extienden desde el distribuidor a la superficie del lecho. Esta dificultad surge porque las fuerzas entre las partículas son mayores que las que el fluido ejerce sobre la partícula. Y esto, generalmente es el resultado de un tamaño de partícula muy pequeño, fuertes cargas electrostáticas o presencia en el lecho de material muy húmedo o pegajoso.

La mezcla de partículas y la transferencia de calor entre la superficie y el lecho es mucho más pobre que con los polvos de los grupos A o B.

La fluidificación en general, puede ser mejorado por el uso de agitadores mecánicos o vibradores que rompen unos canales estables. En el caso de algunos polvos, lo hacen por la adición de sílice ahumado (“fumed silica”), con un tamaño inferior a la micra.

Donde la aglomeración se produce debido a la excesiva carga electrostática, se pueden efectuar algunas mejoras con la humidificación del gas entrante, o con el equipamiento de las paredes conductoras. Por ejemplo el recubrimiento de vidrio con una capa muy delgada de óxido de estaño. Una técnica igual de eficaz, pero menos permanente, es recubrir las partículas con una sustancia conductora como el grafito.

### **Grupo D (Cohesive)**

Esta nueva categoría de polvos se limita a las partículas grandes y/o muy densos.

Todos menos las burbujas más grandes se elevan más lentamente que el gas de fluidificación intersticial, de modo que el gas fluye hacia la base de la burbuja y de la parte superior, proporcionando un modo de intercambio de gases. La velocidad del gas en fase densa es alta, y el mezclado de sólidos relativamente pobre; en consecuencia, el retromezclado o (back mixing) de la fase densa del gas es pequeña. El flujo alrededor de las partículas en este grupo puede ser de régimen turbulento, causando algunos desgastes de partículas. Los materiales relativamente pegajosas pueden ser fluidificados, por el alto impulso de la partícula y los menos contactos entre partícula-partícula que minimizan la aglomeración.

Hay evidencias en la que los tamaños de burbuja pueden ser similares a los del grupo B, con polvos de altura de lecho ( $U-U_0$ ), pero que la formación de la burbuja no inicia hasta unos 5 cm, por encima del distribuidor. Sin embargo, parece que si el gas es admitido sólo a través de un agujero centrado, los polvos del grupo D se pueden hacer a borbotones.

**FUNCIÓN DE FLUJO DE JENIKE (FFc)**

**2.2. Flow Function**

Major principal stress in the steady state flow is called major consolidation stress ( $\sigma_1$ ).  $\sigma_1$ , acting on critical consolidation condition, is determined by drawing the Mohr circle (steady state Mohr circle) passing through the point ( $\sigma_c, \tau_c$ ) which represents the consolidation conditions in shear tests (Figure 1). The circle is tangent to the yield locus and the intersection of circle with normal stress axis gives  $\sigma_1$  value. Unconfined yield stress ( $\sigma_c$ ) is the maximum normal stress value which a solid having a free and stressless surface flows or deforms. While yield locus of a solid is known,  $\sigma_c$  is found by drawing a Mohr circle (unconfined yield stress Mohr circle) tangent to the yield locus and passing through the origin ( $\sigma=\tau=0$ ). There is a corresponding value of  $\sigma_c$  for each consolidation stress ( $\sigma_1$ ),  $\sigma_c$  increases as consolidation stress increases. If  $\sigma_c$  values are plotted against  $\sigma_1$  values, flow function (FF) of the material is obtained and it characterises the flow capability of a bulk material [3, 5, 6].

A straight line approach can be made for most material's flow function [6, 7]. Material cohesiveness shows increase with increasing slope values regarding flow function graph, decrease in slope values illustrates a easier flow of solid (Figure 2). As the flow functions having different slopes can belong to different materials, it also represents the same solid at different moisture contents. The flow index ( $ff_c$ ), defined as the inverse slope of the flow function (FF), is used to classify powder flowability with higher values representing an easier flow [7]. This classification is given in Table 1.

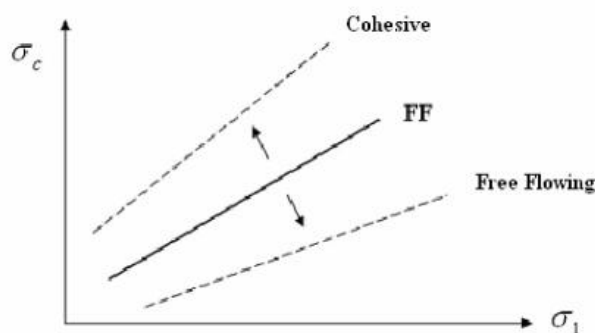


Fig. 2. Solid property according to FF slope

Solids may contain both fine and coarse particles in different sieve sizes, therefore the flow properties of fine fraction of the solid is always dominant in solids flowability. This situation can be explained by the truth that shearing action occurs through the fine particles within the solid [5]. Hence, the higher the fine particles ratio in the solid, namely the smaller the mean particle size of the solid, the higher the shear stresses obtained with these solids under same loads. This means that the flow of the material will be difficult. The fine particles have also more impact in solids cohesion than the coarse particles do. So, the higher the fine particles fraction in the solid, the higher the cohesion values obtained. Moisture content may make a material cohesive and the flow may happen in a difficult way. As the moisture content increases, the cohesion values increase depending on the increasing capiler forces between the particles.

Table 1. The classification of powder flowability by flow index ( $ff_c$ ) [7]

Flowability	Hardened	Very cohesive	Cohesive	Easy flowing	Free flowing
Flow index ( $ff_c$ )	< 1	< 2	< 4	< 10	> 10

$$FFc = s / Fc$$

Formulas para cálculo: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162013000300003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162013000300003&script=sci_arttext)