

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

2024

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

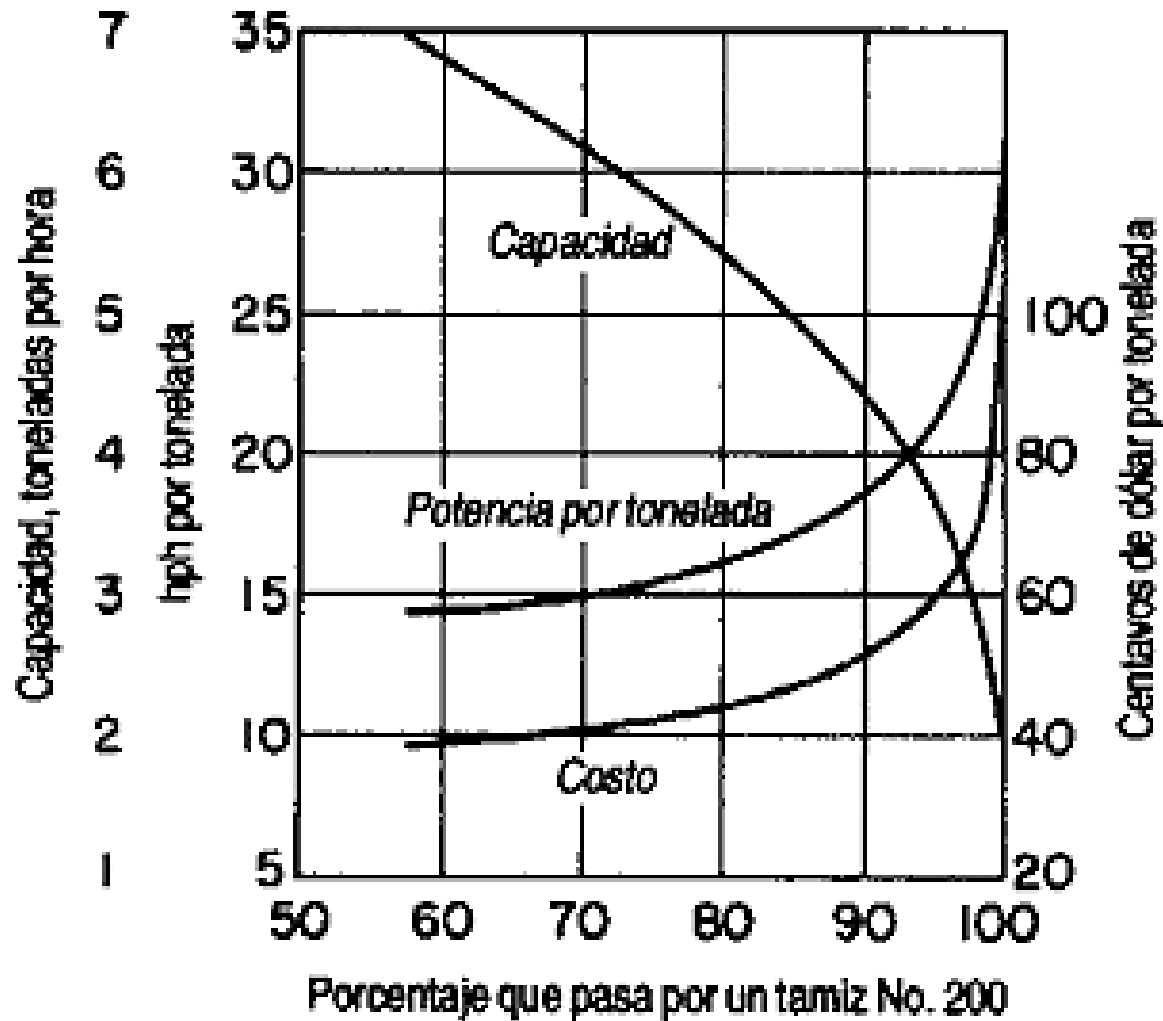


FIG. 8-8 Variación de la capacidad, la potencia y el costo de molienda en relación con la finura del producto.

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:

$$dE = -C * dX / X^n$$

E = trabajo entregado

X = tamaño de la partícula

“C” y “n” son constantes

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

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

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	Deposición 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
Azníscos	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
Espanollúco	8	2.98	9.76
Espulzonco, 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
Ferromanganeso	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
Galesta	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
Silíce	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

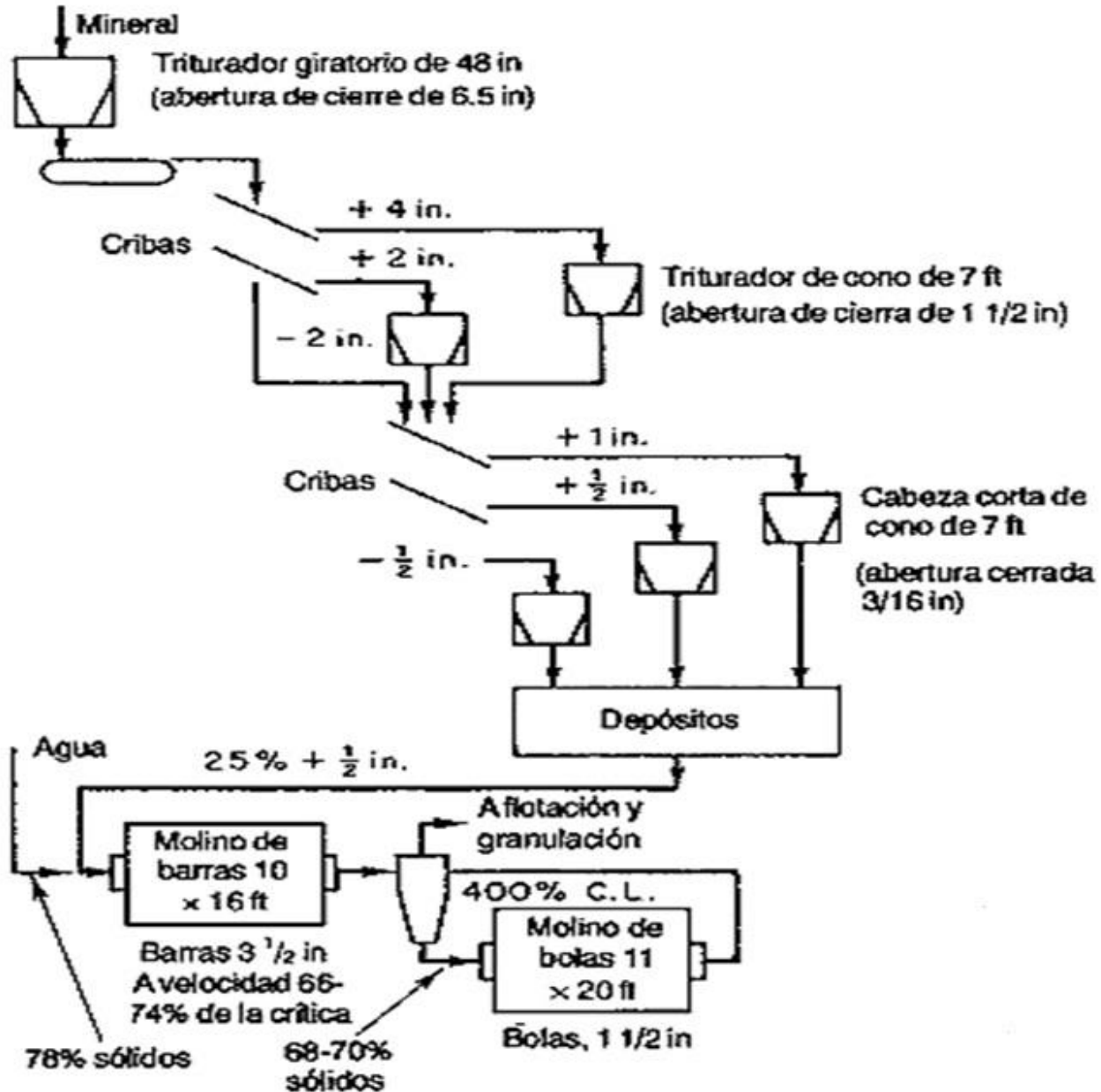
Molienda de granos

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

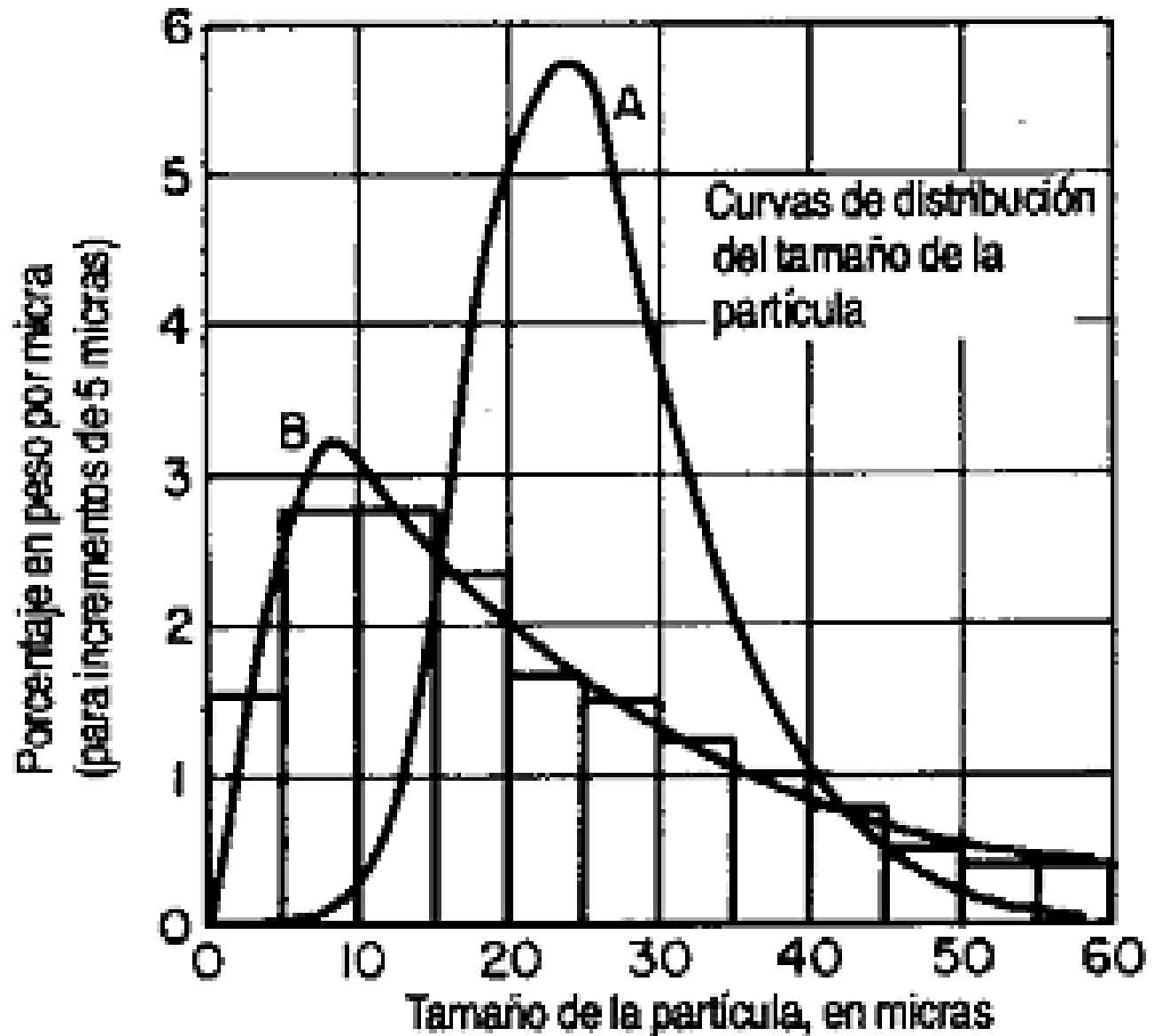
Operación de reducción del tamaño	Dureza del material	Tamaño*				Relación de reducción ‡	Tipos de equipos
		Gama de alimentaciones, in†		Gama de productos, in†			
		Máx.	Mín.	Máx.	Mín.		
Trituración:	Dura	60	12	20	4	3 a 1	A y D
		20	4	5	1	4 a 1	
Secundaria	Duro	5	1	3	0.2	5 a 1	A y F
		1.5	0.25	0.185	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.

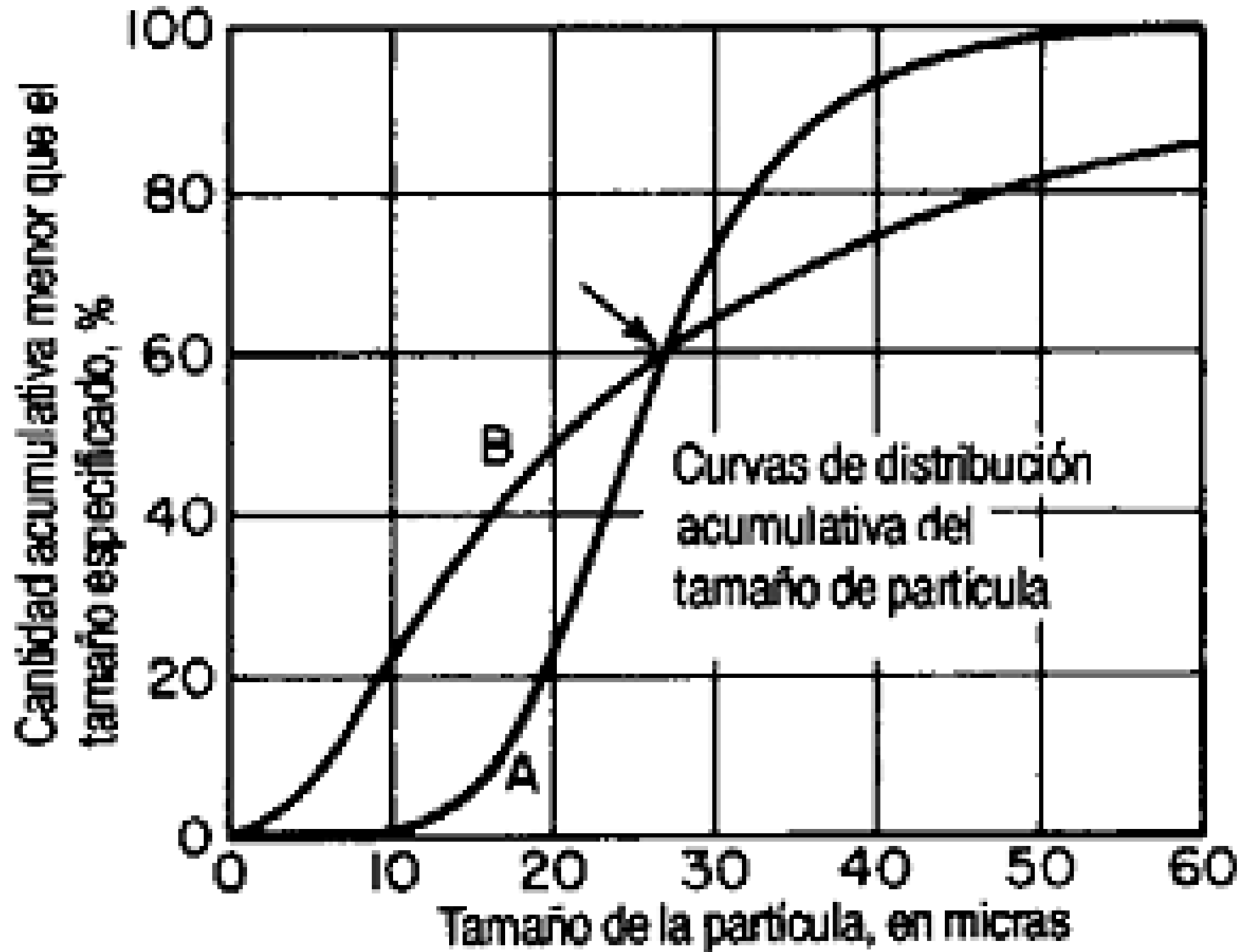
† Número de malla entre paréntesis.

‡ 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 ‡
Ácido bórico, fino	55	B26	Fluorita	82	C37
Ácido 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 seca, 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	Jabón, escamas de	15-25	C26T§
Asbesto, desmenuzado	20-25	H37WZ	Jabón, granos de, laminillas de	5-15	B26T§
Aserrín	10-13	§	Jabón, 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	B16T2§
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§	Poliétileno, gránulos, alta densidad	35-45	C16K
Carbón vegetal	18-25	D37T	Poliétileno, 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*

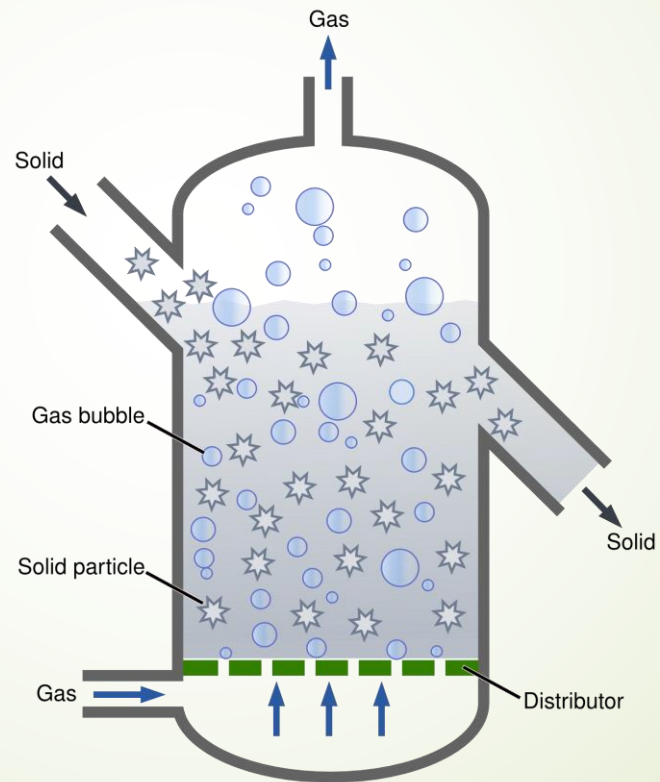
Características del material	Tipo de alimentador
Materiales finos, de flujo libre	De barras, de banda, oscilatorio o vibratorio, de paletas giratorias, de tornillo sin fin
Materiales no abrasivos y granulares con algunos terrones	De banda articulada, de barras, de banda, oscilatorio o vibratorio, de movimiento alternativo, de placa giratoria, de tornillo sin fin
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.

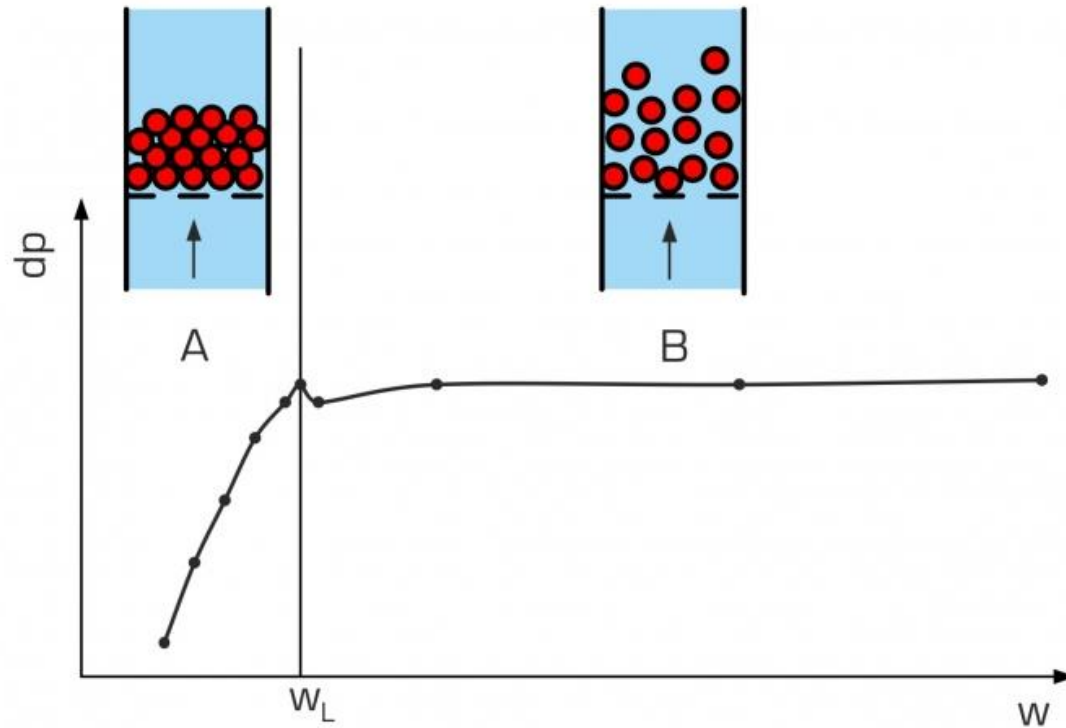
Sistemas de Transporte Neumático (STN)

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

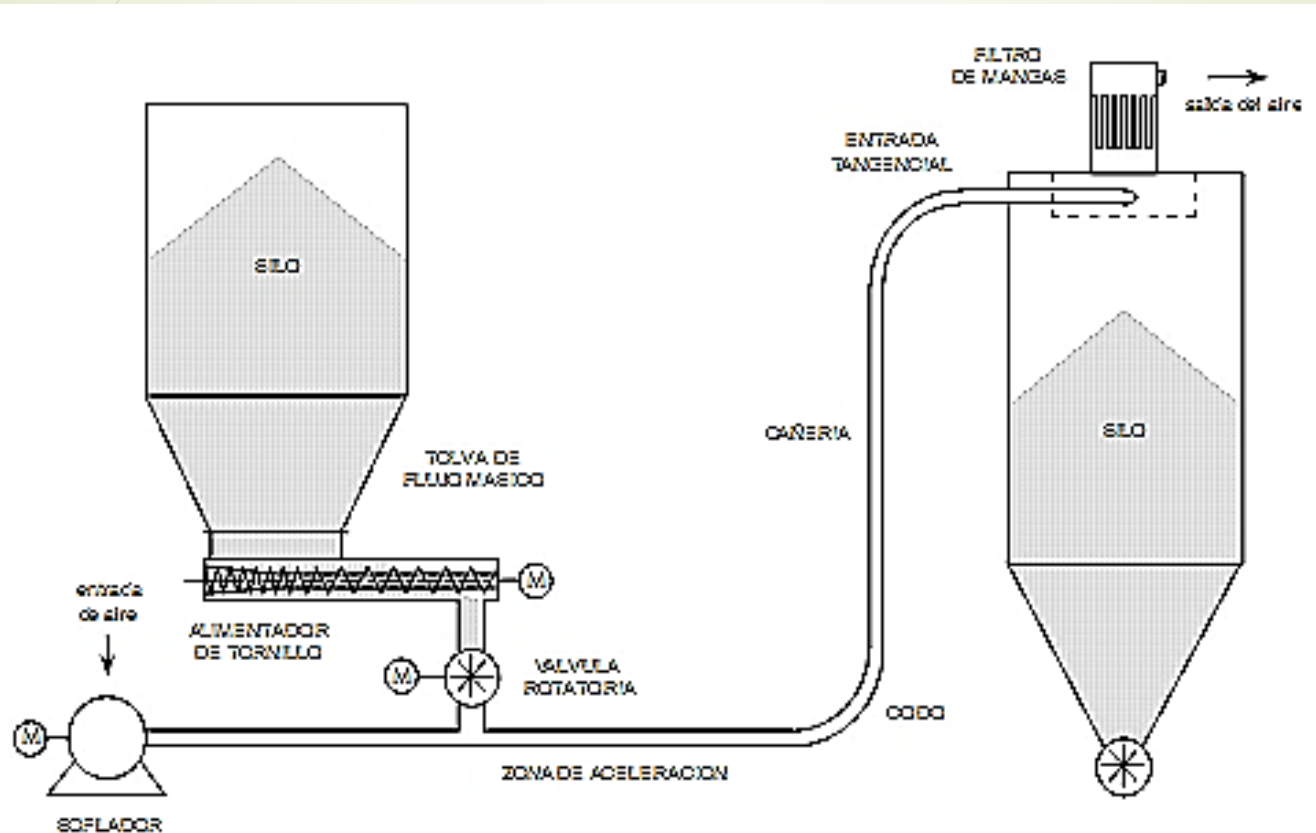


Figura 1: Esquema de un sistema de transporte neumático en fase diluida y de baja presión positiva.

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

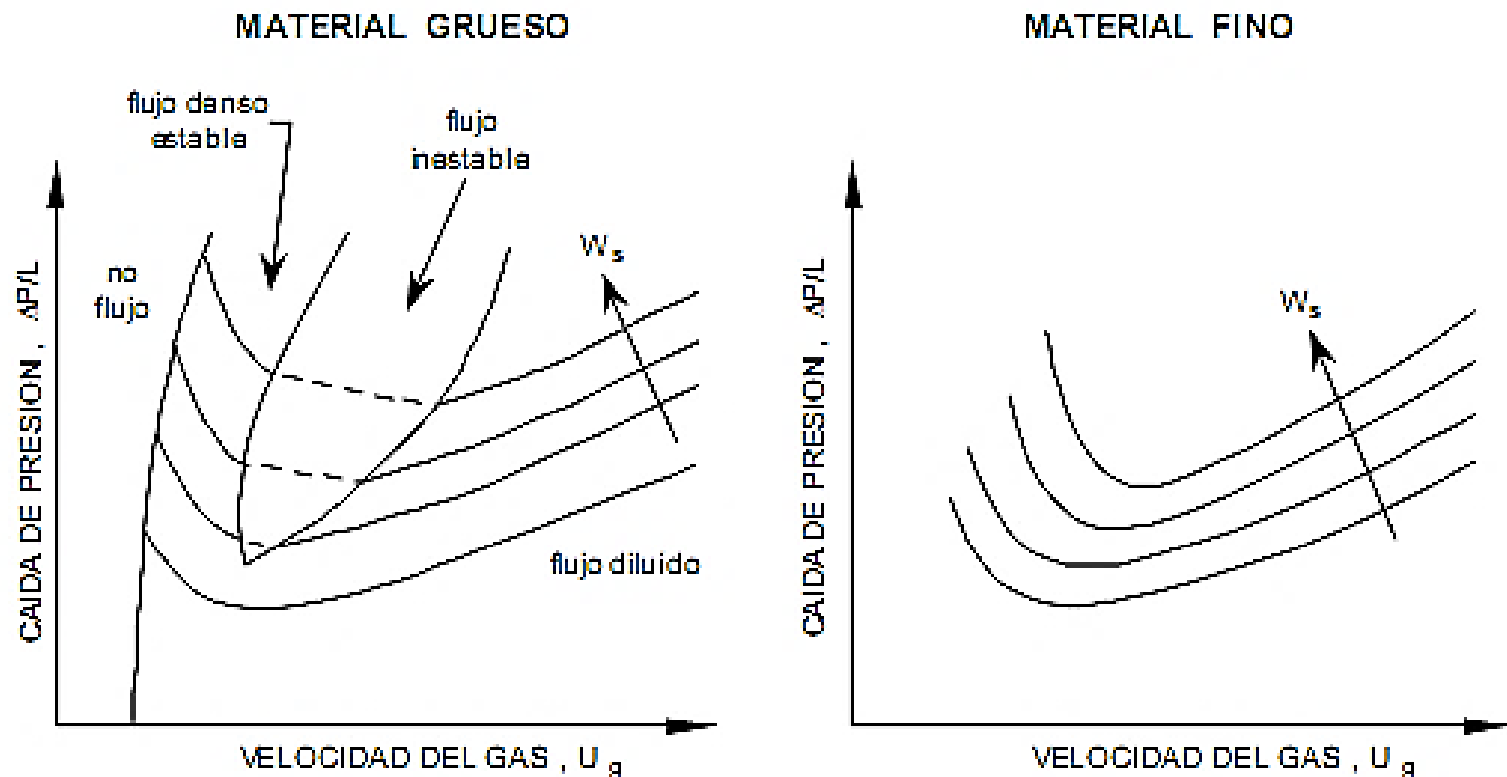


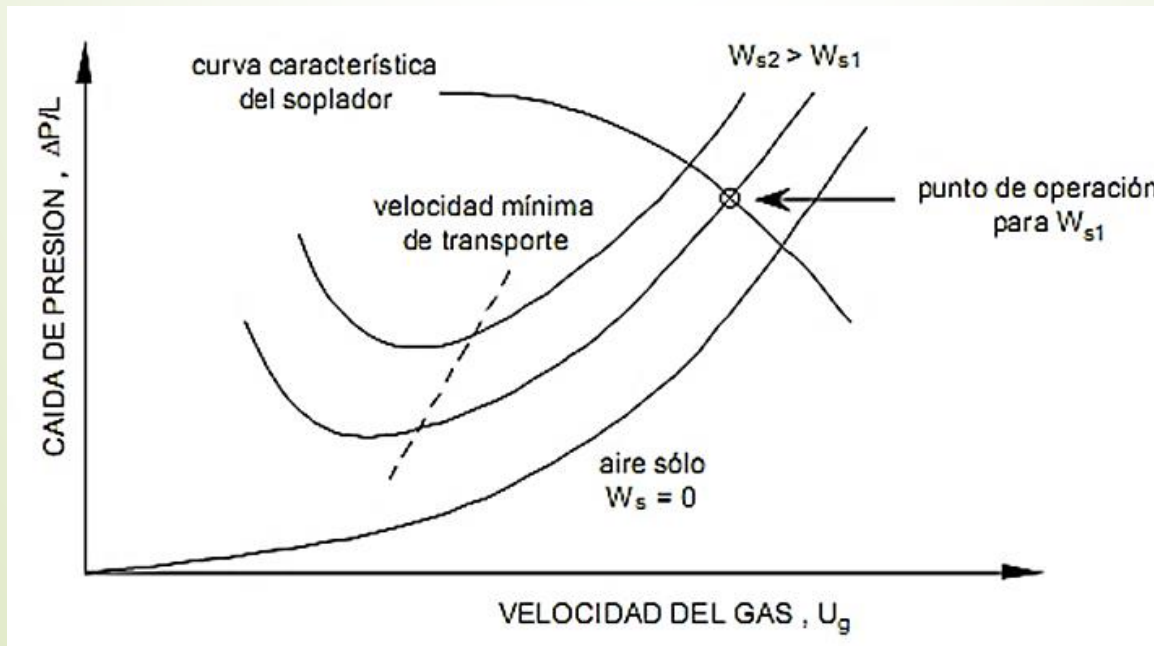
Figura 2: Diagrama de estado de un sistema de transporte neumático para materiales gruesos y finos.

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.