

Tema: **REDUCCION MECÁNICA DE TAMAÑO Y
TRANSPORTE DE SÓLIDOS**

2023

Necesidad de la reducción de tamaño de partícula

En numerosas operaciones, suele ser necesario reducir el tamaño de los sólidos. Las razones que justifican a ésta reducción son diversas, entre ellas:

- a) Tamaños menores facilitan la extracción del componente deseado.
- b) Un **tamaño definido** puede estar especificado como propiedad de un **producto final, elaborado o semielaborado**.
- c) Los **tamaños pequeños** de un material aumentan la superficie del sólido, favoreciendo los intercambios y/o velocidad de reacción, facilitando también las operaciones de mezcla y de ajuste de composiciones.

DESINTEGRACIÓN MECÁNICA. EQUIPOS Y CRITERIOS de SELECCIÓN

La **desintegración mecánica** es un término genérico de la reducción de tamaño.

Los Trituradores y los Molinos son tipos muy diversos de equipos de desintegración mecánica de sólidos.

Tanto el **Triturador** como el **Molino ideal** deberán cumplir con los **criterios** siguientes:

1. Tener gran capacidad de tratamiento.
2. Requerir "poco" consumo de energía por unidad de material procesado, es decir bajo consumo específico.
3. Obtener un material de tamaño uniforme o con la distribución de tamaños que se desee.

OBJETIVOS DE LA DESINTEGRACIÓN MECÁNICA

El objetivo de la Trituración (Primaria, Secundaria) y de la Molienda, es el de obtener partículas más pequeñas.

El **producto** obtenido siempre estará formado por una mezcla de tamaños de partículas, variable desde un máximo definido, hasta un mínimo sub-microscópico.

En algunos tipos de **Molinos**, el material muy fino proveniente de la sobre molienda, se reduce hasta un valor mínimo, pero no se elimina totalmente, aún cuando la alimentación sea homogénea tanto en tamaño como en su estructura **física** y **química**.

La relación de diámetros entre las partículas más grandes y más pequeñas, en un **material triturado** es de **10 veces**.

En un Proceso de Reducción de Tamaño, se obtienen partículas de tamaño muy variable, que necesitan clasificarse en grupos (clases) que cubran un rango especificado de dimensiones.

Capacidad del equipo, Potencia/t y Costo vs. finura

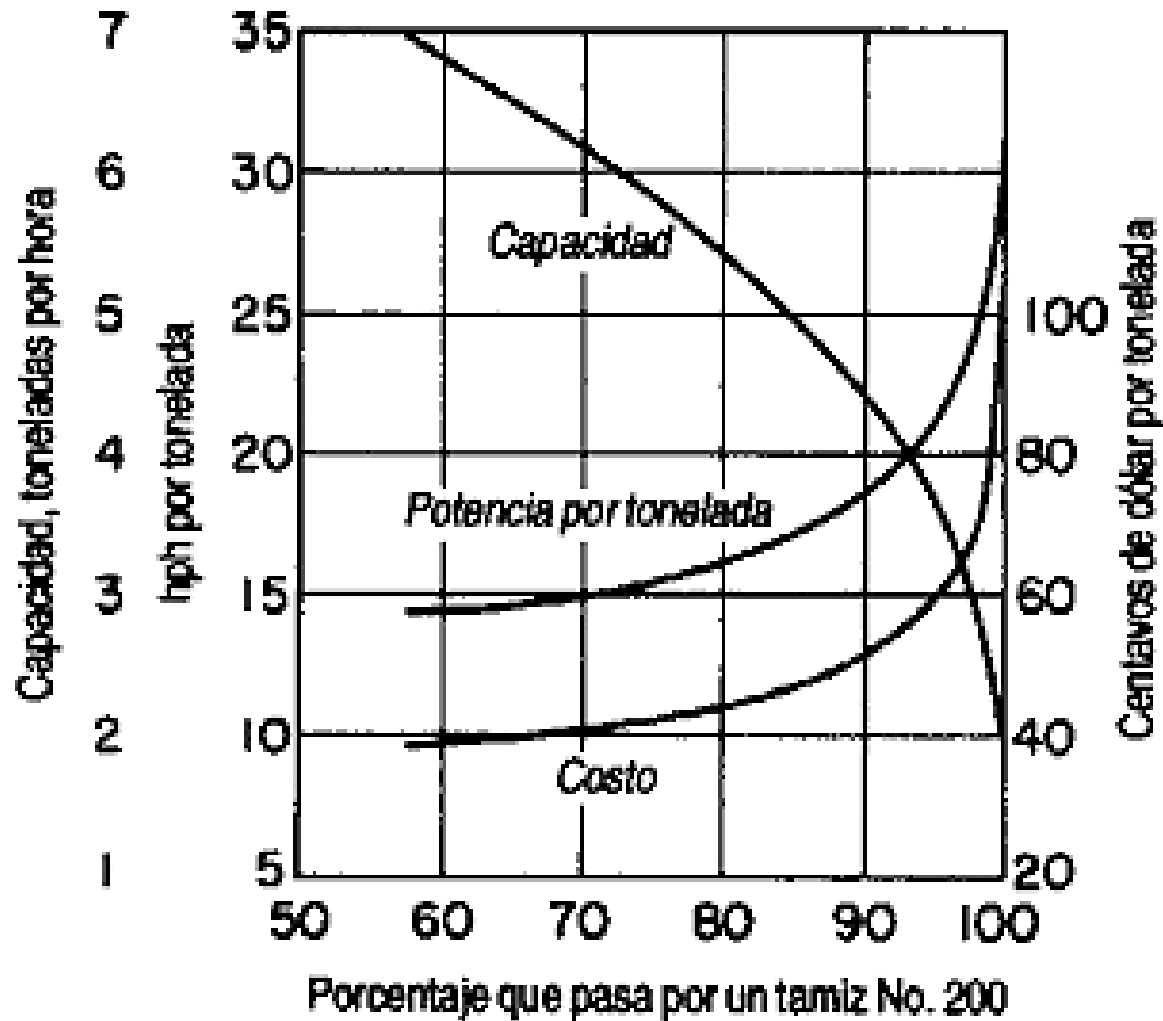


FIG. 8-8 Variación de la capacidad, la potencia y el costo de molienda en relación con la finura del producto.

Requerimientos de Energía y Potencia en la desintegración.

El costo del consumo energético específico (KWh/T) es de la mayor importancia en la Trituración y en la Molienda, de forma tal que los factores que lo controlan son de PRIMORDIAL INTERÉS TÉCNICO Y ECONÓMICO.

CLASES DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS Y FUERZAS ACTUANTES

Conclusión:

La especificación de un producto, elaborado o semielaborado suele requerir que no contenga partículas mayores de un cierto tamaño.

Trituración: generalmente se lleva a cabo aplicando fuerzas de compresión, suele subdividirse en T. Primaria y T. Secundaria.

Molienda: se realiza comúnmente mediante la aplicación de fuerzas de cizalla (corte), aunque es frecuente su combinación con impactos.

Repaso: Criterios para la reducción de Tamaño

Minimizar el consumo de energía específico: kwh/T

La *desintegración mecánica* es un término genérico de la reducción de tamaño.

Los Trituradores y los Molinos son diversos tipos de equipos de desintegración.

El Triturador y el Molino Ideal deben:

Obtener un producto con un tamaño único o distribución de tamaños deseada

Capacidad máxima

Requerimientos de Energía y Potencia en la desintegración mecánica de sólidos

Durante la reducción de tamaño, las partículas alimentadas son primeramente tensionadas, distorsionadas y forzadas.

El trabajo necesario para forzarlas se almacena temporalmente en el sólido, como “*energía mecánica de tensión*”, similar a la forma en que la energía mecánica se almacena en un resorte.

Al ejercer sobre las “partículas tensionadas” una fuerza adicional, se **distorsionan más allá de su resistencia** y bruscamente se rompen en varios fragmentos, generando nueva superficie en el material.

Sabemos que una unidad de área del sólido posee una cantidad definida de energía superficial, y la generación de nueva superficie requerirá Trabajo. Este es suministrado durante la liberación de la energía de tensión cuando la partícula se rompe.

Requerimientos de energía y potencia en la desintegración mecánica de sólidos

Todos los materiales presentan líneas de debilidad

Mientras más pequeño es el tamaño de las partículas, la cantidad de líneas de debilidad (fracturas) es menor y la fuerza que hay que aplicar para que se siga rompiendo aumentará.

De acuerdo al tipo de material, será necesario aplicar un tipo de fuerza u otro para su fragmentación

Dureza

Que dependerá de:

Tendencia a la rotura

Características que regulan la selección de los equipos

- ▶ Tamaño de la Alimentación
- ▶ Dureza y abrasividad
- ▶ Estructura mecánica
- ▶ Humedad
- ▶ Sensibilidad a la temperatura de las materias primas

Fuerzas requeridas para la desintegración

Los materiales cristalinos requieren:

Compresión

Los materiales fibrosos

Combinación de Impacto y Cizalla o Corte

Los materiales blandos

Cizalla o Corte

Hay otros dos factores que influyen en la fragmentación de un material

Contenido de agua

Sensibilidad al calor

El calentamiento del material puede afectarlo irreversiblemente, ya sea un producto químico o un producto alimenticio.

LEYES DE LA CONMINUCIÓN

Se han propuesto varias leyes para correlacionar la reducción de tamaño con una variable simple y directa, tal cual es la energía consumida. Estas leyes se representan mediante la expresión diferencial siguiente:

$$dE = -C \cdot dX / X^n$$

E = trabajo entregado

X = tamaño de la partícula

“C” y “n” son constantes

Si **n=1** la expresión resulta la **ley de Kick** (1867):

$$E = C \cdot \log X_F / X_P$$

Representa la situación física que la energía que tritura un material es proporcional al grado de reducción de volumen de la misma.

Si **n=2** se presenta la **ley de Rittinger(1.885)**, que establece que la energía entregada es proporcional a la nueva superficie generada:

$$E = C_r [1 / X_P - 1 / X_F]$$

LEYES DE LA CONMINUCIÓN

- ▶ Si $n=1,5$ presenta la **ley de Bond (1.952)**, “...que la energía consumida para reducir el tamaño 80% de un material, es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de este tamaño, definiéndose el tamaño 80% como la abertura del tamiz de 100 micras, que deja pasar el 80% en peso de las partículas”.
- ▶ E_i es un valor práctico, X_F y X_P se miden en micras

$$E = 100 E_i \left(\frac{1}{\sqrt{X_P}} - \frac{1}{\sqrt{X_F}} \right)$$

Índice de Trabajo de Bond

- E_i o W_i : mide los KWh/T_{short} que hay que aplicar para desmenuzar 907 Kg de material de tamaño de grano teóricamente ilimitado, hasta que el 80% pase por un tamiz de 100 micras.
- El E_i o W_i es **válido para molinos de bolas que operen en circuito cerrado, vía húmeda.**
- Para otras condiciones, E_i debe corregirse.

Valores típicos son:

Bauxita..... 9,45

Yeso natural..... 8,16

Caliza..... 10,18

† Debe tenerse sumo cuidado al aplicar los valores de los índices de trabajo promedio aquí indicados en instalaciones específicas, ya que las variaciones individuales entre los materiales de cualquier clasificación pueden ser muy marcadas.

TABLA 8-2 Índices de trabajo promedio para varios materiales

| Materia | No. de ensayos | Deposito relativa | Índice de trabajo |
|---------------------------------|----------------|-------------------|-------------------|
| Andesita | 6 | 2.84 | 22.13 |
| Arcilla | 9 | 2.23 | 7.10 |
| Arcilla calcinada | 7 | 2.32 | 1.43 |
| Arena silícea | 17 | 2.65 | 16.46 |
| Azanisea | 8 | 2.68 | 11.53 |
| Bazita | 15 | 4.28 | 6.24 |
| Basalto | 10 | 2.89 | 20.41 |
| Bauxita | 11 | 2.38 | 9.45 |
| Cahón mineral | 10 | 1.63 | 11.37 |
| Cemento, escoria de | 60 | 3.09 | 13.49 |
| Cemento, materia prima de | 87 | 2.67 | 10.57 |
| Cobre, mineral de | 308 | 3.02 | 13.13 |
| Concreciones | 9 | 3.09 | 8.77 |
| Coque | 12 | 1.51 | 20.70 |
| Coque, petróleo | 2 | 1.78 | 73.80 |
| Coque, petróleo fluido | 2 | 1.63 | 38.60 |
| Cuñal | 5 | 2.70 | 10.16 |
| Cromo, mineral de | 4 | 4.06 | 9.60 |
| Cuarzita | 16 | 2.71 | 12.18 |
| Cuarzo | 17 | 2.64 | 12.77 |
| Diorita | 6 | 2.78 | 19.40 |
| Dolomita | 18 | 2.82 | 11.31 |
| Escoria | 12 | 2.93 | 15.76 |
| Escoria, altos hornos de hierro | 6 | 2.39 | 12.16 |
| Esmétil | 4 | 3.48 | 58.18 |
| Espanollúo | 8 | 2.98 | 9.76 |
| Espulzencio, mineral de | 7 | 2.75 | 33.70 |
| Esquistos | 13 | 2.58 | 16.40 |
| Esquistos de petróleo | 9 | 1.76 | 18.10 |
| Esroño, mineral de | 9 | 3.94 | 10.81 |
| Feldespatos | 8 | 2.59 | 11.67 |
| Ferrocromo | 18 | 6.75 | 8.87 |
| Ferromóngeño | 10 | 5.91 | 7.77 |
| Ferrosilicio | 15 | 4.91 | 12.83 |
| Fertilizante de fosfato | 3 | 2.65 | 13.03 |
| Gabro | 4 | 2.83 | 18.45 |
| Galea | 7 | 5.39 | 10.19 |
| Gneis | 3 | 2.71 | 20.13 |
| Gráfico | 6 | 1.78 | 45.03 |
| Granate | 3 | 3.30 | 12.37 |
| Granito | 74 | 2.68 | 14.39 |
| Grava | 42 | 2.70 | 25.17 |

VALORES DEL INDICE DE TRABAJO

† Debe tenerse sumo cuidado al aplicar los valores de los índices de trabajo promedio aquí indicados en instalaciones específicas, ya que las variaciones individuales entre los materiales de cualquier clasificación pueden ser muy marcadas.

| Material | No. de ensayos | Densidad relativa | Índice de trabajo† |
|--------------------------------|----------------|-------------------|--------------------|
| Hierro, mineral de | 8 | 3.96 | 15.44 |
| Hematita | 79 | 3.76 | 12.68 |
| Hematita-especular | 74 | 3.29 | 15.40 |
| Limanita | 2 | 2.53 | 8.45 |
| Magnetita | 83 | 3.88 | 10.21 |
| Colútica | 6 | 3.32 | 13.53 |
| Taenita | 66 | 3.52 | 14.87 |
| Omenita | 7 | 4.27 | 13.11 |
| Kizmitu | 4 | 3.23 | 16.87 |
| Ensa | 3 | 2.59 | 15.53 |
| Magnetita totalmente calcinada | 1 | 5.22 | 16.80 |
| Manganesa, mineral de | 15 | 3.74 | 12.46 |
| Mica | 2 | 2.80 | 134.50 |
| Molibdeno | 6 | 2.70 | 12.97 |
| Níquel, mineral de | 11 | 3.32 | 11.88 |
| Oro, mineral de | 209 | 2.86 | 14.83 |
| Pedernal | 5 | 2.65 | 26.16 |
| Piedra caliza | 119 | 2.60 | 11.61 |
| Piedra caliza para cemento | 62 | 2.60 | 10.18 |
| Piedra púnica | 4 | 1.96 | 11.93 |
| Pirita, mineral de | 4 | 3.48 | 8.90 |
| Pirrotita, mineral de | 3 | 4.04 | 9.57 |
| Pizarra | 5 | 2.48 | 13.83 |
| Plata, mineral de | 6 | 2.72 | 17.20 |
| Plomo y zinc, mineral de | 27 | 3.37 | 11.35 |
| Plomo, mineral de | 22 | 3.44 | 11.40 |
| Potasa, mineral de | 8 | 2.37 | 8.88 |
| Potasa, sal de | 3 | 2.18 | 8.23 |
| Roca basáltica | 49 | 2.86 | 21.10 |
| Roca fosfórica | 17 | 2.66 | 10.13 |
| Rutilo, mineral de | 5 | 2.84 | 12.12 |
| Sienita | 3 | 2.73 | 14.90 |
| Silice | 7 | 2.71 | 13.53 |
| Silicio, carburo de | 7 | 2.73 | 26.17 |
| Sodio, siliceo de | 3 | 2.10 | 13.00 |
| Titanio, mineral de | 16 | 4.23 | 11.32 |
| Todos los materiales ensayados | 2088 | - | 13.81 |
| Uranio, mineral de | 20 | 2.70 | 17.93 |
| Vidrio | 5 | 2.58 | 3.08 |
| Yeso, roca de | 5 | 2.69 | 6.16 |
| Zinc, mineral de | 10 | 3.68 | 12.42 |

Molienda de granos

TABLA 8-32 Características de funcionamiento de un molino de frotamiento marca Robinson, de un solo impulsor, en la molienda de granos

| | Tamaño del molino | | | | | | | |
|-----------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 16 in | 18 in | 20 in | 24 in | 26 in | 30 in | 32 in | 36 in |
| Velocidad, rpm ¹ | 2500 | 2250 | 2200 | 1800 | 1600 | 1400 | 1300 | 1200 |
| Velocidad, rpm ² | 1000 | 950 | 900 | 800 | 750 | | | |
| Capacidad ³ | 1200 | 1600 | 2000 | 3300 | 4000 | 5000 | 5300 | 6300 |
| Capacidad ⁴ | 1200 | 1300 | 1500 | 1900 | 1900 | 2200 | | |
| Capacidad ⁵ | 65 | 80 | 100 | 150 | 200 | | | |
| hp ⁶ | 9-12 | 10-15 | 12-18 | 20-30 | 22-32 | 25-35 | 28-38 | 30-50 |
| hp ⁷ | 5- 8 | 6- 9 | 8-10 | 9-12 | 10-15 | 12-18 | | |

¹ Rpm cuando se muelen alimentos o harina de maíz

² Rpm cuando se tritura maíz

³ Molienda de alimentos, libras por hora

⁴ Molienda de harina de maíz, libras por hora

⁵ Trituración de maíz, bushels por hora

⁶ Potencia cuando se muelen alimentos o harina de maíz

⁷ Potencia cuando se tritura maíz

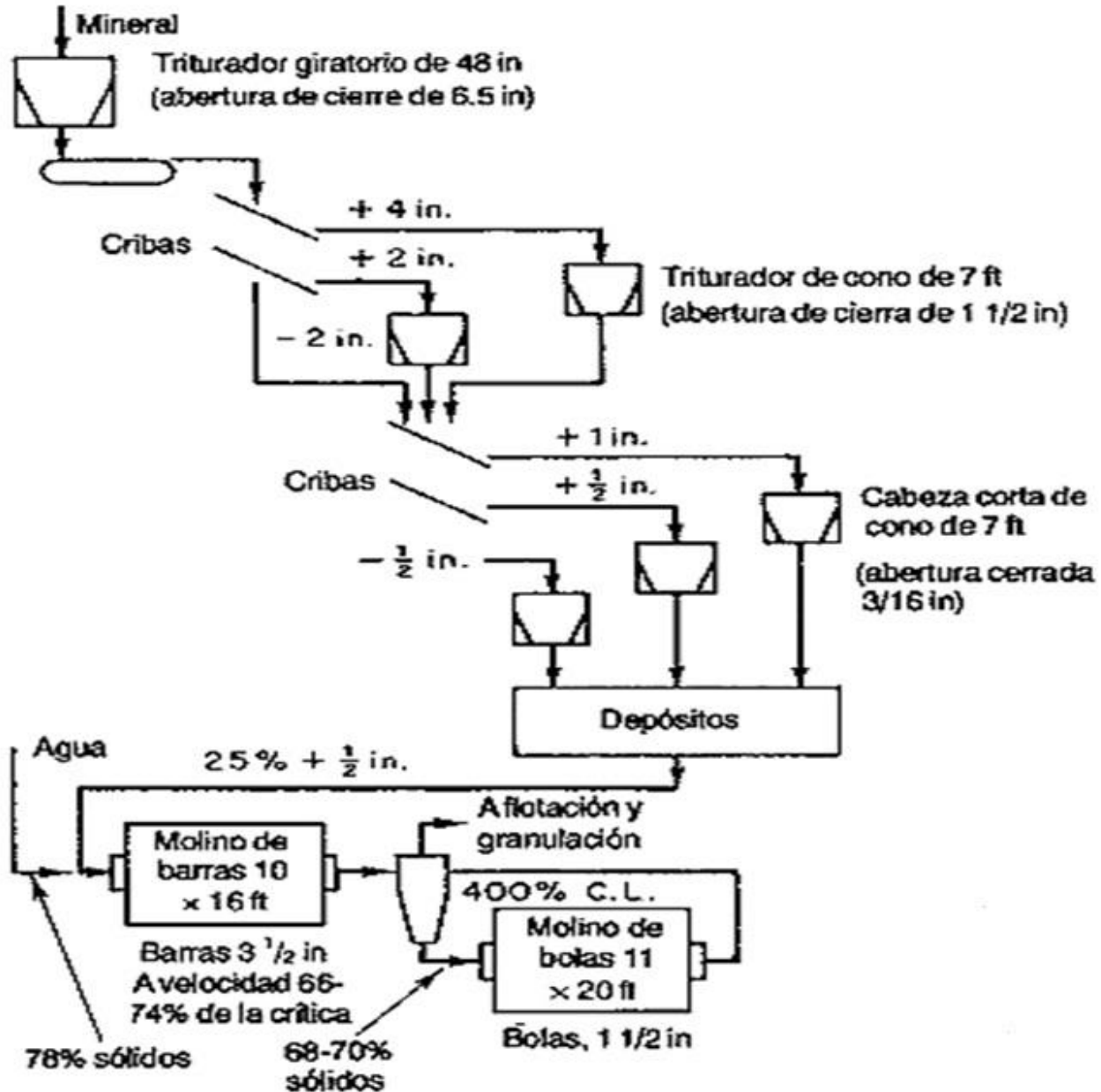
Molienda de granos

TABLA 8-33 Resultados de operaciones con molinos de martillos Williams, desintegrando diversas tortas de semillas

| Material | Capacidad, toneladas/h | | | hp |
|-----------------------------|------------------------|--------------------|---------------|-------|
| | Harina de chícharo | Chícharo, más fino | Extrafino | |
| Torta de semilla de algodón | 1 | $\frac{3}{4}$ -1 | $\frac{1}{2}$ | 8-12 |
| Torta del expulsor | $2\frac{1}{2}$ -3 | $2\frac{1}{2}$ -3 | 2 | 25-30 |
| Torta de linaza | 6-8 | 5-6 | 4-5 | 50-60 |

NOTA: Para convertir toneladas por hora a megagramos por hora, multiplíquese por 0.907; para convertir caballos de potencia (hp), a kilowatts, multiplíquese por 0.746.

Circuito típico



Clasificación práctica de los equipos para Trituración y Molienda

Hay una amplia variedad de equipos disponibles para la reducción de tamaño.

La falta de estandarización es debido a:

- La enorme variedad de productos para triturar
- Diferentes calidades requeridas
- La limitada información útil que se tiene de la molienda
- Los requisitos de las diferentes industrias para establecer el balance económico entre el costo de inversión y el de operación

CLASIFICACIÓN DEL EQUIPAMIENTO

El equipamiento se clasifica de acuerdo con la forma en que se aplica/n la/s fuerza/s predominante, tal como sigue.

1. Entre dos superficies sólidas: **Trituración, Desgarramiento.**
2. En una superficie sólida: **Impacto, Choque.**
3. Por la acción del medio circundante: **Molino Coloidal.**
4. Aplicación (no mecánica) de la energía: **Choque Térmico, Fragmentación Explosiva y Otras.**

A los fines prácticos, conviene usar la clasificación de la Tabla 8.4 del Manual del Ingeniero Químico de Robert H.PERRY-Ed. McGraw-Hill

Tabla 8.4:Tipos de equipos para la reducción de tamaño

- A. Trituradoras de quijada**
 - 1. Blake
 - 2. Excéntrico superior
 - 3. Dodge
- B. Trituradoras giratorias**
 - 1. Primarias
 - 2. Secundarias
 - 3. De cono
- C. Molinos de impacto para trabajos pesados**
 - 1. Rompedores de rotor
 - 2. Molinos de martillos
 - 3. Impactores de jaulas
- D. Trituradores de rodillos**
 - 1. Rodillos lisos (dobles)
 - 2. Rodillos dentados (de uno o de dos rodillos)
- E. Molinos de bandejas secas y de fileteado**
- F. Desmenzadores**
 - 1. Desmenzadores dentados
 - 2. Desintegradores de jaulas
 - 3. Molinos de disco
- G. Cortadoras y rebanadoras rotatorias**
- H. Molinos con medios de molienda:**
 - 1. Molinos de bolas, piedras, varillas y compartimientos
 - a. Por lotes
 - b. Continuos
 - 2. Molinos autógenos de volteo
 - 3. Molinos agitados de bolas y arenal
 - 4. Molinos vibratorios
- I. Molinos de velocidad periférica media**
 - 1. Molinos de anillo y rodillos, y de taza
 - 2. Molinos de rodillos, tipo cereal
 - 3. Molinos de rodillos, tipos para pintura y hule
 - 4. De piedras de molino
- J. Molinos de alta velocidad periférica**
 - 1. Molinos de martillos para molindas finas
 - 2. Molinos de clavijas
 - 3. Molinos de cotoides
 - 4. Batidoras de pulpa de madera
- K. Molinos hidráulicos superfinos**
 - 1. De chorro centrifugo
 - 2. De chorro opuesto
 - 3. De chorro con yunque

CRITERIOS PARA SELECCIÓN DE EQUIPOS Y CLASIFICACIÓN DE MATERIALES

La dureza de un mineral, como se mide por medio de la escala de Mohs, es un criterio de su resistencia a la trituración [Fahrenwald, *Trans. Am. Inst. Min. Metall. Pet. Eng.*, **112**, 88 (1934)]. Se trata de una de las indicaciones más acertadas del carácter abrasivo del mineral, factor que determina el desgaste de los medios de molienda. La clasificación según el orden creciente de dureza, la escala de Mohs es la siguiente: 1, talco; 2, yeso; 3, calcita; 4, fluoruro; 5, apatita; 6, feldespato; 7, cuarzo; 8, topacio; 9, corindón; 10, diamante.

CLASIFICACIÓN DE MATERIALES POR DUREZA

Los materiales con durezas del 1 al 3, inclusive, se clasifican como suaves; de 4 a 7 como intermedios y los demás como duros.

Materiales suaves 1) Talco, tortas secas de filtro prensa, saponita, ceras, conglomerados de cristales de sales; 2) yeso, sal de rocas, sales cristalinas en general, carbón suave; 3) calcita, mármol, piedra caliza suave, baritas, tiza, azufre.

Dureza intermedia 4) Fluorita, fosfato suave, magnesita, piedra caliza; 5) apatita, fosfato duro, piedra caliza dura, cromita, bauxita; 6) feldespato, ilmenita, ortoclasa, hornablendas.

Materiales duros 7) Cuarzo, granito; 8) topacio; 9) corindón, zafiro, esmeril; 10) diamante.

Conviene destacar que los datos de la Tabla 8.5 siguiente son sólo una guía y que en la práctica se encontrarán excepciones.

Guía para Selección de Equipos

TABLA 8-5 Guía para la selección del equipo de trituración y molienda

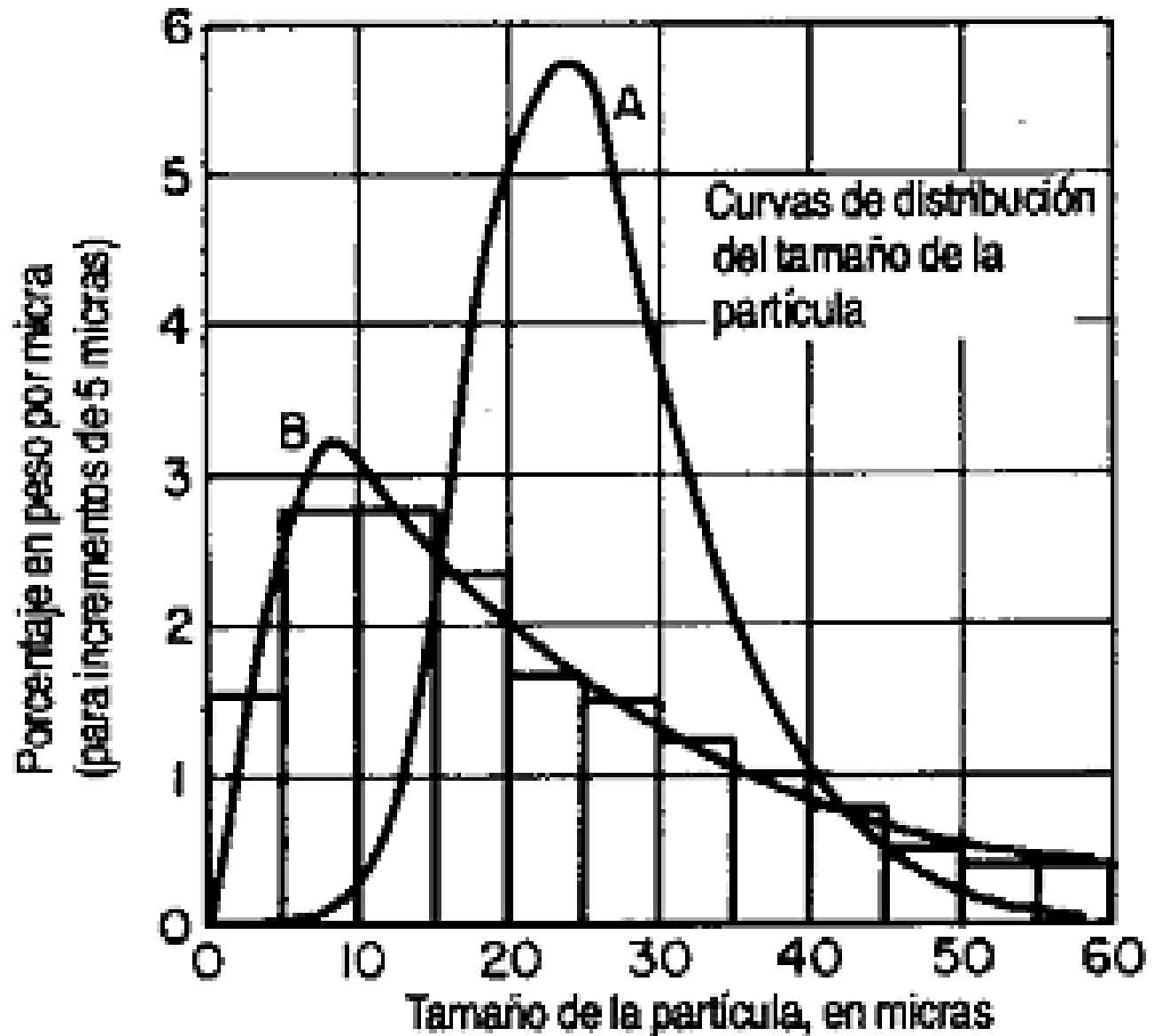
| Operación de reducción del tamaño | Dureza del material | Tamaño* | | | | Relación de reducción ‡ | Tipos de equipos |
|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------|--------|------------------------|---------|-------------------------|------------------|
| | | Gama de alimentaciones, in† | | Gama de productos, in† | | | |
| | | Máx. | Mín. | Máx. | Mín. | | |
| Trituración: | Dura | 60 | 12 | 20 | 4 | 3 a 1 | A y D |
| | | 20 | 4 | 5 | 1 | 4 a 1 | |
| Secundaria | Duro | 5 | 1 | 3 | 0.2 | 5 a 1 | A y F |
| | | 1.5 | 0.25 | 0.185 | 0.033 | 7 a 1 | |
| Molienda: | Suave | 20 | 4 | 2 | 0.4 | 10 a 1 | C y G |
| | | | | (4) | (20) | | |
| Pulverización: | Duro | 0.185 | 0.033 | 0.023 | 0.003 | 10 a 1 | D a I |
| | | (4) | (20) | (20) | (200) | | |
| Fina | Duro | 0.046 | 0.0058 | 0.003 | 0.00035 | 15 a 1 | H a K |
| | | (14) | (100) | (200) | (1250) | | |
| Desintegración: | Suave | 0.5 | 0.065 | 0.023 | 0.003 | 20 a 1 | F, J |
| | | 0.156 | 0.0195 | 0.003 | 0.00030 | 50 a 1 | |
| | | (5) | (32) | (200) | (1250) | | |

* 85 % en peso menor que el tamaño dado.

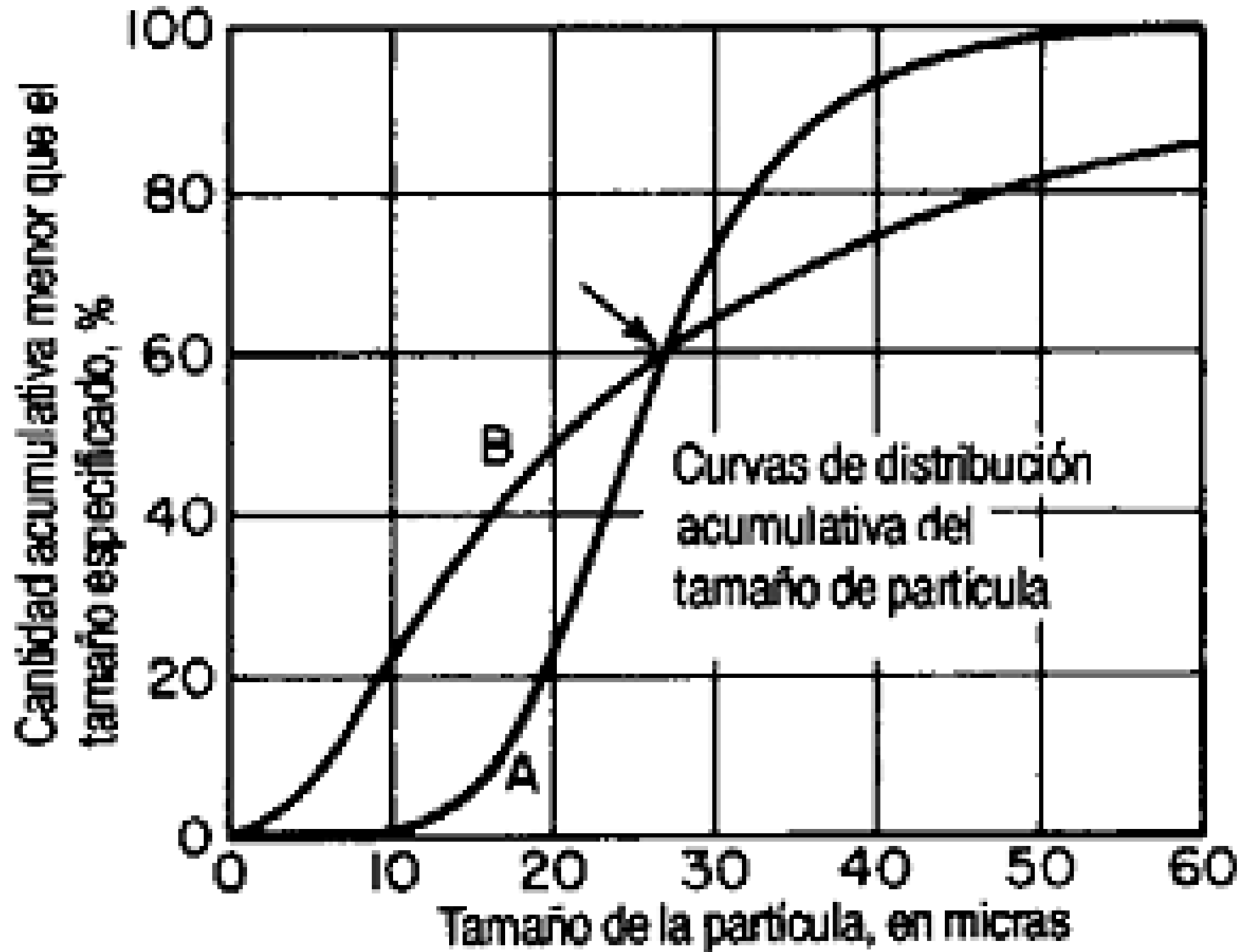
† Número de malla entre paréntesis.

‡ Relaciones de reducción más altas para operaciones de circuito cerrado.

Distribución de Tamaños



Distribución de Tamaños



Transportadores para sólidos a granel

TABLA 7-1 Transportadores para materiales a granel*

| Función | Tipo de transportador |
|---|--|
| Transporte horizontal de materiales | De banda articulada, de banda normal, de flujo continuo, de arrastre de tablillas, vibratorio, de cangilones, de cangilones de volteo, de aire |
| Transporte de materiales hacia arriba o hacia abajo de una pendiente Elevación de materiales | De banda articulada, de banda, de flujo continuo, de paletas, de tornillo sin fin Elevador de cangilones, flujo continuo, montacarga de cajón, aire |
| Manejo de materiales sobre una combinación de trayectorias horizontales y verticales | Flujo continuo, de cangilones de descarga por gravedad, de cangilones de volteo, de aire |
| Distribución o colección de materiales para tolvas, depósitos, etc. | De banda, de paletas, de tornillo sin fin, de flujo continuo, de cangilones de descarga por gravedad, de cangilones de volteo, de aire |
| Retiro de materiales de vagones del ferrocarril, camiones, etc. | Vaciados de carros, descargador de vagones de granos, agitador de vagones, pala mecánica, aire |

* De FMC Corporation, Material Handling Systems Division.

Clasificación de sólidos a granel

TABLA 7-3 Sistema de clasificación para sólidos a granel*

| | Características del material | Clase |
|----------------------------|---|-------|
| Tamaño | Muy fino— $< 149 \mu\text{m}$ (malla 100) | A |
| | Fino— $149 \mu\text{m}$ a 3.18 mm (malla 100 a $1/8 \text{ in}$) | B |
| | Granular— 3.18 a 12.7 mm ($1/8$ a $1/2 \text{ in}$) | C |
| | Aterronado—con terrones $> 12.7 \text{ mm}$ ($1/2 \text{ in}$) | D |
| Fluidéz | Irregular—conteniendo material fibroso, pegajoso, u otro por el estilo | H |
| | De flujo muy libre—ángulo de reposo hasta de 30° | 1 |
| | De flujo libre—ángulo de reposo de 30 a 45° | 2 |
| Abrasividad | Lento—ángulo de reposo de 45° o más | 3 |
| | No abrasivo | 6 |
| | Moderadamente abrasivo | 7 |
| Características especiales | Muy abrasivo | 8 |
| | Contaminable, que afecta el uso o las posibilidades de venta | K |
| | Higroscópico | L |
| | Muy corrosivo | N |
| | Ligeramente corrosivo | P |
| | Despiede polvos o humos peligrosos para la vida | R |
| | Contiene polvos explosivos | S |
| | Degradable, que afecta el uso o las posibilidades de venta | T |
| | Muy ligero y esponjoso | W |
| | Entrelazado o en capas, y resistente a la excavación | X |
| | Se aíra y se hace fluido | Y |
| | Se apelmaza a presión | Z |

* De FMC Corporation, Material Handling Systems Division.
Ejemplo: un material granular, de flujo muy libre, ligeramente abrasivo y moderadamente corrosivo entraría en las categorías C, 1, 7, y P y su clasificación sería C17P.

CLASES DE MATERIALES Y DENSIDADES

TABLA 7-4 Clases de materiales y densidades a granel*

| | | |
|---|--------|--------|
| Greda, malla 100 y menos | 70-75 | A37YZ |
| Harina de huesos | 55-60 | B27 |
| Harina de trigo | 35-40 | A36K§ |
| Hielo, triturado | 35-45 | D16 |
| Hollín animal, 1/8 in y menos | 27-40 | B27 |
| Ilmenita | 140 | B28 |
| Jabón, escamas de | 15-25 | C26T§ |
| Jabón, granos de, laminillas de | 5-15 | B26T§ |
| Jabón, polvo de | 20-25 | B26§ |
| Levadura | 41 | A26 |
| Lignita, desecada al aire | 45-55 | D26 |
| Magnesio, cloruro de | 33 | C36 |
| Manganeso, sulfato de | 70 | C28 |
| Marga | 80 | D27§ |
| Mica, laminillas | 17-22 | B17W§ |
| Mica, molida | 13-15 | B27 |
| Mica, pulverizada | 13-15 | A27§ |
| Muriato de potasa | 77 | B28 |
| Naftaleno, laminillas de | 45 | § |
| Negro de humo, en polvo | 4-6 | § |
| Negro de humo, granulado | 20-25 | B16TZ§ |
| Piedra caliza, agrícola, 1/8 in y menos | 68 B27 | § |

CLASES DE MATERIALES Y DENSIDADES

TABLA 7-4 Clases de materiales y densidades a granel*

| Material | Promedio, lb/ft ³ † | Clase ‡ | Material | Promedio, lb/ft ³ † | Clase ‡ |
|---|-----------------------------------|---------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------|
| Acido bórico, fino | 55 | B26 | Fluorita | 82 | C37 |
| Acido oxálico, cristales de | 60 | B36L | Fosfato dicálcico | 43 | A36 |
| Almidón | 25-50 | § | Fosfato trisódico | 60 | B27 |
| Alambre con terrones | 50-60 | D26§ | Galactita, filtro de aceite, apagada | 60-65 | § |
| Alambre fino | 45-50 | B26§ | Galactita, filtro de aceite, crudo | 35-40 | B27 |
| Aluminio, hidrato de | 18 | C26 | Galactita, filtro de aceite, quemada | 40 | B28 |
| Alúmina | 60 | B28 | Gel de sílice | 45 | B28 |
| Alúmina, gel | 45 | B27 | Coma lica, granulada o en polvo | 31 | B26K§ |
| Amoníaco, cloruro de, cristalino | 52 | B26 | Grafito laminillas | 40 | C26 |
| Amoníaco, sulfato de | 45-58 | § | Grafito, polvo | 28 | A16§ |
| Anhidrido itálico, laminillas de | 30-35 | C36XZ | Greda, en terrones | 85-90 | D37Z |
| Antimonio, polvo de | | B27 | Greda, malla 100 y menos | 70-75 | A37YZ |
| Arcilla (véase bentonita, galactita, caolinita y margu) | | | Harina de huesos | 55-60 | B27 |
| Arcilla, triturado | 85-90 | C27 | Harinas de trigo | 35-40 | A36K§ |
| Arena de fosfato | 90-100 | B28 | Hielo, triturado | 35-45 | D16 |
| Arena, de banco, seca | 90-110 | B28 | Hollín animal, 1/8 in y menos | 27-40 | B27 |
| Arena, sílice, seca | 90-110 | B18 | Ilmenita | 140 | B28 |
| Arseniato de plomo | 72 | B36R | Isón, escamas de | 15-25 | C26T§ |
| Asbesto, desmenuzado | 20-25 | H37WZ | Isón, granos de, laminillas de | 5-15 | B26T§ |
| Aserrín | 10-13 | § | Isón, polvo de | 20-25 | B26§ |
| Asfalto, triturado 1/2 in y menos | 45 | C26 | Levadura | 41 | A26 |
| Azufre, en terrones, 3 in y menos | 80-85 | D26S§ | Lignita, descepada al aire | 45-55 | D26 |
| Azufre, pulverizado | 50-60 | B26SY§ | Magnesio, cloruro de | 33 | C36 |
| Azufre, triturado, de 1/2 in y menos | 50-60 | C26S§ | Manganeso, sulfato de | 70 | C28 |
| Azúcar, en bruto, de caña o remolacha | 55-65 | B36Z§ | Marga | 80 | D27§ |
| Azúcar, granulado 50-55 B26KT | | | Mica, laminillas | 17-22 | B17W§ |
| Bagazos | 7-10 | H36WXZ | Mica, molida | 13-15 | B27 |
| Bauxita, triturada, 3 in y menos | 75-85 | D28§ | Mica, pulverizada | 13-15 | A27§ |

CLASES DE MATERIALES Y DENSIDADES

† Pesos de materiales sueltos o ligeramente revueltos por lo común, los pesos son diferentes cuando los materiales se depositan o empacan, como en tolvas, contenedores, etc.

‡ Estas clases representan observaciones en condiciones generales. Las condiciones específicas pueden variar debido a los procesos de fabricación y el manejo.

§ La clase puede variar considerablemente, debido a las condiciones.

| | | | | | |
|---|--------|----------|--|---------|--------|
| Cal, guijarros | 53-56 | D36 | Negro de humo, granulado | 20-25 | B16TZ§ |
| Cal, hidratada, 1/8 in y menos | 40 | B26YZ | Piedra caliza, agrícola, 1/8 in y menos | 68 B27 | § |
| Cal, hidratada, pulverizada | 32-40 | A26YZ | Piedra caliza, polvo de | 75 | A37Y§ |
| Cal, molida, 1/8 in y menos | 60 | B36Z | Piedra caliza, triturada | 85-90 | D27§ |
| Calcio, carburo de | 70-80 | D27 | Piedra pómez, 1/8 in y menos | 42-45 | B38§ |
| Caolinita, arcilla de, 3 in y menos | 163 | D27 | Pizarra, molida, 1/8 in y menos | 82 | B27 |
| Carbonato sódico, ligero | 20-35 | A27W | Pizarra, triturada, 1/2 in y menos | 80-90 | C27 |
| Carbonato sódico, pesado | 55-65 | B27 | Poliestireno, cubitos | 35-40 | C16K |
| Carbón animal, malla 100 y menos | 20-25 | A27§ | Polieliteno, gránulos, alta densidad | 35-45 | C16K |
| Carbón vegetal | 18-25 | D37T | Polieliteno, gránulos, baja densidad | 28-40 | C16K |
| Carbón, antracita | 60 | C27P | Polipropileno, gránulos | 35-50 | C16K |
| Carbón, bituminoso, de mina, clasificado por tamaños | | 50 D26PT | Polvo de madera | 16-36 | § |
| Carbón, bituminoso, de mina, malla 50 y menos | 50 | B36P | Polvo de moldear de fenol-formaldehído | 30-40 | A36 |
| Carbón, bituminoso, de mina, suelto, 1/2 in y menos | 50 | C36P | Polvo de talco | 40-60 | A27Y |
| Caseína | 36 | B27§ | Potasio, nitrato de | 76 | C17P |
| Cemento Portland | 65-85 | A27§ | Pulpa de remolacha azucarera, húmeda | 25-45 | § |
| Cenizas de carbón | 40 | D28§ | Pulpa de remolacha azucarera, seca | 12-15 | § |
| Cenizas de carbón, secas 3 in y menos | 35-40 | D37 | Rocas de fosfato | 75-85 | D27§ |
| Ceniza muy fina, seca | 35-45 | A18Y§ | Sal apelmazada, seca y gruesa | 85 | D27 |
| Cloruro de polivinilo, gránulos compuestos | 3555 | C16K | Sal apelmazada, seca y pulverizada | 65-85 | B27 |
| Cloruro de polivinilo, resina de, disolvente, no disolvente y de suspensión | 20-35 | A26K§ | Sal común, seca, fina | 70-80 | B27PL§ |
| Cloruro de polivinilo, resina de, tipo de dispersión | 12-18 | A36K§ | Sal común, seca, gruesa | 45-50 | C37PL§ |
| Cobre, sulfato de | | D26 | Salitre | 80 | B26S |
| Cola molida, 1/8 in y menos | 40 | B27 | Sodio, bicarbonato de | 41 | A26 |
| Conchas de ostras, enteras | | D27X | Sodio, nitrato de | 70-80 | § |
| Conchas de ostras, molidas, de 1/2 in y menos | 53 | C27 | Sodio, sulfato de (véase sal apelmazada) | | |
| Coque suelto | 23-32 | D38TX§ | Sulfato ferroso | 50-75 | C27 |
| Coque, cisco de, 1/4 in y menos | 25-35 | C38 | Talco de estearita, fino | 40-50 | A37Z |
| Coque, petróleo, calcinado | 35-45 | D28X | Vermiculita, dilatada | 16 | C37W |
| Corcho granulado | 12-15 | C36 | Vermiculita, mineral de | 80 | D27 |
| Corcho, molido fino | 12-15 | B36W§ | Vidrio, desechos fundibles de | 80-120 | D28§ |
| Costaza de madera, desechos | 0-20 | H37X§ | Vidrio molido | 90-100 | D28§ |
| Criolita | 110 | D27 | Virutas de acero, trituradas | 100-150 | D38 |
| Dolomita con terrones | 90-100 | D27§ | Virutas de hierro colado | 130-200 | C37 |
| Ebonita triturada 1/2 in y menos | 63-70 | C26 | Virutas de madera | 10-30 | H36WX§ |
| Epsom, sales de | 40-50 | B26 | Yeso, calcinado, 1/2 in y menos | 55-60 | C27 |
| Escoria de cemento | 75-80 | D28§ | Yeso, calcinado, en polvo | 60-80 | A37 |
| Escorias, de altos hornos, granuladas | 60-65 | C28 | Yeso, crudo, 1 in y menos | 90-100 | D27 |
| Feldespato, molido, 1/8 in y menos | 65-70 | B27 | Zinc, óxido de, ligero | 10-15 | A36WZ§ |
| | | | Zinc, óxido de, pesado | 30-35 | A36Z§ |

* Datos proporcionados principalmente, por FMC Corporation, Material Handling Systems Division. Para convertir libras por pie cúbico a kilogramos por metro cúbico, multiplíquese por 16.02.

TIPO DE ALIMENTADOR Y MATERIAL

TABLA 7-2 Alimentadores para materiales a granel*

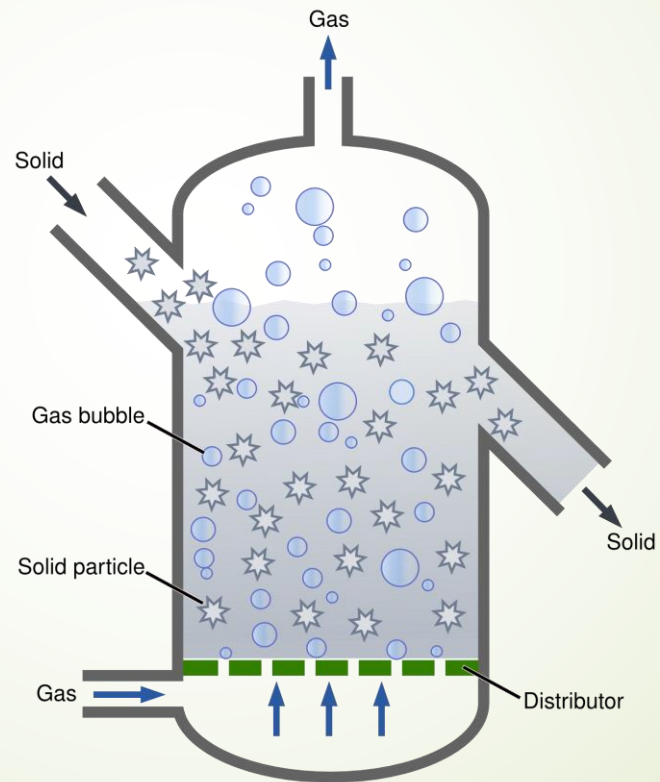
| Características del material | Tipo de alimentador |
|--|---|
| Materiales finos, de flujo libre | De barras, de banda, oscilatorio o vibratorio, de paletas giratorias, de tornillo sinfín |
| Materiales no abrasivos y granulares con algunos terrones | De banda articulada, de barras, de banda, oscilatorio o vibratorio, de movimiento alternativo, de placa giratoria, de tornillo sinfín |
| Materiales difíciles de manejar porque son abrasivos, con terrones o filamentos, o están calientes | De banda articulada, de barras, de banda, oscilatorio o vibratorio, de movimiento alternativo |
| Materiales pesados, con terrones o abrasivos, similares a minerales y guijarros | De banda articulada, oscilatorio o vibratorio, de movimiento alternativo |

* De FMC Corporation, Material Handling Systems Division.

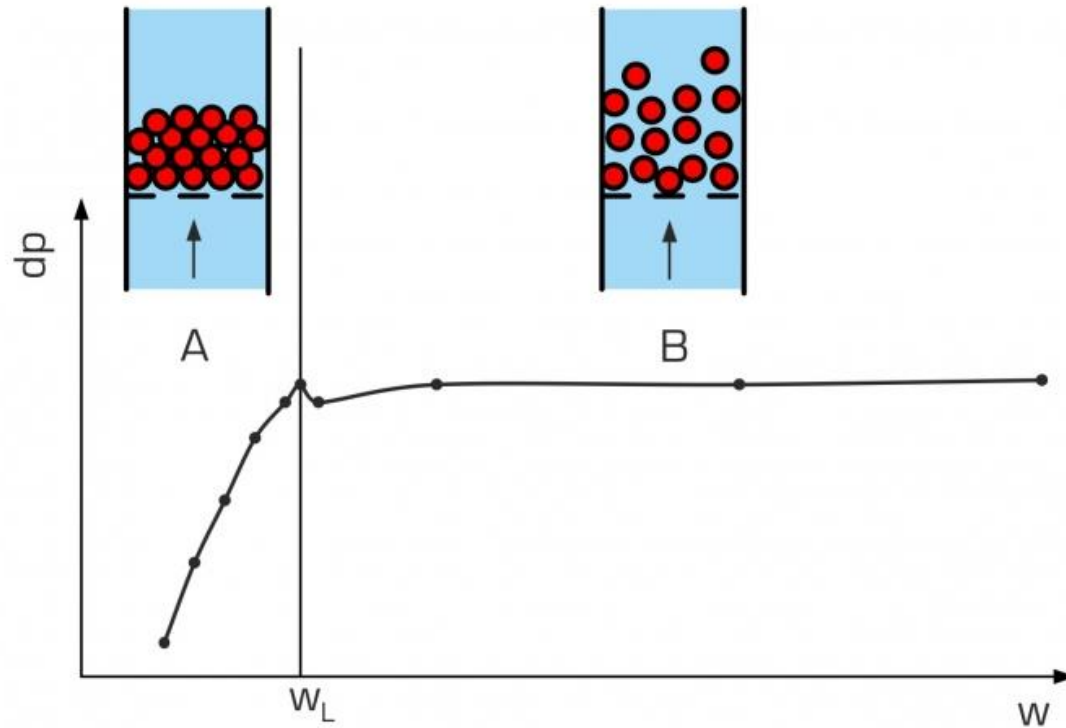
Sistemas de Transporte Neumático (STN)

En numerosas industrias podemos encontrar sistemas de Transporte neumático de sólidos a granel, incluso hay aplicaciones inusuales como es el transporte de gallinas vivas en granjas, de botellas plásticas o de latas de cerveza, o el transporte de cubos de hielo en minas subterráneas de Sudáfrica y también el transporte de pellets para la Alimentación de salmones en Chile...

Lecho Fluidizado



Lecho Fluidizado...TN



Esquema de un STN

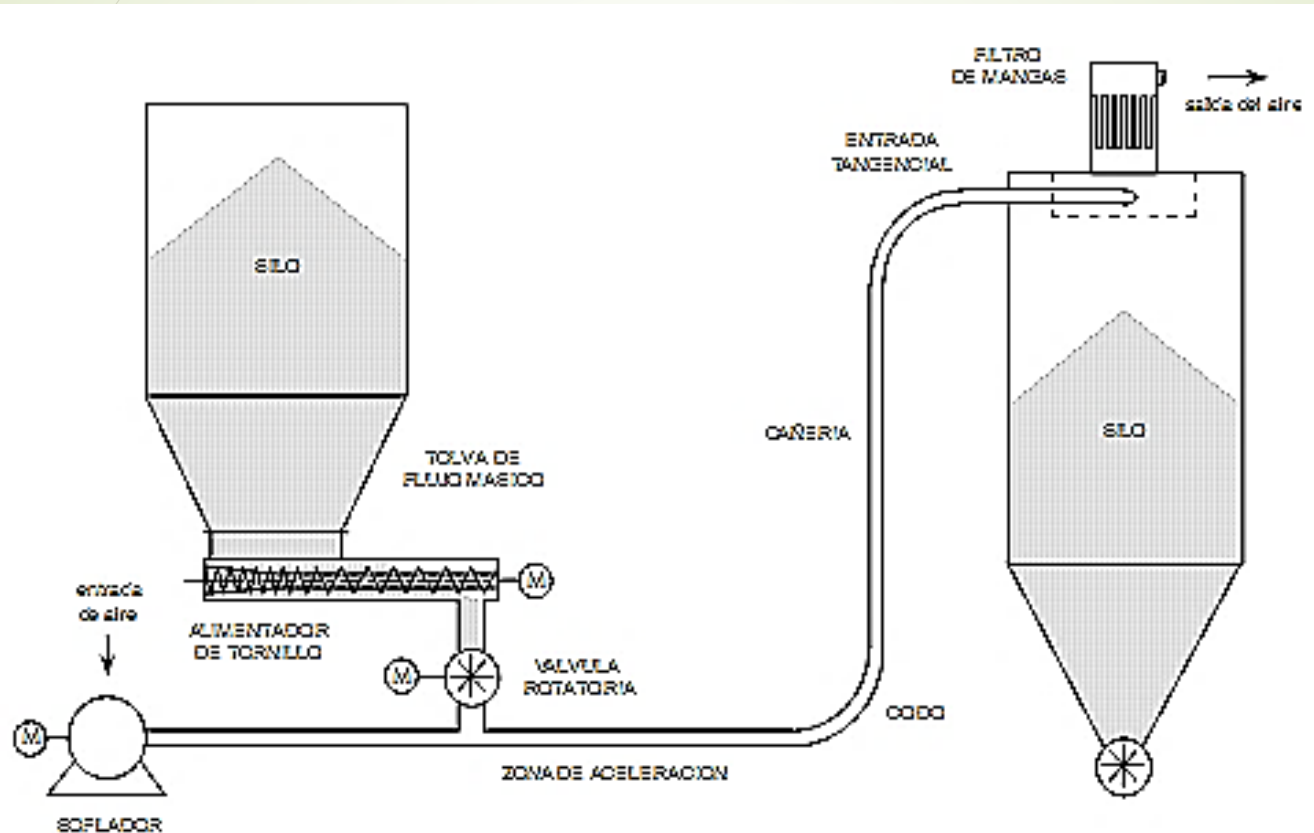


Figura 1: Esquema de un sistema de transporte neumático en fase diluida y de baja presión positiva.

Tipos de STN

Tipos de sistemas para el transporte neumático:

- Abiertos o cerrados.
- A presión positiva o al vacío.
- Con flujo en fase densa o en fase diluida.

Actualmente son muy usados los sistemas de baja presión positiva, continuos, con elevada velocidad y en fase diluida, ya que presentan la mayor capacidad de transporte, con flujo estable y con controles relativamente simples que hacen la regulación sencilla, también permiten el transporte del sólido a múltiples puntos de descarga.

Funcionamiento de un STN: se sigue en el “Diagrama de Estado”, graficando la caída de presión por unidad de longitud de cañería, $\Delta P/L$, vs. **Velocidad del gas de transporte, U_g** , con “**curvas de flujo de sólidos constante, W_s , como parámetro**”.

Sistema de Transporte Neumático

Diagrama de Estado

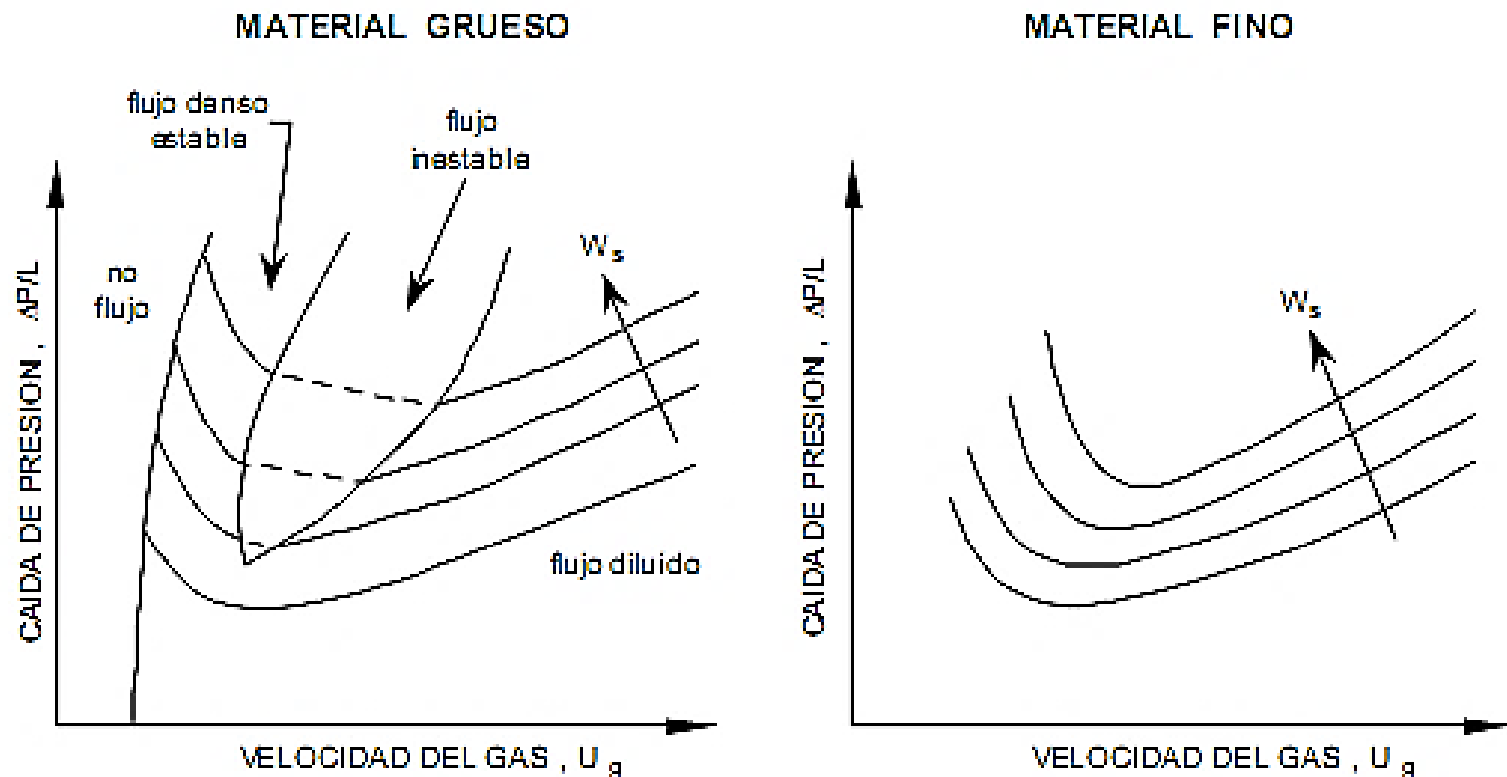


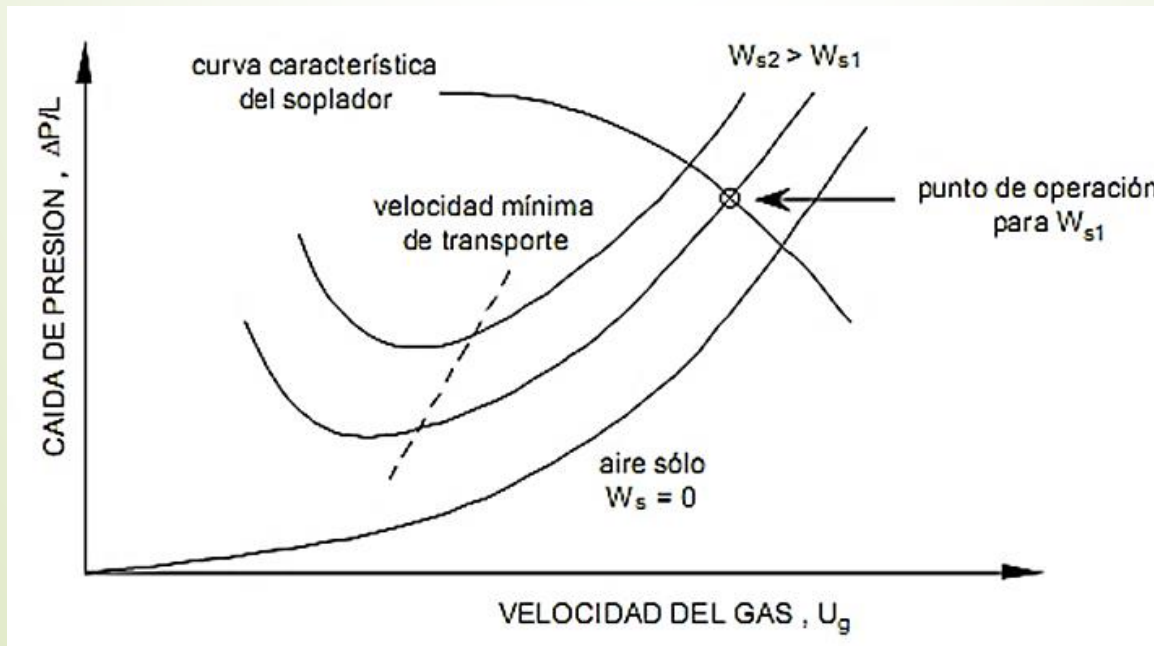
Figura 2: Diagrama de estado de un sistema de transporte neumático para materiales gruesos y finos.

Usos del TNS

- Resultan aptos para:
 - Los materiales particulados secos, no cohesivos, de fácil escurrimiento libre por gravedad, y relativamente finos, que requieran transporte no contaminante.
- No resultan aptos para:
 - 1. Los materiales frágiles, porque pueden sufrir durante el transporte de atrición excesiva y
 - 2. Los materiales abrasivos, porque pueden causar desgaste intenso y prematuro de cañerías, válvulas y accesorios.
- Otras limitaciones del transporte neumático de sólidos son:
 - El tamaño máximo de partícula a transportar.
 - La capacidad máxima del sistema de transporte.
 - La longitud del sistema de transporte.
 - El mayor consumo de energía respecto a otros sistemas.

STN- Variables de Diseño

- Tamaño de partículas: máximo, mínimo y la distribución granulométrica.
- Densidad y forma de las partículas.
- Fluidéz del material y permeabilidad.
- Otros: abrasividad, toxicidad, fragilidad, dureza, reactividad, compresibilidad, tendencia a segregarse, efectos electrostáticos, etc.
- Punto óptimo de operación
 - ✓ velocidad óptima de transporte



STN: Banco de Ensayos

Verificamos experimentalmente:

- velocidad mínima y óptima de transporte,
- velocidad de deposición, pérdida de carga, fenómeno de atrición, entre otros.



Figura 5: Ensayos con griz de maíz: Punto de alimentación de material a alta velocidad y sin acumulación.