

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

---

**F A C U L T A D   D E   Q U I M I C A**

---

**DISMINUCION DE TAMAÑO**

**PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
PRESENTA**

**Manuel Serdán Alvarez**

México, D. F.

M-165671

1973



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## A LA MEMORIA DE MI PADRE

*Hombre que supo estar firme, al que el triunfo y el  
desastre no impusieron su ley. Y cuya trascendencia  
marcó en forma imborrable, en mí, el anhelo  
de superación.*

## A MI MADRE

*Cúmulo de cariño y entrega, a la que con su sangre  
me dio la vida. Y ha sabido inculcar en mi alma, como  
huella indeleble, el amor a Dios.*

A MI ESPOSA

*En quien he encontrado apoyo y comprensión, mujer sencilla a quien el dar cariño es lema de todos los días.*

*A mis hijos:*

IVAN MAURICIO

Y

PENELOPE KARINA

*A mis hermanos:*

AQUILES

MA. DEL CARMEN

MA. ISABEL

MAXIMO

*Siguiendo su ejemplo tan dignamente trazado.*

*A mis hermanos:*

PATRICIA y GERARDO

*Porque muy pronto vean coronados sus esfuerzos.*

Al Ing. ALBERTO OBREGON

*Con estimación y sincero agradecimiento.*

PRESIDENTE MARIO MEDINA VALENZUELA

VOCAL: ALBERTO OBREGON PEREZ

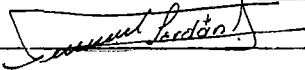
SECRETARIO: JORGE MENCARINI PENICHE

1er. SUPLENTE: NICOLAS JAIMES VILLAFANA

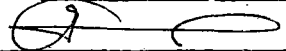
2do. SUPLENTE: CUTHBERTO RAMIREZ CASTILLO

Sitio donde se desarrolló el tema: Biblioteca de Ciencias Químicas

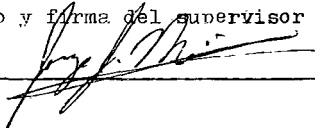
Nombre completo y firma del sustentante: MANUEL SERDAN ALVAREZ



Nombre completo y firma del asesor del tema: ING. ALBERTO OBREGON



Nombre completo y firma del supervisor técnico: ING. JORGE MENCARINI P/



## PRINCIPIOS DE LA TRITURACION

INTRODUCCION.- El extenso campo de la reducción del tamaño puede dividirse en: trituración, molienda, corte, reducción con máquinas, herramientas, escamación, emulsificación, pulverización y dispersión de gases. El presente estudio versará únicamente sobre la disminución de tamaño de sólidos y concretamente sobre trituración.

Propiedades de los sólidos.- Una partícula o un terrón tiene dimensiones lineales, superficie, dureza y estructura. La superficie es el exterior de la mayoría de las partículas, aunque algunas tienen superficie intersticial; dicha superficie se calcula fácilmente para partículas que corresponden a figuras geométricas, pero ha de estimarse aproximadamente en la mayoría de los casos de formas irregulares. La dureza de ciertos sólidos tales como los metales y las sustancias plásticas, puede definirse como la resistencia que oponen a ser hendidos o penetrados; las escalas más usuales para la medición de esta dureza son la Rockwel y la Brinell. La de los minerales suele definirse como su resistencia al rayado. La estructura puede ser homogénea o heterogénea. En una mezcla de partículas como las que forman un polvo hay distribución por tamaños de las partículas, superficie, superficie específica, límites del tamaño de las partículas y molibilidad.

La capacidad de un material para resistir la reducción de tamaño depende en general de su dureza, resistencia al corte, torsión, tensión, presión, pero con frecuencia son también factores importantes su estructura y la forma de su fractura (1). Otros factores -

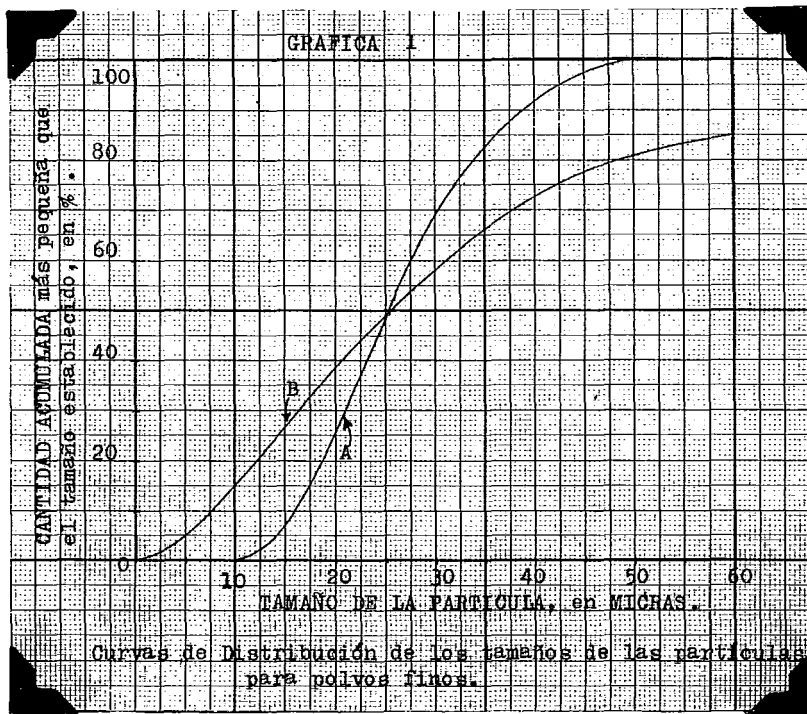
que afectan a las características de un material desde el punto de vista de la molienda son su agua de combinación, la higroscopicidad, la tendencia a la floculación y a la aglomeración, su combustibilidad y la sensibilidad a los cambios de temperatura. Ejemplo: la sal de glauber, el cloruro de calcio y los tintes.

La humedad del material a pulverizar es un factor que se encuentra comúnmente en la práctica y que ejerce un efecto marcado sobre el resultado de funcionamiento de maquinaria empleada. (2)

La finura a la cual se muele un material ejerce un efecto marcado sobre la intensidad de producción.

Finalidades.- Las dos finalidades inmediatas de la trituración y la molienda son la obtención de productos que satisfagan las condiciones y especificaciones sobre tamaño máximo o mínimo, o ambos a la vez, y producir materiales que cumplan determinados requisitos en lo que respecta a la superficie específica. A veces deben satisfacerse en las operaciones de la trituración ciertos requisitos relacionados con la forma de los terrones. Los objetivos finales son numerosos. A menudo es un requisito la obtención de muchas superficies para que las reacciones químicas sean completas y se verifiquen con rapidez. La obtención de una superficie dentro de límites de tamaño máximo y mínimo es importante en muchos casos.

Especificaciones sobre el producto.- La descripción más completa de un polvo se hace indicando la distribución de sus partículas por tamaños, que puede transportarse a una gráfica de distribu-



ción de la frecuencia o de distribución acumulativa. El análisis completo de los tamaños de las partículas permite obtener la distribución completa por tamaños. Conociendo esta, puede calcularse la superficie específica ya que varía en razón inversa del tamaño de las partículas.

Las tablas de los fabricantes de maquinaria de los resultados pueden obtenerse con sus máquinas se basan en lo general en que alrededor del 85%, en peso, el producto será más pequeño que el tamaño especificado, si no se indica el porcentaje.

**MEDIDA DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS.** La distribución por tamaños es un atributo fundamental de los materiales divididos y los métodos para medirla son esenciales para caracterizar los resultados de las operaciones encaminadas a reducir el tamaño

**Métodos.-** Los métodos de medición son: el tamizado, el examen microscópico, la elutriación, la sedimentación por gravedad, la sedimentación centrífuga, la permeabilidad, la Turbidimetría y la adsorción. (3)

a) Tamizado.- Las cribas bastas abarcan los tamaños comprendidos entre  $4 \frac{1}{4}$  y un  $\frac{1}{4}$  de pulgada o sea 114 y 6.3 mm (tamiz No. 3) y los tamices finos van desde 0.223 pulg. = 5.7 mm ( tamiz No.  $3 \frac{1}{2}$ ) hasta 0.0015 pulg. = 0.037mm (tamiz No. 400 ó 37 micras). En los trabajos relacionados con el análisis del tamaño, se sobre entiende que las aberturas son cuadradas en un tamiz y redondas en una criba

(4) El tamizado en seco se emplea a menos que el material sea tan fino que interfiera la floculación. En esos casos se emplea el ta -

mizado húmedo. A veces resulta ventajosa una combinación de ambos procedimientos. Hay procedimientos normalizados para los análisis al tamiz de determinados materiales ( para polvos metálicos, refractarios, agregados del hormigon, carbon pulverizado, coque, polvos de moldeo y jabones).

Los tamices normales tyler; estan basados en un tamiz de 200 mallas con un hilo de 0.0021 pulgadas ( 0.05334 mm) de espesor y con una abertura de .0029 pulgadas ( 0.0074 cm) los otros tamaños varían según una razón fija igual a  $\sqrt{2}$ .

B) Examen microscópico.- Este método, muy embromoso, se emplea para los tamaños comprendidos entre 74 micras y 0.2 micras.

c) Elutriación.- Se recomienda para los polvos en los cuales más del 50% en peso puede pasar por un tamiz del No. 325. Su aplicación es útil entre los límites aproximados de 74 micras y 5 micras, según la densidad y la dispersabilidad del material que se fracciona. Los materiales se separan en fracciones de tamaños bastante aproximados, arrastrando hacia arriba en una corriente de aire regulada las partículas demasiado pequeñas para depositarse venciendo la velocidad ascendente y separandolas de la corriente de aire para pesarl as en papel de filtro. Se necesita una muestra que tenga un volumen bruto de unos 25 cm<sup>3</sup>. El método se basa en la ley de Stokes:

$$D = \sqrt{\frac{18\mu u \times 10^8}{(\rho_s - \rho_f)g}}$$

En la cual es  $\mu$  la viscosidad, en poises; u es la velocidad del aire en cm / seg.;  $\rho_s$  es la densidad de la partícula sólida, en g. /cm<sup>3</sup>

$\rho_f$  es la densidad del líquido; D es el diámetro de una esfera en micrones; y g es aceleración debida a la gravedad  $\text{cm}/\text{seg}^2$ . Para partículas no esféricas D es el diámetro equivalente de una esfera que se eleve con la misma velocidad que la partícula.

d) Sedimentación por gravedad.- Los métodos de sedimentación son útiles entre los límites de tamaño comprendidos entre 20 y 2 micras en un campo gravitacional con agua como líquido de suspensión. Los materiales muy finamente divididos, no dispersables fácilmente en el elutriador de aire, pueden dispersarse por regla general en agua u otros líquidos si se emplea un agente dispersante apropiado. Los métodos de la pipeta y el areómetro son las aplicaciones más aceptables de la sedimentación por gravedad. Existiendo modificaciones a dichos métodos ( modificación de Andreasen del método de la pipeta ) y adaptación novedosa del método del areómetro que utiliza una serie de pequeños flotadores.

Comparación de los métodos.- Las comparaciones de diversos materiales molidos indican que los métodos del areómetro y de la pipeta dan resultados concordantes con los obtenidos por el método de la elutriación con aire. (5)

e) Sedimentación centrifuga.- puede ampliarse el límite del tamaño de las partículas hasta 0.01 micras usando campos centrifugos y modificaciones de los métodos del areómetro de la pipeta y de odén.

f) Permeabilidad.- El método de la permeabilidad en aire da sólo el tamaño medio de las partículas, no proporciona ninguna in -

formación sobre la distribución de las partículas por tamaños y es útil entre 50 y 0.1 micras. El método se basa en la relación entre la superficie de las partículas y su permeabilidad.

Modificaciones.- Los métodos explicados se consideran los más útiles en relación con el trabajo de la trituración y la molienda, pero hay muchas modificaciones y variaciones.

g) Turbidimetría.- Estos métodos se basan en la propiedad de las suspensiones de partículas finas de afectar a la transmisión de la luz a través de ellas. El empleo del turbidímetro se normalizó para el cemento portland. (6)

h) Adsorción.- Se aplica para medir la superficie de los sólidos finamente divididos de superficies específicas del orden de  $1 \times 10^4$  a  $100 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{g}$ . Se mide la cantidad de un gas como el nitrógeno absorbida en una capa unimolecular sobre la superficie del sólido; existe también un método (7) que no exige suponer un área molecular para las moléculas gaseosas.

El factor de forma en la medición del tamaño.- La forma de las partículas debe considerarse porque afecta a la relación entre los tamaños medidos por diferentes procedimientos y la evaluación de la superficie específica partiendo de la información de la distribución de las partículas por tamaños. Si bien los factores de forma volúmetrica para los materiales en escamas como la mica son tan pequeños como 0.003, los correspondientes a muchos materiales triturados están comprendidos entre 0.2 y 0.4 basándose en diámetros medios proyectados de las partículas y a partir de esos datos puede demostrarse

que la relación del tamaño de la sedimentación al de la abertura del tamiz debe ser de 0.86 a 0.95 respectivamente. Sin embargo existen algunas modificaciones a este respecto.

#### REPRESENTACION DEL TAMAÑO DE LA PARTICULA

Relaciones Analíticas.- Existen postuladas diversas ecuaciones para correlacionar la cantidad de un material dividido con el tamaño de sus partículas a fin de obtener una relación de distribución pero no es probable que sean muchos los polvos que en la práctica se ajusten a ellas en todo su intervalo completo de tamaños. No obstante las relaciones son útiles dentro de los límites de su aplicación. Muchas distribuciones acumulativas de los tamaños de las partículas pueden representarse por una línea aproximadamente recta o por dos rectas sobre el papel logaritmico de probabilidad.

Tamaño medio de las partículas.- Este tamaño se obtiene partiendo de la relación de su distribución y puede tener diversos valores según la propiedad en la que se quiera enfatizar: peso o volumen, superficie y superficie específica. Los tamaños medios de la superficie específica y del volumen se expresan respectivamente por:

$$\begin{array}{l} \sqrt[3]{\frac{\sum \Delta W}{\sum \Delta W D_m^{-3}}} \quad \eta \quad \frac{\sum \Delta W}{\sum \Delta W D_m^{-1}} \\ \text{tomando como base el peso y} \\ \sqrt[3]{\frac{\sum \Delta n D_m^3}{\sum \Delta n}} \quad \eta \quad \frac{\sum \Delta n D_m^3}{\sum \Delta n D_m^3} \\ \text{tomando como base el número de partículas; siendo } \Delta W \text{ y } \Delta n \text{ el incremento} \end{array}$$

del peso y del número de partículas respectivamente y  $D_m$  el tamaño medio del incremento.

Cuando se determina la distribución del tamaño el polvo puede dividirse en incrementos de tamaños que guarden entre si una rela -

ción concreta. La práctica aceptada para los tamices de ensayo es la relación de la longitud de la abertura de un tamiz a la del otro más fino siguiente en la serie es  $\sqrt{2}$ .

Relación de reducción- Esta relación se representa más aproximadamente por la relación del tamaño medio del material alimentado al también medio del producto obtenido.

Superficie específica.- Se expresa como la superficie por unidad de peso o volumen. Se obtiene partiendo de la relación de distribución de un material dividido o con la ayuda de números ordinales. En general se expresa por  $s = (k_s/\rho) (\sum \Delta W D_m^{-1} / \sum \Delta W)$  siendo "s" la superficie específica en  $\text{cm}^2/\text{g}$   $k_s$  un factor de forma de la superficie específica que es igual a 6 para las esferas,  $\rho$  la densidad del material en  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,  $\Delta W$  el peso incremental en g. y  $D_m$  el tamaño medio del incremento en cm.

#### MOBILIDAD

Dureza.- La dureza de un mineral medida por la escala de Mohs es criterio de su resistencia a la trituración y un factor que determina el desgaste de los medios empleados para la molienda, dispuesta en orden ascendente de dureza, la escala es como sigue: 1, talco; 2, yeso; 3, calcita; 4, fluorita; 5, apatita; 6, feldespato; 7, cuarzo; 8, topacio; 9, corindón; 10, diamante.

Para nuestros fines podemos clasificar a los materiales con dureza de 1 a 4 como blandos y a los otros como duros.

Existe una clasificación norteamericana de dureza de las piedras

basada en la resistencia a la compresión de cubos de 2.54 cm. es la que sigue, para cargas, en  $\text{kg/cm}^2$ : muy blandas 700 ; blandas, 1055; dureza media, 1410; duras, 1760 y muy duras 2110.

Métodos para medir la molibilidad.- Existen dos procedimientos que tienen una aplicación especial para el carbón y son: molienda de bolas y método Hardgrove, el empleo de estos métodos no se ha generalizado para materiales distintos del carbón, debido a la diversidad de la maquinaria empleada para la pulverización y las diferentes características físicas y químicas de los materiales a pulverizar. Sin embargo se han calculado valores de la molibilidad para muchos materiales ( 8 )

a) Otros ensayos de molibilidad.- Se han realizado ensayos de molibilidad con molinos de bolas y de rodillos normalizados con muchos materiales metales y no metales cuyo fin principal es calcular el tamaño del molino necesario para producir un tonelaje determinado y la potencia necesaria para la molienda, el trabajo neto en caballos-hora necesario para pulverizar un tonelada de un material hasta un tamaño límite máximo en un pulverizador de rodillos acanalados puede considerarse como un índice de su molibilidad.

b) Muchos materiales industrialmente, importantes se han ensayado con este índice, no muestra relación entre la densidad, la dureza mineralógica y la resistencia a la molienda. (9)

TRABAJO NECESARIO PARA REDUCIR EL TAMAÑO

Teoría

a) Ley de Kick basándose en la teoría del análisis de los esfuerzos que intervienen en la deformación plástica antes de llegar al límite de elasticidad, el trabajo necesario para triturar una cantidad dada de material es constante para una misma relación de reducción cualquiera que sea el tamaño original (10) (11)

La ley puede escribirse;

$$E = C \log D_1/D_2 \quad 1$$

en la que  $D_1/D_2$  es la relación de la reducción de tamaño y E es el, trabajo realizado.

b) Ley de Rittinger  $E = C' (S_2 - S_1)$  2

en la que  $S_2$  y  $S_1$  son las superficies específicas después y antes de la reducción; pero  $S = (k_s/\rho) (D^2 / D^3)$  de modo que:

$$E = C'' \left( \frac{1}{D_2} - \frac{1}{D_1} \right) \quad 3$$

c) Relación generalizada.- Una ecuación diferencial para ambos casos. (12) es:

$$dE = - \frac{C dD}{D^n} \quad 4$$

Resolviendo la ecuación para los valores de  $n = 1$  y  $2$  se obtienen respectivamente las leyes de Kick y Rittinger. Para  $n > 1$ . la solución es:

$$E = \left( \frac{C}{n-1} \right) \left( \frac{1}{D_2^{n-1}} - \frac{1}{D_1^{n-1}} \right) \quad 5$$

Aplicación:.- Se ha demostrado la mayor aplicabilidad de la ecuación de Rittinger, las constantes de las ecuaciones 1 y 3 son reciprocas de los coeficientes de rendimiento. El coeficiente de rendimiento  $(n-1)/C$  es variable en la ecuación 5 y puede resultar -

más útil entre límites amplios de tamaño.

En la utilización de las ecuaciones, el material poseerá una distribución de tamaños antes y después de la pulverización; y, para la ecuación  $(3) 1/D = \sum (AW/D_m) \sum (AW)$ , siendo AW la masa de un incremento o parte del tamaño bien calibrado del material,  $D_m$  el promedio de los límites de tamaño de dicho incremento. La principal dificultad estriba en encontrar a  $D_m$  un valor para la porción de un material demasiado fino para ser subdividido, el cual puede presentar una parte principal de la superficie.

Si se conoce la ecuación de una parte de la distribución de tamaños y se supone que ella se extiende indefinidamente hasta los tamaños pequeños, puede calcularse la superficie específica.

(13)

La superficie específica y el tamaño de una partícula que tenga la misma superficie específica que todo el polvo se determina directamente, usando el método de la permeabilidad al aire (Lea y Nurse). Este aparato, trabajando para determinar la superficie del carbón en la máquina de Hardgrove, trabaja de acuerdo con la ley de Rittinger. Pueden también usarse métodos basados en la adsorción de gases para medir la superficie de los materiales pulverizados.

#### RENDIMIENOS EN LA MOLIENDA.

Rendimiento Teórico. El rendimiento de la energía en las operaciones de la molienda es de 0.06 a 1 %, basado en los valores teóri -

cos de la energía superficial del cuarzo (14).

Rendimiento Medido. Varía entre el 6 y el 25% basado en medidas calóricas. (15) Utilizando máquinas comerciales; y mediante experiencias con aparatos de caída de pesos se han encontrado rendimientos del orden de 25 a 60% .(16) (17)

Coefficientes de Rendimiento .- Un requisito práctico es que se consuma la menor cantidad posible de potencia para la trituración o la molienda deseada. Con este fin la potencia consumida se expresa en  $\text{Kgm}/\text{min}$  ó en caballos de vapor y la producción de superficie nueva se indica en  $\text{m}^2/\text{min}$ ., para obtener un coeficiente de rendimiento en  $\text{m}^2/\text{kgm}$ , que debe ser constante para un material dado, con diversas relaciones de reducción, si dicho material satisface la ley de Rittinger. Se han indicado valores comprendidos entre 0.0134 y 0.0335  $\text{m}^2/\text{kgm}$  para materiales como los minerales de oro y cobre, clinca de cemento Portland, cocue y piritas, usando un aparato de choque de bolas gemelas para la trituración. Esos valores pueden reducirse a la mitad para instalaciones comerciales. Un método gráfico compara los rendimientos de trituración (basado en la ley de Rittinger). Si el criterio es moler hasta un tamaño límite, el coeficiente de rendimiento puede expresarse por la relación de la producción de toneladas por hora que pase por un tamiz especificado a la potencia consumida en caballos. La relación es entonces  $Tm/C.V.$ - hr. El valor de este coeficiente está comprendido entre 0.018 y 0.039 para la pulverización húmeda en un molino de

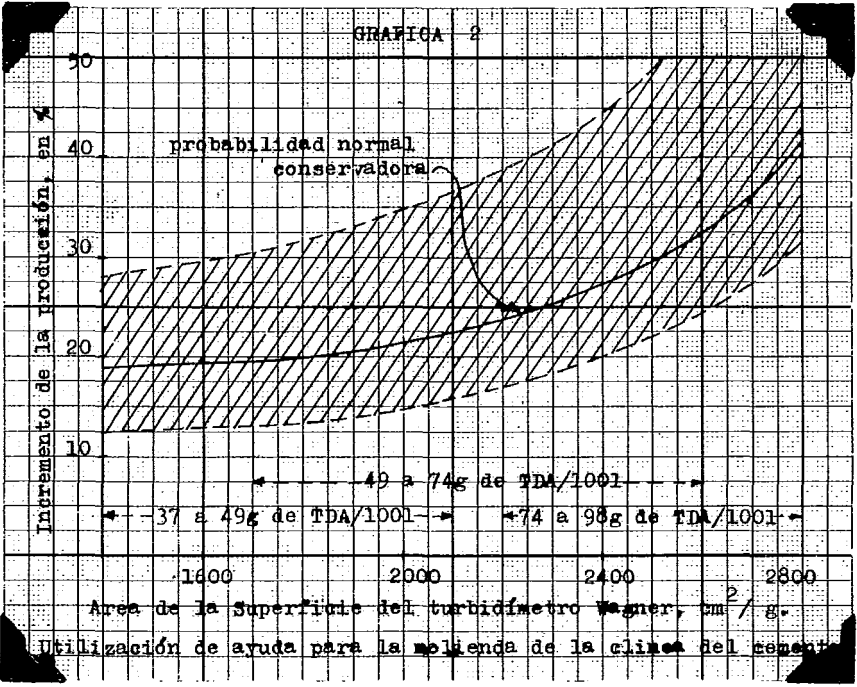
bolos de minerales duros o de dureza media hasta el tamaño correspondiente al tamiz No. 200.

#### AGENTES DISPERSANTES Y AYUDAS PARA LA MOLIENDA.

Molienda Húmeda. El grado de finura máxima del producto en las operaciones de molienda en seco es el que se obtiene cuando las partículas empiezan a apelmazarse en los medios empleados para la molienda y en las paredes de las máquinas. La molienda húmeda puede emplearse para dispersar las partículas de modo pueda realizarse una reducción adicional de tamaño, pero en muchos casos no puede utilizarse debido a la floculación de las partículas de un tamaño inferior a unas 10 micras. En la producción de sólidos, los agentes de dispersión más comunmente empleados son: silicatos, fosfatos y ácidos sulfónicos de alkilo y arilo ( tipos Daxad). La función de los agentes dispersantes en el agua se explica por la teoría de doble capa (18). Es muy común el uso de agentes en la industria de pinturas.

Molienda en Seco. La práctica de añadir agentes dispersantes en los circuitos de molienda húmeda tiene su equivalente, que se conoce con el nombre de empleo de ayudas para la molienda, para la pulverización y la desintegración en seco. Se emplean materiales como: RDA( ácido sulfónico de alkilo-arilo), TDA (una mezcla de sales de trietanolamina y sales solubles de calcio de ácidos sulfónicos de lignina modificados) para pulverizar materias primas y el cemento terminado respectivamente . (19) Para el mismo grado de finura ( superficie específica) la producción es 20 a 40 % mayor cu

GRAFICA 2



do se utiliza "DA. Los aumentos máximos se manifiestan cuando en los molinos de bolas que se revisten normalmente del agente, y menores cuando no se manifiesta este fenómeno. El rendimiento del clasificador por aire también mejora con "DA. Existen en general gran cantidad de materiales usados como agentes dispersantes en la molienda en seco: tales como: arena en la pulverización de los esmaltes; resina vinsol, y el estearato de aluminio en la pulverización de la clince del cemento; sales de amonio y la urea en la molienda del grafito; glicerol y la resina de madera en la pulverización del cemento; el ácido oléico en la molienda de la blenda de zinc; agentes volares y no volares en la producción de pigmentos blancos secos.

#### CLASIFICACION Y ELECCION DE MAQUINARIA

Se dispone de gran variedad de máquinas que sólo se diferencian en detalles de diseño o que pueden reunir ventajas características. Las principales razones de la falta de normalización son: la variedad de los productos a moler y las calidades exigidas en los productos, así como la cantidad limitada de datos teóricos sobre la molienda. Además de las propiedades de los materiales, es importante para elegir la maquinaria que haya compensación entre el costo de inversión y el de explotación.

#### Clasificación:

- 1.- Trituradoras o Quebrantadoras
- 2.- Moledoras o Molinos ( o molinos de pulverización)

Los empleos de las moledoras, los pulverizadores, y los desinterradores se traslapan tanto que no es posible distinguirlos, por

lo cual se considera como genérico de todos ellos el nombre de molidor.

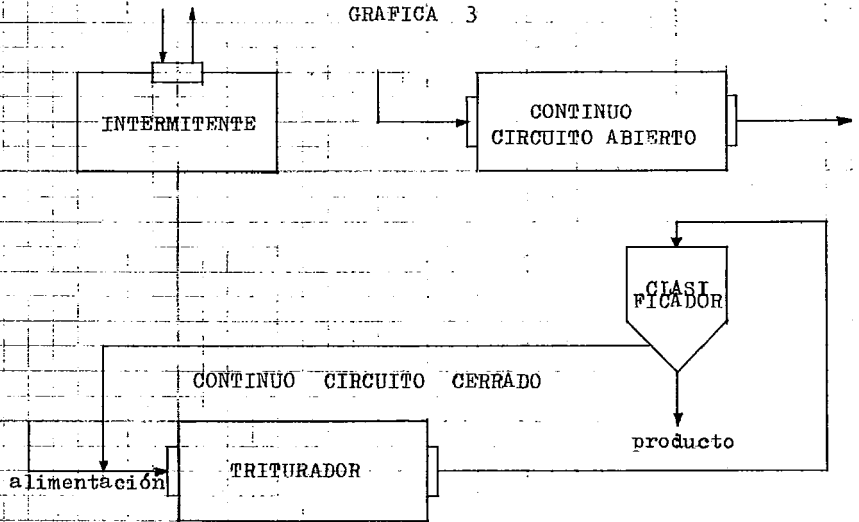
Elección.- Sobre este criterio puede utilizarse como base el tamaño y la dureza del material. Haciendo una distinción arbitraria entre la trituración y la molienda o pulverización, basándose en que los materiales alimentados en forma de terrones de un tamaño de 1500 a 6mm deben quebrantarse o triturarse y los de tamaño menor, se muelen, pulverizan o desintegran. La trituración primaria y secundaria tienen cada una dos etapas, gruesa y fina. La molienda o la pulverización y desintegración se diferencian principalmente por la homogeneidad de los materiales manejados. Hay dos etapas en cada caso. La relación de reducción aumenta en cada operación a medida que disminuye el tamaño y una relación baja de reducción es característica de la trituración. La relación es elevada para la molienda, la desintegración y la pulverización de materiales blandos.

#### REDUCCION DE TAMAÑO COMBINADA CON LA CLASIFICACION POR TAMAÑOS.

Los sistemas de molienda son intermitentes o continuos, casi todas las operaciones son continuas, siendo las excepciones más notables las que emplean molinos intermitentes de bolas o de guijarras. El trabajo continuo puede realizarse en un circuito abierto o cerrado.

Funcionamiento Continuo en Circuito Abierto. Es probable que el producto obtenido en un sistema de circuito abierto tenga una superficie mayor que el obtenido en el de circuito cerrado.

GRAFICA 3



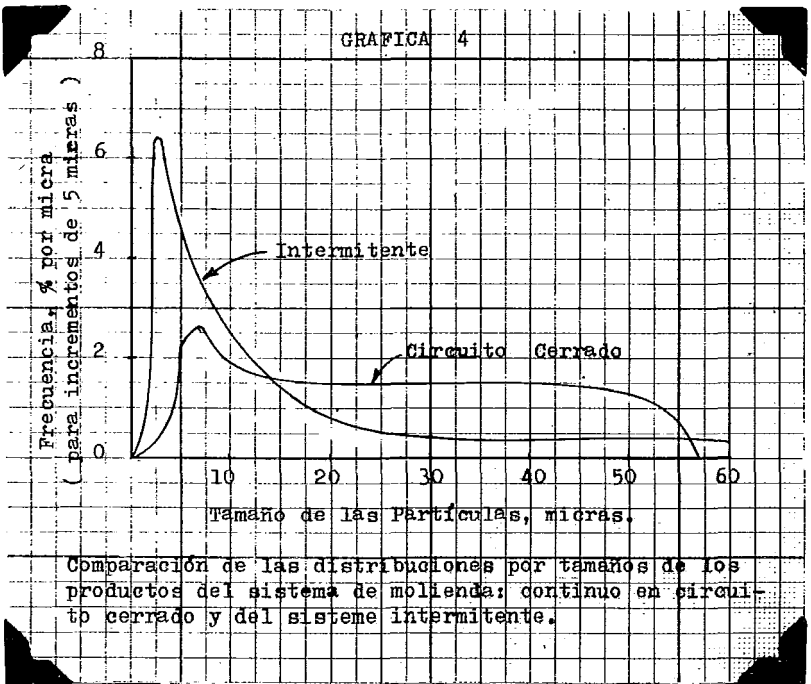
S I S T E M A S   D E   M O L I E N D A

Funcionamiento Continuo en circuito Cerrado.- Casi toda la maquinaria trituradora o moladora puede trabajar en circuito cerrado con clasificadores de tamaños. El material procedente de una máquina reductora se lleva a un clasificador en el cual se separan las partículas grandes y se devuelven a la máquina, y las de tamaño deseado y las menores se sacan como producto, por este procedimiento se obtiene un producto con una distribución de tamaños más uniformes que la que se obtendría con el funcionamiento intermitente o continuo en circuito abierto hasta obtener el mismo tamaño máximo como límite.

La economía en el trabajo es el objetivo perseguido en la pulverización en circuito cerrado hasta satisfacer una especificación límite del tamaño. La intensidad de producción con un tamaño limitado es mayor y la superficie específica es mejor para el trabajo en circuito cerrado que para el trabajo intermitente o en circuito abierto. El material grueso retornado al molino por un clasificador es la carga circulante y su intensidad puede ser del 100 al 1000 % de la producción. Hasta los límites de la capacidad de un molino para pulverizar material sin obstruirse, la producción aumenta cuando crece la carga circulante, pero con un incremento de su intensidad que va decreciendo hasta que esta alcanza un valor constante. En un sistema de molienda en circuito cerrado, el porcentaje de carga circulante se calcula partiendo de los análisis de tamaños del material alimentado, del producto fino y del producto grueso del clasificador.

Hay muchos sistemas posibles para conectar los clasificadores en

GRAFICA 4



Comparación de las distribuciones por tamaños de los productos del sistema de molienda: continuo en circuito cerrado y del sistema intermitente.

un circuito cerrado al equipo de molienda; dependerá del grado de finura deseado y del tipo de maquinaria que se tenga, la gráfica de circulación adecuada sea con molinos de compartimientos así como aparatos separados.

Comparación de la Moliendas Seca y Húmeda Si la presencia de un líquido no presenta ningún inconveniente en el producto terminado o el material alimentado está húmedo o mojado, es preferible por lo general, la molienda húmeda a la seca. En la pulverización en seco hasta tamaños finos, las fuerzas superficiales entran en juego para producir la floculación del material y el fenómeno llamado acojinamiento, con el consiguiente desperdicio de energía. Esto limita la molienda en seco y hace necesaria en muchos casos la húmeda.

Tipos de Clasificadores de Tamaños. Los clasificadores se dividen en dos tipos: por gravedad y centrífugos. Para la clasificación por tamaños se emplean cribas, tamices y parrillas. Las cribas pueden emplearse en la molienda húmeda, pero el aparato más comúnmente empleado es de un tipo hidráulico que clasifica las partículas de acuerdo con su tamaño y densidad (20). Los clasificadores de tamaños tipo centrífugo de sistema hidráulico se utilizan poco; por ejemplo en la fabricación del cemento. Los clasificadores centrífugos de aire se emplean para finuras en las cuales no resultan prácticos los tamices secos, el tamizado en seco no es práctico entre los límites de los tamices No. 35 al No. 100, según la naturaleza del material y producción requerida.

Empleo de los Clasificadores de Tamaños.

a) Independientes: Los clasificadores pueden emplearse independientemente del equipo de molienda para clasificar un material determinado en dos o más fracciones clasificadas entre límites de tamaño más cercanos que los de la alimentación. Puede calcularse el resultado de funcionamiento de tamaños, para uno dado de éstos, entre los límites de tamaño de la distribución del material alimentado, partiendo de un análisis de tamaños de la alimentación y de sus fracciones (21). Si se prepara una gráfica del rendimiento en función del tamaño de las partículas, suele obtenerse un rendimiento máximo en el tamaño de corte, que se define como la dimensión de la partícula alimentada que tiene iguales probabilidades de ir a la fracción fina o a la fracción gruesa.

b) Exterior: En el trabajo en circuito cerrado, el clasificador puede ser un aparato colocado exteriormente al molino pulverizador, en cuyo caso el material se transporta y aleja de él por medio de tampos de elevadores ó tuberías.

c) Interior: Muchas operaciones circuito cerrado unen las funciones de pulverización y clasificador se le da el nombre de interior. La clasificación interior tiene aplicaciones especiales para la molienda en seco; se forma una suspensión del material que se transporta neumáticamente desde el molino.

La diferencia entre la clasificación interior y la exterior es que en el primer caso no puede aislarse o medirse fácilmente la carga circulante.

## REDUCCION DE TAMAÑO COMBINADA CON OTRAS OPERACIONES

Mezcla e incorporación Los molinos de bolas intermitentes con carga de bolas pequeñas se emplean para mezclar o normalizar en seco tintes, pigmento, colores o insecticidas incorporándoles agentes humedecedores y extendedores inertes. La rotación del molino es favorable para muchos tipos de mezcla y la presencia de las bolas contribuye a impedir la centrifugación de la carga y promueve su movimiento lateral. La mezcla de líquidos se facilita empleando una carga de bolas pequeñas. Los molinos de discos y otras máquinas desintegradoras de gran velocidad son útiles para la incorporación intensiva final de composiciones insecticidas, tierra colorantes y gran variedad de materiales finamente pulverizados con tendencia a la aglomeración en los mezcladores cónicos de cinta.

Los molinos con aparatos de clasificación por aire pueden equiparse con acondicionadores de aire circulante mezclándolo con aire o gases calientes o fríos introducidos en el molino o deshumediendo el aire para prepararlo convenientemente cuando se pulverizan materiales higroscópicos. Pueden inyectarse en el molino líquidos -- pulverizados, gases o también una mezcla de aire y vapor para mezclarlos con el material que se pulveriza y efectuar una reacción química o un tratamiento superficial.

### Transmisión de calor

a) Calentamiento y enfriamiento.- Algunos materiales se desintegran más fácilmente a temperaturas elevadas, aunque estén completamente secos, porque se dispersan y fluyen más fácilmente que a

temperaturas más bajas . Los materiales sensibles al calor con bajas temperaturas de reblandecimiento pueden pulverizarse si se regula de una manera adecuada la temperatura. Las composiciones que contienen grasas y ceras se pulverizan y se mezclan fácilmente si se introduce aire refrigerado en los sistemas para su molienda (22)

Los molinos de bolas pueden tener sus envolturas y sus cabezales provistos de camisas para la circulación de líquidos calientes y fríos, y se obtiene una buena transmisión de calor al material que está dentro del molino, siempre que el material no se aglomere sobre las superficies calefactoras.

b) Deshidratación.- Este término se emplea para indicar la eliminación de agua combinada al mismo tiempo que la humedad al estado libre; por ejemplo, la separación del agua de cristalización del  $\text{Cu SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Esto se logra introduciendo gases calientes en el sistema de pulverización en circuito cerrado.

c) Deseccación .- Existen bastantes materiales que pueden pulverizarse mejor cuando estan secos y la introducción de aire en el sistema por transporte, o clasificación por ra aumentar la productividad al equipo. La deseccación de materiales mientras se pulverizan se conoce con los nombres de deseccación instantanea o deseccación por dispersión. Un término generico es de deseccación por transporte neumático. El método para acondicionar el aire utilizado para calentar, enfriar, deshidratar o secar es el mismo, tanto si el molino es de bolas como de rodillos y anillo o de martillos.

Tratamiento Los molinos de bolas y guijarros, intermitentes o continuos, ofrecen bastantes oportunidades para combinar diversas etapas de tratamiento que incluyan la molienda (23)

Es posible desecar y pulverizar a vacío materiales sensibles al calor; realizar reacciones químicas y transformaciones físicas; ejecutar, en etapas sucesivas, operaciones, de agitación, evaporación reacciones químicas, desecado y pulverización. Por ejemplo, los materiales fibrosos, pueden soltarse por molienda seca, impregnarse con resina líquida caliente, secarse después a vacío, enfriarlos para aumentar su friabilidad, pulverizarlos y descargarlos en forma de un polvo fino y seco para moldeo.

Limpieza y concentración. La separación de impurezas mediante la combinación adecuada de pulverizadores y clasificadores recibe el nombre de limpieza o concentración. Las partículas gruesas, que no se pulverizan fácilmente, se separan con cribas de las partículas finas del componente que se pulveriza con facilidad. Algunos molinos tienen cajas separadoras del desecho para recoger el material extraño de tamaño excesivo. Con frecuencia se emplean separadores magnéticos para eliminar los trozos de hierro que pueda contener el material alimentado a los molinos de martillos y discos de gran velocidad.

Puede separarse la arena de la arcilla y las impurezas refractarias de la cal hidratada los diversos óxidos de plomo, cobre y otros metales contienen a menudo una cierta cantidad de material no oxidado. Cuando se introduce esos materiales en un sistema de

pulverización y clasificación con aire, el óxido, relativamente blando, queda reducido a polvo fino y se separa del metal.

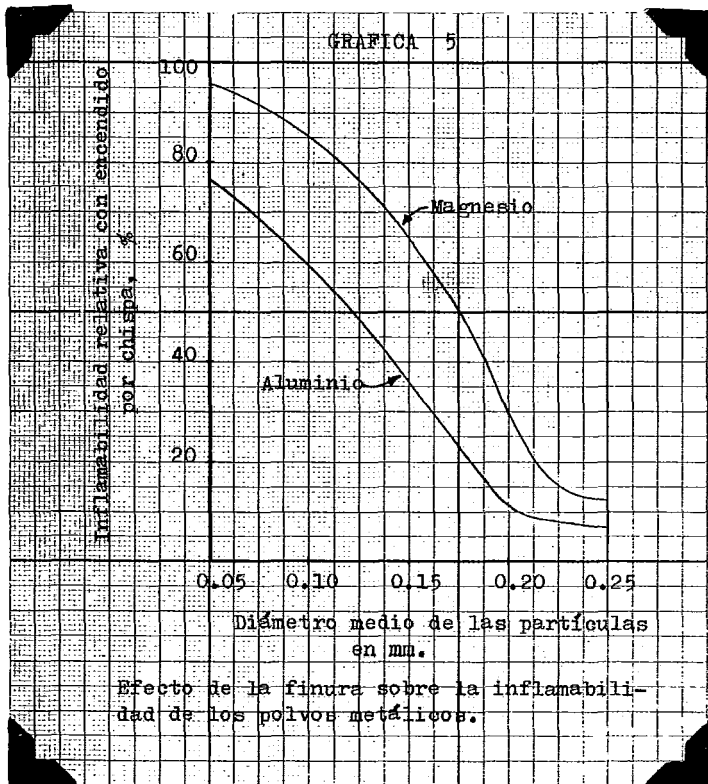
Se puede mencionar entre otros casos el uso de este tipo de aparatos en la limpieza y concentración de arcillas, carbonato cálcico, margas, cal y algunas arenas fósforicas.

La seguridad o eliminación de accidentes.

a) Polvos metálicos.→ Estos representan un peligro por su inflamabilidad, su combustión se favorece durante la molienda, en la cual se emplean molinos de bolas, de martillos o de rodillos y anillo, y en ella puede alcanzarse una temperatura elevada. Serán precauciones útiles en estos casos el aislamiento de los molinos, el uso de materiales de construcción que no produzcan chispas y de separadores magnéticos para eliminar del material alimentado los materiales magnéticos extraños(24).

Muchos polvos metálicos finamente divididos en suspensión en el aire, constituyen un peligro potencial de explosión y las causas de la ignición de estas nubes de polvo son numerosas (25). La concentración del polvo en el aire y el tamaño de sus partículas son factores importantes de su explosibilidad. Por debajo de la concentración límite inferior no puede producirse explosión porque el calor de combustión es insuficiente para propagarla. Por encima de una concentración límite máxima no puede producirse explosión porque el oxígeno disponible es insuficiente para propagarla. Cuanto más finas sean las partículas, más fácilmente se producirá la inflamación y mayor será la rapidez o intensidad de la combustión.

GRAFICA 5



Efecto de la finura sobre la inflamabilidad de los polvos metálicos.

b) Polvos no metálicos.- Los materiales como el azufre, el almidón, el polvo de madera, el de cereales, la dextrina, el carbón, el alquitran, la ebonita y los plásticos; son peligrosos potenciales cuando están finamente divididos. Pueden iniciarse las explosiones y los incendios a consecuencia de descargas de electricidad estática, de chispar procedentes de llamas, de superficies calientes y por combustión espontánea ( 26 ). La reducción del contenido de oxígeno en los sistemas de pulverización; por abajo del 12% será suficiente para la mayoría de los materiales y del 8% para el azufre.

El empleo de un gas inerte funciona muy bien en los clasificadores por aire; pueden usarse también gases de combustión. A pesar de la protección que proporciona el uso de un gas inerte, deben tenerse en el equipo ventosas para casos de explosión y la construcción se proyectará con las salidas correspondientes.

La ebonita, muchas resinas sintéticas y muchos plásticos son peligrosos en estado finamente dividido ( 27 ).

#### DESCRIPCION DE LAS MAQUINAS TRITURADORAS O QUEBRANTADORAS

Machacadora o trituradora de mandíbulas. Estas máquinas se dividen en tres grupos principales: La Blake, con mandíbula o quijada móvil, que pivota en su parte superior y proporciona el máximo de movimiento a los trozos o terrones más pequeños; La Dodge, con la mandíbula móvil pivotada en su parte inferior, que proporciona el máximo movimiento a los trozos o terrones grandes; y modificaciones de las dos, que proporcionan un movimiento casi igual a los dos tamaños.

El tipo Dodge tiene la ventaja de una mayor boca de alimentación, a igualdad de costos, que la Blake, y es útil para servicio intermitente de baja producción cuando se quiere obtener un producto uniforme, partiendo de tamaños menores que la boca alimentadora de 28 x 38 cm.

La puesta en punto de una trituradora de mandíbulas, se realiza estableciendo en el extremo de salida las separaciones ancha y estrecha, entre las mandíbulas que convengan.

Los principios en los que se basan los modelos de mandíbulas llamados "Fine Reduction" (Allis-Chalmers y Kue-Ken), corresponden a la tercera categoría. La quebrantadora basada en el primero de estos principios es una máquina de una sola placa articulada, que tiene su mandíbula oscilante montada directamente sobre el eje excéntrico; de modo que recibe un movimiento descendente al mismo tiempo que de avance. La quebrantadora Kue-Ken de mandíbulas equilibradas, tiene dos de éstas opuestas que oscilan ambas libremente como dos péndulos. El material se tritura sin rozamiento cuando las mandíbulas se mueven, la una hacia la otra.

Existen otros tipos de trituradoras que reúnen o asocian las características de los tres grupos mencionados ó con modificaciones sobre éstos; pudiendo mencionar; la tipo H ( Taylor), la ti HB; que va equipada con un Bulldog Pitman, y todas las variantes de la machacadora de mandíbulas universal, que es una combinación de los tipos Blake y Dodge.

a) Distribución por tamaños del producto obtenido en una trituradora

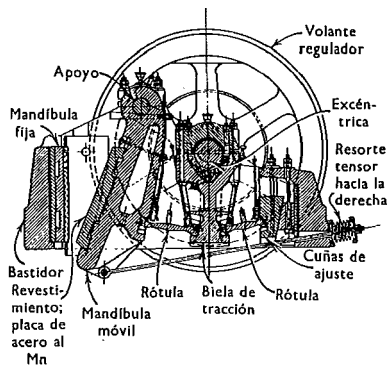


Figura No. 1 Sección transversal de un quebrantador de mandíbulas, tipo Blake. ( Allis-Chalmers Mfg. Co.)

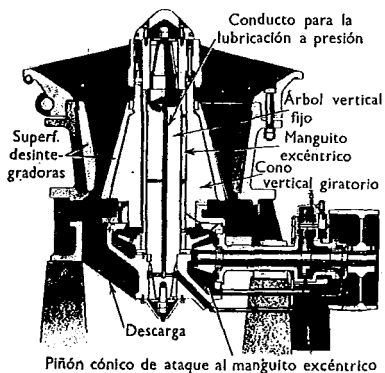


Figura No. 2 Sección transversal del quebrantador giratorio Telsmith por ciñallamiento. ( Smith Engineering Works. )

dora.- Algunos fabricantes de maquinaria han preparado gráficas - para las trituradoras de mandíbulas, giratorias y de rodillos, basados en la práctica de poner en punto la machacadora de modo que el 15% del producto sea mayor que el tamaño específico; dichas gráficas muestran la distribución aproximada por tamaños que será probable en el producto.

#### Trituradoras giratorias.

a) Diseño.- La envoltura de una trituradora giratoria primaria - tiene la forma de dos troncos de cono colocados con sus bases más estrechas en el centro. La trituración se hace en la parte superior, mientras que la mitad inferior aloja los mecanismos impulsores, - la excéntrica, etc. Los tipos primarios y secundarios o de reducción de las trituradoras giratorias se distinguen porque el cono superior de las últimas, si existe, es simplemente una boca receptora con los mecanismos quebrantador e impulsor en la envoltura inferior. Los tres tipos generales de trituradoras giratorias son los siguientes: de eje suspendido, de eje soportado, y de eje fijo. Las trituradoras giratoria primarias se designan por las dimensiones - de la boca de alimentación y las secundarias de reducción por el diámetro de la cabeza.

b) Funcionamiento.- La excéntrica del extremo inferior comunica al eje, sobre el cual está montado un cabezal, un movimiento giratorio; esto hace que el cabezal y su caperuza se acerquen ó se alejen de las superficies cóncavas del miembro giratorio, quebrantando el material alimentado en su recorrido descendente. En el ex -

tremo de salida, la abertura varía entre una estrecha y otra ancha entre la caperuza y el anillo cóncavo. La abertura ancha corresponde y se llama "puerta en punto" del lado ancho o abierto, mientras que la abertura estrecha corresponde y se llama "puerta en punto" del lado estrecho o cerrado. Las especificaciones suelen basarse en la puerta en punto del lado cerrado y es regulable.

c) Resultados del funcionamiento.- La rapidez de trituración de una máquina giratoria no depende por lo general de la dureza del material, sino de la cantidad del, material del tamaño del producto final que contenga la alimentación. Las trituradoras giratorias se usan para la trituración primaria con grandes capacidades o para seguir a trituradoras primarias del tipo de mandíbulas o del giratorio.

Entre los tipos y marcas existentes se pueden mencionar: la trituradora del tipo R ( Allis - Chalmers ) con dispositivos hidráulicos y renovación automática; la "Fine Reduction" de múltiples etapas (Taylor), la Superior McCully, que se construyen en tamaños; las trituradoras del tipo R; las del tipo T Bulldog ( Taylor) que se usa para trituración primaria y secundaria, la trituradora de reducción de tipo TY, Gearless, y las Telesmith; todas éstas con un variado número de especificaciones y tamaños.

#### Trituradoras de Comos.

a) Diseño y funcionamiento.- El com o cabezal cónico, que gira por medio de una excéntrica impulsada por engranajes y una contramarcha, está soportado desde su base. Gruesos resortes mantienen fija la arrojón superior; cuando la máquina se obstruye o estran -

cula por alineación de tamaño excesivo o por la entrada de un trozo de hierro, los resortes permiten que sobre la armazón superior en el punto en el que se produce la obstrucción de modo que el material pueda descargarse. El cabezal cónico gira de manera muy semejante al de las trituradoras giratorias, pero el cono recorre una distancia mayor y gira más aprisa. El material recibe una serie de rápidos golpes a su paso por la cavidad trituradora.

b) Resultados de funcionamiento.- La trituradora de conos es una máquina secundaria o reductora. Los dos tipos comunes son la Symonis y la TelSmith. Además de la trituradora Standard, se dispone de trituradoras de conos de cabezal corto Symons para una reducción aún mayor del tamaño.

#### Trituradoras de Cubeta o Paila.

a) Diseño y funcionamiento.- La trituradora de cubeta o paila o de muelas verticales, consiste en una o varias ruedas trituradoras o muelas que giran en una cubeta; está puede permanecer fija mientras las muelas giran sobre ella, o bien puede girar, haciendo girar las muelas por rozamiento. En algunos tipos las muelas son de piedra; en otros son de piedra o de hierro provistas de llantas de acero.

b) Resultados de funcionamiento .- La trituradora de cubeta en seco es útil para triturar materiales blandos o de dureza media, como arcillas, esquistos, cenizas y minerales blandos como las barítas. Pueden obtenerse productos más finos haciendo trabajar la trituradora en circuito cerrado con un tamiz vibrante. Son características propias de las trituradoras de cubeta una relación de reducción --

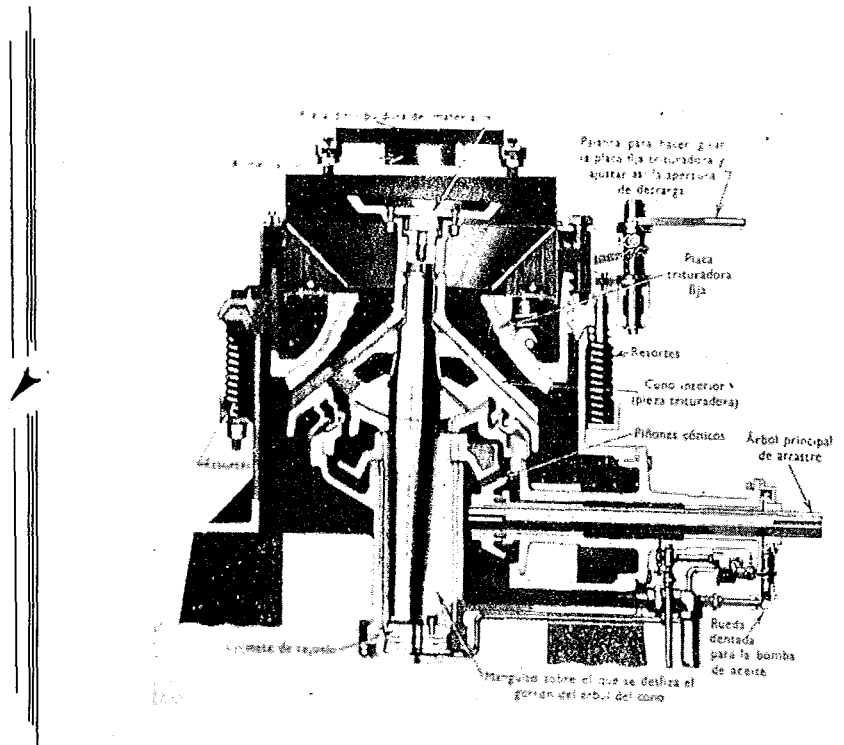


Figura No. 3 Sección transversal de un triturador de cono.

(Nordberg Mfg. Co.)

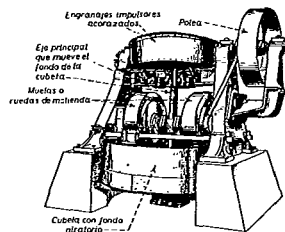


Figura No. 4 Trituradora seca de cubeta o de muelas verticales para servicio rudo (Bonnot Co.)

elevada con un consumo de energía bajo y gastos de conservación pequeños.

Con relación a este tipo de trituradoras podemos hacer mención a la trituradora seca Bonnot de cubeta, en la que puede regularse la distancia entre las ruedas y el fondo de la cubeta.

#### Trituradoras de Rodillos Lisos

a) Diseño y Funcionamiento. Dos cilindros o rodillos del mismo diámetro giran el uno hacia el otro con la misma velocidad. Uno de los ejes se mueve en cojinetes fijos y el otro en móviles. La distancia entre los cilindros es ajustable y potentes resortes mantienen el cilindro móvil a la distancia del cilindro fijo a la que se hay ruesto a punto. Los resortes ejercen sobre los cilindros presiones de trituración de 1260 a 3400 Kg/cm<sup>2</sup>. Pueden ponerse mecanismos automáticos laterales de ajuste para mover el cilindro fijo de un lado a otro para reducir al mínimo la corrosión anular y la formación de rebordes en la masa que se tritura.

El ángulo de mordedura o pasada, esto es, el ángulo formado por las tangentes a las superficies de los cilindros en el punto de contacto de la partícula que se quiera quebrantar, lo da la relación:

$$\cos ( N/2 ) = ( r + a ) / ( r + b )$$

en la cual r, es el radio de los cilindros, a = a la mitad de la distancia entre los cilindros, b = el radio de la partícula y N = ángulo de pasada. El ángulo de pasada varía en las diferentes operaciones, pero pocas veces es mayor de 30°. El diámetro necesario en los cilindros se determina basándose en el tamaño máximo de la ali-

mentación que puede ser pasado sin que resbale cuando es mordido

$$b_{\max} = 0.04 r + a$$

todas las dimensiones suelen indicarse en centímetros. La velocidad periférica con que trabajan normalmente los cilindros está entre 60 y 360 m/min, llegando a veces a 450 m/min. El intervalo económico de reducción está limitado por lo general a un producto que pasa entre los límites de los tamices del No. 12 y del No. 16. Para triturar material grueso, la velocidad de los cilindros debe ser menor que para los materiales finos. Con materiales duros, la relación de reducción no debe ser mayor que 4. Con trozos grandes de materiales duros se obtienen mejores resultados con relaciones de reducción de 3 a 2.5; sin embargo para material de alimentación pequeño, de un tamaño aproximado de 1/3 a 1/4 del que puede ser mordido o pasado por los cilindros puede emplearse una relación de reducción 8

La capacidad aumenta con la longitud y el diámetro de los cilindros. Cuando la separación entre estos se mantiene bien llena, la trituración se realiza no solo por la acción de los cilindros sino también por frotación entre las mismas partículas. Esto se denomina trituración por estrangulación. En la trituración libre se alimentan los rodillos con una velocidad tal, que cada partícula es triturada y pasada antes que sea mordida la siguiente. La trituración libre produce una proporción mayor de tamaños gruesos y es por lo general más ventajosa, mientras que se recurre a la tri-

turación por estrangulación para obtener un producto fino si no se encuentran otros tipos más apropiados de trituradoras.

La capacidad de funcionamiento de los cilindros está dada en razón directa del ancho y de la velocidad periférica:

$$C = T W S / 10^6$$

siendo C = capacidad, m<sup>3</sup>/min; T = distancia entre los cilindros, cm; W = anchura de los cilindros, cm; y S = velocidad periférica, cm/min. Esta relación da la capacidad teórica, y debido a la irregularidad del material puede la capacidad real variar en un 25 a 30% de la teoría.

b) resultados de funcionamiento.- Existen gráficas que pueden utilizarse para averiguar los tamaños de los cilindros lisos, las capacidades, las velocidades y la potencia necesaria para las condiciones de trabajo de tipo medio en que funcionan los cilindros; y aunque éstas gráficas se basan en años de experiencia práctica han de considerarse aproximados los resultados para casos particulares.

#### Trituradoras de cilindros corrugados dentados.

A) Diseño y funcionamiento.- Estos términos se usan para describir diversas máquinas que consisten en uno ó varios cilindros que giran en un plano horizontal. Los cilindros pueden ser dentados o corrugados, sus diámetros iguales o distintos; y pueden girar a la misma velocidad o con velocidades diferentes. Los cilindros trituradores pueden estar provistos de camisas templadas de diseño variado: corrugadas, ranuradas o lisas. El tamaño del material ali-

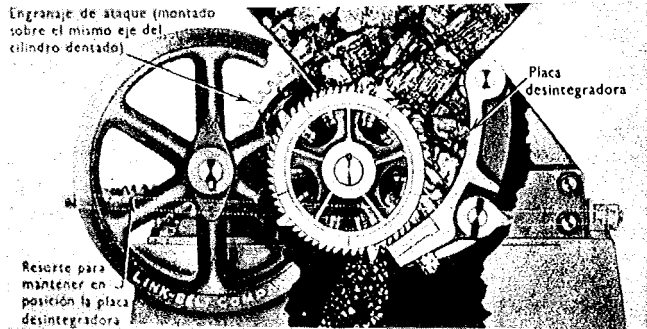


Figura No. 7 Sección transversal representativa del trabajo de un quebrantador de rodillo dentado ( Link-belt Co.)

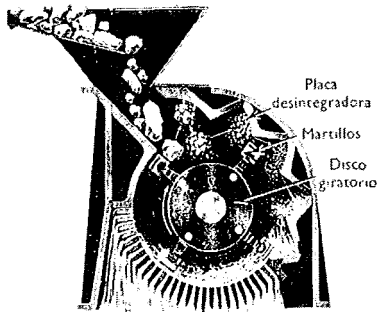


Figura No. 3 Sección transversal de un molinó de martillos, en funcionamiento ( Allis-Chalmers Mfg. Co.)

mentado a otra de cilindros corrugados o dentados del mismo diámetro de éstos.

b) Resultados de funcionamiento.- La trituradora Fairmount de un solo cilindro es apropiada para triturar trozos de piedra laminar y formaciones sedimentarias en las cuales los planos de estratificación producen piedras irregulares en lugar de cúbicas cuando se extraen de la cantera. Los materiales blandos, como calizas, dolomitas, rocas de fosfatos; son materiales de alimentación adecuada para esta trituradora. Si la capacidad ha de ser mayor o el tamaño del producto tiene que ser menor, las trituradoras de 2 ó 4 cilindros proporcionan un producto de tamaños más uniformes.

El efecto que produce la trituradora de dientes de sierra es de degarramiento mas bien que de compresión, lo que conduce a un mínimo de calentamiento, a producir menos finos y a un consumo algo menor de potencia. Sus aplicaciones comprenden el tratamiento de las tortas de los filtros prensas, los plásticos fenólicos, las láminas de celulosa alcalina, el naftaleno, el azufre, cloruro de calcio y asfalto para la fabricación de losetas.

#### Trituradoras Rotativas.-

a) Diseño y Funcionamiento.- Un eje, por lo general vertical, es solidario de un cono con grandes dientes en la parte superior para la trituración final. La envoltura que encierra el cono tiene dientes correspondientes, la holgura entre el cono y la envoltura es regulable.

b) Resultados de funcionamiento.- Las trituradoras rotativas se

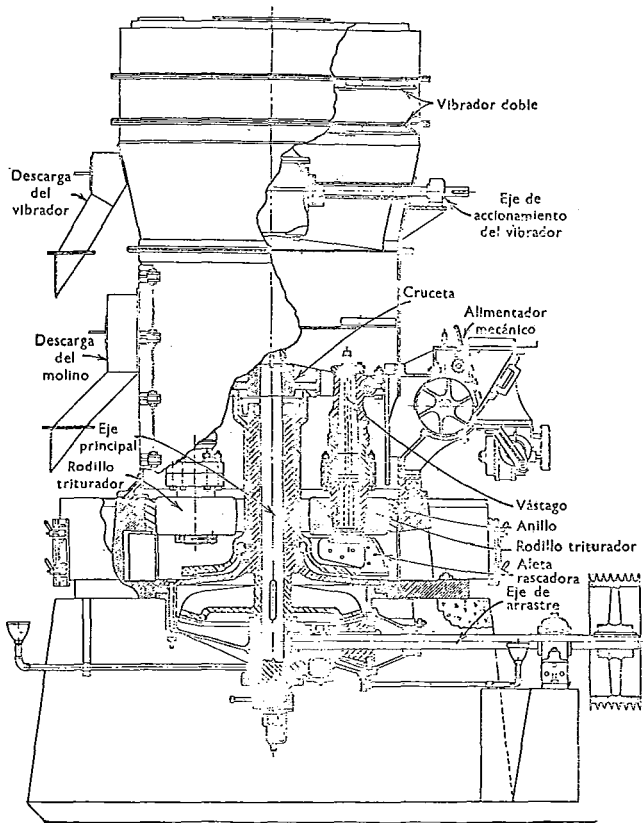
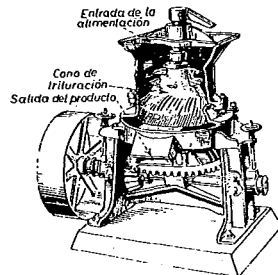


Figura No. 5 Corte parcial de un molino de rodillos pendulares Raymond, con clasificador o separador de aire. (Combustion Engineering Co.)

Figura No. 6 Trituradora Rotaria.

(Bartlett & Snow)



aplican con éxito a la trituración de materiales como la cal viva, yeso, fosfatos naturales, arcillas y tortas de filtros prensa. La trituradora horizontal se usa para materiales friables como: -- cáscaras de coco, sales inorgánicas compactas, brea, colofonia y mica. Todas las trituradoras rotativas no llegan en su consumo de energía a 15 C. V.

Quebrantadora o trituradora de martillos.

A) Diseño y funcionamiento.- Martillos pivotados están montados sobre un eje horizontal y la trituración tiene lugar por el choque de dichos martillos y las placas rompedoras. Debajo del rotor se coloca una rejilla cilíndrica que retiene el material hasta que alcance un tamaño suficientemente pequeño para poder pasar entre sus barras. Algunas quebrantadoras de martillos están construidas en forma simétrica de modo que puede invertirse el sentido de la rotación para distribuir uniforme el desgaste entre los martillos y las placas. El tamaño del producto se regula variando la distancia entre las barras de la rejilla y también alargando o acortando los martillos. La velocidad varía entre 500 y 1800 rpm, según el tamaño de la máquina.

b) Resultados de funcionamiento.- El tamaño de los trozos del material alimentado no debe ser superior a 15 cm para la máquina de 91.5 cm o más pequeñas y no ha de exceder de 30.5cm para las máquinas mayores.

En éste ramo de las trituradoras podemos mencionar a: la trituradora Super-Jumbo, para la trituración de caliza. El Impactor (Pennsylvania Crusher), que es una quebrantadora reversible de mar-

tillos sin rejilla o jaula de descarga. Se emplea para la reducción del tamaño de grandes tonelajes de roca para cemento, caliza y esquisto. La trituradora American Ring, que posee un rotor con anillos trituradores sueltos, mantenidos hacia afuera por la fuerza centrífuga y que trituran por choque. Las trituradoras Stedman tipo B, se construyen para servicio pesado, reduciendo en bocamina carbón, caliza, cal en terrones, arcilla, esquistos, baritas y otros materiales semejantes; con muchos materiales es posible triturarlos hasta 6 mm o menos en una sola pasada.

Tratamiento para las partes activas de una trituradora,  
molino o pulverizador

Generalmente las partes vitales o activas de las trituradoras, molinos y pulverizadores son de acero fundido, con un revestimiento de una aleación de acero; que pueda no verse afectada al esfuerzo de choque y resistente al desgaste por rozamiento; entre las aleaciones más usuales podemos mencionar el acero duro al manganeso ( 1.5 a 2.0 %), No. AISI o SAE = 13 xx . Dicho contenido de manganeso puede ascender en casos de que la aplicación así lo requiera hasta un máximo de 13% .

El acero al cromo-níquel, tiene también aplicación como tratamiento de esas partes activas de las trituradoras o molinos; por ejemplo los números de los catálogos AISI o SAE , 31xx y 33xx. El número 31 xx : níquel (1.1 a 1.4%), cromo ( 0.55 a 0.9 %) y el número 33xx : níquel ( 3.25 a 3.75 %), cromo ( 1.40 a 1.75%) .

La cantidad en carbono existente en estas aleaciones

es bastante baja, por el orden de 1% .

Así por ejemplo en la pulverización del talco y la esteatita con molinos de tubo, estos se tratan mediante un revestimiento de sílice y porcelana.

Los revestimientos de los molinos de bolas son reemplazables y suelen construirse con aceros especiales ( como los ya mencionados ) . También se utilizan para dichos revestimientos materiales tales como el caucho, fundiciones de hierro, cerámica y rocas duras.

En todo caso el tratamiento de esas partes activas de las máquinas para disminuir el tamaño, deberá tomar en cuenta el producto o material a reducir, para que no exista interferencia o inmunificación del mismo.

#### APLICACIONES INDUSTRIALES DE LOS TRITURADORES

##### Molienda de cereales y otros productos vegetales.

a) Harinas y alimentos.- Para moler trigo y centeno y convertirlos en harina de alta calidad, el molino más empleado es de rodillos o de anillos y rodillos y el de cilindros. Los rodillos acanalados se emplean para triturar granos, separar el salvado y moler maíz. Para obtener los mejores resultados la alimentación debe ser regular, continua y uniforme de un extremo a otro del rodillo. Se hacen rodillos o cilindros con diversos tipos de corrugaciones. Son de uso general dos tipos estándares de corrugados: El romo y el azulado, empleándose el primero principalmente para trigo y cen

teno y el segundo para maíz y alimentos molidos bastante sin cernir.

La industria molinera de cereales produce un gran variedad de (cereales) productos, además de la harina de trigo, como alimentos molidos bastante sin cernir, harina de maíz, harina de graham (acemite), sémolas de cebada, avena, centeno, trigo sarraceno y maíz y harina integral de trigo. Además de los molinos de rodillos o cilindros, se emplean mucho los de muelas horizontales y los de frotación, particularmente cuando se muele el grano integral.

b) Soja, Tortas de soja y otras tortas prensadas.- La molienda de las semillas de soja sigue aproximadamente la misma técnica que la de los granos. Pueden emplearse molinos de rodillos, secadores y cernidores en forma de tambor.

El método empleado para moler tortas prensadas depende de la naturaleza de estas, su pureza, su contenido de aceite residual y su contenido de humedad. Muchos de éstos materiales se tratan en molinos de martillos, en especial cuando no es necesaria una reducción fina.

c) Polvo de cacao.- La torta que sale de las prensas contiene por lo general del 15 al 25% de grasa. Se emplean molinos de martillos en circuito cerrado con clasificadores de aire externos. Los molinos se barren con aire helado y también se introduce aire refrigerado a la entrada del ciclón recolector del producto

d) Almidón y otras harinas.- La molienda del almidón no presenta dificultades particulares, pero hay que tomar precauciones con-

tre las explosiones.

Cuando es necesario obtener un producto de finura media, se emplea el molino de martillos del tipo criba. Para productos más finos se usa el pulverizador de martillos con un clasificador por aire.

e) Heno y otros forrajes.- El heno suelto, los frijoles aterciodelados, la alfalfa, el forraje de maíz, la paja de los granos y otros rastos; se muelen en molinos de martillos equipados con cribas.

f) Frutas y hortalizas secas.- La pulverización de frutas y hortalizas es afectada considerablemente por la humedad residual y por el proceso de desecación empleado. Los molinos de uso más general son los de martillos oscilantes con cribas de ranuras o perforaciones o con jaulas de barras.

#### Minerales Metalíferos

Su molienda constituye uno de los principales problemas en la práctica de su preparación y es una de las partidas importantes del costo. La práctica moderna de molienda implica el principio del circuito cerrado y debe tenerse esto en cuenta en los procedimientos de ensayo de la moliabilidad de los distintos minerales.

Se emplean muchos los molinos de rodillos, los de cabillas y los de bolas. La mayoría de los minerales son heterogéneos; y cuando se muelen en circuito cerrado en molinos de bolas, las fracciones más blandas se reducen más rápidamente que las más duras, haciendo que aumente la cantidad de las últimas en la carga circulan

te. El molino de rodillos o cilindros tiende a moler los materiales heterogéneos estableciendo tales diferencias que las porciones -- blandas las muele más aprisa que las duras. Los molinos de cabillas o barras actuando sobre un material homogéneo dan un producto semejante al de un rodillo triturador, faltando los finos que de ordinario producen los molinos de bolas. Esta característica permite una reducción a las pérdidas de mineral debidas a la formación de fangos y permite una mayor recuperación, especialmente en los intervalos de tamaños correspondientes a los tamices # 10 a 40.

#### Minerales no Metálicos.

La molienda seca es la de uso más general; se recurre a la molienda húmeda, cuando hay que eliminar determinadas impurezas como óxido de hierro o arenilla fina, y cuando el lavado comunica ciertas características convenientes al producto acabado. El sistema de molienda húmeda y clasificación elegido depende de la naturaleza del material. Los materiales muy duros se muelen en molinos de bolas con clasificadores hidráulicos, llevándose después el producto a un filtro y a un secador. Después de secas, las tortas se trituran por lo general en un desintegrador. La elección de la maquinaria depende por lo general de 1, la dureza y 2, la posibilidad de contaminaciones. Casi todos los silicatos refractarios se muelen en molinos de bolas y en molinos de tubo o tubulares, en funcionamiento continuo o intermitente. La capacidad de un sistema cualquiera disminuye rápidamente al aumentar la finura del material; esto se aplica particularmente a los materiales no metálicos, en los

que suele exigirse una finura extrema.

a) La sílice y el feldespató.- Se muelen en los molinos revestidos de sílice y con bolas de pedernal. El feldespató para las industrias cerámicas y químicas se muele más fino que para la industria vidriera. En esta como se necesita un espato que no contenga finos, la trituration se hace con rodillos.

Una instalación Hardinge o Glasspar adecuada puede utilizarse, para producir finos o gránulos de los siguientes materiales: cuarzo, pizarra, mármol, corindón carborundo, trípoli, pómez y cenizas volcánicas. Prácticamente todos los silicatos abrasivos se manipulan en molinos de bolas y de tubos seguidos por separadores por aire.

b) El talco y la esteatita.- Se pulverizan por lo general fácilmente, aunque ciertos talcos fibrosos y foliáceos pueden ofrecer una gran resistencia a su reducción en polvo impalpable. El U. S. Bureau of Mines, contiene una excelente descripción de los procedimientos empleados para extraer y tratar el talco y la esteatita. Se emplean molinos de tubo, revestidos con sílice o porcelana. Se emplea muchas veces la molienda en circuito cerrado con clasificadores por aire, también la molienda intermitente. Se trabaja también con molinos de piedras.

c) Arcillas y Caolines.- Un elevado porcentaje de arcillas y caolines se lavan y se flotan en agua, después de lo cual pasan a los filtros prensa, se secan y se desintegran en molinos de martillos, seguidos de una serie de clasificadores por aire. En la mayoría de

las fábricas de ladrillos, azulejos y productos cerámicos, en las que solo es necesario una pulverización relativamente grosera, se emplean trituradoras de paila o cubeta, húmedas o secas y molinos de martillos oscilantes. Cuando es necesario tratar químicamente la arcilla, se muele por lo general húmeda. En la actualidad la tendencia es de moler en seco las arcillas que no requieren ningún tratamiento químico.

d) Carbonatos y sulfatos no metálicos.- Los carbonatos no metálicos incluyen: la caliza, la calcita, el mármol, las margas, la creta, la dolomita y la magnesita; los sulfatos más importantes son: la baritina, la celestina, la anhidrita, y el yeso; estos materiales se emplean para su molienda, tanto húmeda como seca, según el caso y con previo tratamiento o directamente: molinos de anillos y rodillos. Cuando el material es muy blando, como sucede con la baritina de buena calidad las capacidades pueden ser de 25 a 35% mayores que para la caliza con varios grados de finura. De los carbonatos, la magnesita es por lo general la más difícil de moler, su molienda es semejante a la del espato fluor o sea que primeramente se calcina y luego se pulveriza, con procedimientos semejantes a los de la cal viva.

e) Espato fluor.- Se utiliza para su molienda generalmente molinos de anillos y rodillos; como el Raymond, con un consumo total de energía de 2 50 C.V. hr por Tm.

f) Asbestos y mica.- La elección de un triturador de asbestos depende del tamaño de la fibra que se desee obtener, es decir, una fibra larga o una corta. La trituración se hace por etapas lentas, con el fin de conservar en la medida de lo posible la longitud de la fibra.

Los trituradores primarios empleados suelen ser del tipo de mandíbulas, con otros trituradores secundarios también de mandíbulas. Se emplean también pequeños rodillos corrugados u ondulados. En algunas calidades quizá sea necesaria una tercera reducción. Después de secos triturados al tamaño de unos 50 mm, los trozos de asbesto pasan a las máquinas llamadas fibradoras, que reducen la roca, ponen en libertad la fibra y la dividen en fibras finas y gruesas.

Es frecuente pulverizar el asbesto. Tal sucede cuando se utiliza para hacer productos moldeados. La pulverización suele realizarse haciendo pasar el material por una serie de molinos de muelas o utilizando un molino de gran velocidad con criba y un sistema de transporte por aire.

Las micas, consideradas como una clase, son difíciles de reducir a polvo fino; sin embargo, una excepción es el esquistos desintegrado en el que la mica se presenta en forma de minúsculas hojuelas. La mica se pulveriza húmeda o seca; el producto molido húmedo es mejor porque conserva su brillo en alto grado. Cuando se muele húmeda, se la hace pasar primero por cribas giratorias, con una corriente continua de agua; luego se la muele a velocidad lenta en molinos de muelas verticales con rascadores de madera y se clasifica después de seca haciéndola pasar por una serie de cribas en forma de tambor, la última de las cuales es de unas 200 mallas/pulg.

Para la molienda en seco se emplean por lo general molinos de martillos provistos de un sistema de transporte por aire.

Industria de los Fertilizantes.

Muchos de los materiales utilizados en la industria de los fertilizantes son productos pulverizados como los que sirven para - proporcionar calcio, fósforo, potasio y nitrógeno. Los de uso más corriente por su contenido de cal son: la caliza, las conchas de - ostras, las margas, la cal viva y en menor grado el yeso.

a) Conchas de ostras y piedra caliza.- Las conchas de ostras y la cal calcinada para fines agrícolas, se muelen en molinos de martillos.

b) Fosfatos.- Los fosfatos naturales se pulverizan por lo general con dos fines principales: para su aplicación directa al suelo del terreno cultivado o para su tratamiento con ácido sulfúrico con el fin de convertirlo en ácido o superfosfato, en ácido fosfórico y en diversos fosfatos. Es frecuente el uso de un molino Raymond de anillo y rodillos equipado con clasificación interna de aire o con clasificadores separados o externos por aire.

c) Las sales inorgánicas.- raras veces requieren una pulverización fina, pues con frecuencia se aterronan. En tal caso se pasan por un molino de doble jaula o uno de martillos con la criba o las barras de la jaula quitadas.

d) La escorias básicas.- Se utilizan a menudo para proporcionar fósforo. su resistencia a la molienda depende mucho de la forma en que se hayan enfriado. Las escorias enfriadas lentamente se muelen molterse con mayor facilidad. El método más general es el de emplear un molino de bolas, seguido de otro de tubo o de uno de compartimientos. Ambos sistemas se ponen en circuito cerrado con un clasi-

ficador por aire.

Industrias del cemento, la cal y el yeso.

a ) Cemento Portland.- Se fabrica por vía húmeda o seca. en el primer procedimiento, el material se seca antes de molerlo, luego se calcina y la clinca obtenida se pulveriza. En el procedimiento por vía seca se hace la trituración en molinos giratorios, de mandíbulas, de martillos y de anillo y rodillos.

b) Molienda en circuito cerrado de clinca de cemento.- Para esto se utiliza un molino Combe con dos clasificadores. El subtamano procedente de la primera criba va al primer clasificador, que se para los finos, que van al cuarto compartimiento, y las colas, que se envían al segundo, descargando éste último al segundo clasificador. En este se separan dos productos: finos para el 4º compartimiento y colas para el tercero.

Se ha averiguado que el tiempo para fraguar y la resistencia de muchos cementos varían según la finura alcanzada en la molienda del cemento.

La superficie específica del cemento se determina por medio de un turbidímetro, generalmente del tipo Wagner. El área superficial de un producto pulverizado se va determinando cada día con más frecuencia en la pulverización de muchos otros minerales. Por supuesto, un producto no debe molerse hasta tener una superficie mucho mayor que la absolutamente necesaria pues la energía necesaria para la pulverización y la clasificación aumenta en mayor proporción que se aumenta el área superficial.

c) La cal.- Para fines agrícolas se muele por lo general en molinos de martillos. Cuando se desea obtener un producto fino, como sucede cuando se destina a la edificación o a la fabricación de productos químicos, se emplean molinos de rodillos y anillo, de bolas y ciertos tipos de los de martillos. Los molinos de anillo y rodillos con clasificador de aire producen cal viva, para emplearla en la industria del azúcar de remolacha.

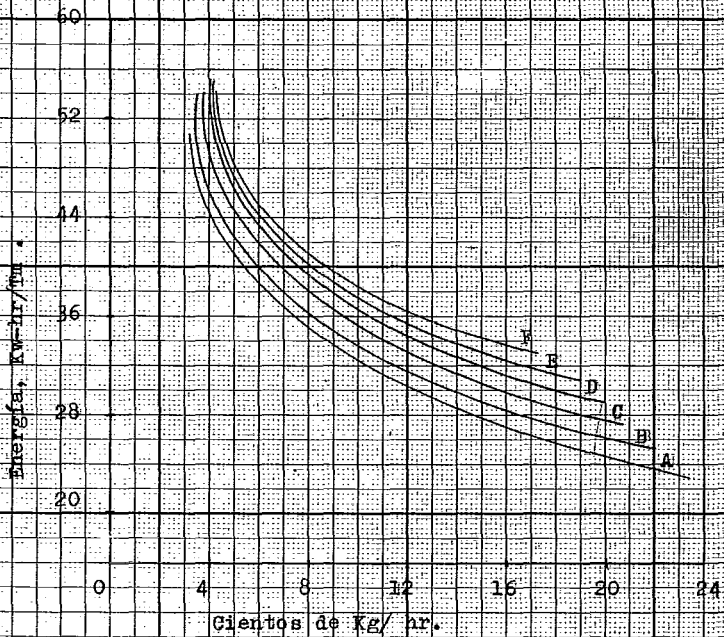
b) El yeso.- Se calcina por lo general en calderas o calcinadores rotativos, después de reducirlo a una finura que varía entre el 75 y el 95 a 98% pasando por el tamiz No. 200. Se emplean molinos del tipo de rodillos y anillo, provistos de clasificación de aire, y algo menos los de bolas, aunque en muchas instalaciones antiguas se emplean todavía molinos de muelas horizontales.

#### Carbón, coque y otros productos carbonáceos

a) Carbón bituminoso o hulla grasa.- Las características de los carbones bituminosos, desde el punto de vista de su pulverización son afectados por las impurezas que contienen, como cenizas, pizarra, grava, arena y bolas de azufre. La molibilidad de un carbón se averigua pulverizándolo en un molino normalizado de laboratorio y comparando los resultados con los obtenidos en condiciones idénticas con un carbón elegido como, patrón. (Hargrove, artículo presentado en la reunión semianual del A.S.M.E 1933)

El sistema de soplado y quemado directos en calderas y hornos rotativos está reemplazando al de almacenamiento. Los molinos del ti

GRÁFICA 6



Variación de la energía eléctrica consumida con relación a la capacidad de un molino Raymond Imp de martillos, cuando muele varias calidades de carbón bituminoso.

po de bolas, de anillo y rodillos, de cubeta y de bolas y anillos estan rememplazando a las molinos de martillos para el soplado y quemado directo, debido al elevado costo de conservación de los últimos. Como equipos podemos hacer mención en: el molino Kennedy de tubo barrido con aire. El molino de martillos Raymond. El molino Raymond de anillo y rodillos. El molino de taza raymond y el pulverizador B.W. tipo E.

b) La antracita.- Suele ser más difícil de pulverizar que la hulla grasa; se pulveriza por lo general en molinos de bolas seguidos de clasificadores de aire; como ejemplo tenemos un molino Hardinge.

La antracita destinada a la fabricación de electrodos se calcina y el grado de calcinación lo determinan las características de molibilidad. La antracita calcinada se muele por lo general en molinos de bolas, y de tubo o en los de anillo y rodillos, provistos con clasificación de aire. Por ejemplo el molino Raymond de anillo y rodillos, de vista lateral alta.

c) Coque.- Las características del coque desde el punto de vista de su molienda, varían muchísimo. El coque del petróleo, se pulveriza por lo general más fácilmente que el derivado de carbones bituminosos. El coque producido con subproductos es duro y abrasivo, mientras que algunos coques de fundición son muy duros y difíciles de moler. Par ciertas aplicaciones quizá sea necesario producir un gránulo uniforme, con una proporción mínima de finos. Esto se consigue mejor en los molinos de cabillas o bolas en circuito cerrado

El coque del petroleo se pulveriza por lo general para la fabricaci3n de electrodos; suelen emplearse con 6ste fin, molinos de anillo y rodillos con clasificadores de aire y molinos de tubo. Ejemplo: el molino Raymond de anillo y rodillos No. 5057.

d) La brea.- Puede pulverizarse para utilizarla como combustible u otras aplicaciones industriales. En el primer caso el equipo usado es el mismo que el descrito para el carb3n. Las caracteristicas de molienda varían segun su punto de fusi3n, que puede estar comprendido entre 50 y 175<sup>o</sup> C.

e) El grafito natural.- Se divide en tres calidades desde el punto de vista de sus caracteristicas de molienda: en escamas, cristalino y amorfo. El grafito en escamas es por lo general el m3s difícil de reducir a polvo fino y la variedad cristalina es la m3s abrasiva. Se pulveriza generalmente en molinos de bolas, de tubo y de anillo y rodillos con clasificaci3n por aire o sin ella. Para capacidades grandes se usan molinos de bolas, y de tubo; en especial para las variedades de escamas y cristalina.

El grafito artificial se pulveriza en molinos de bolas en circuito cerrado con clasificadores de aire.

f) El negro mineral.- es un esquisto, al que a veces se le llama erroneamente "piedra podrida", contiene una gran cantidad de carb3n y se usa como relleno para pinturas y otras operaciones quimicas. Se pulveriza y clasifica en las mismas instalaciones que el esquisto, la caliza y la baritina.

g) El negro de huesos.- Se muele a veces muy fino para pinturas,

tintas y para usos químicos. Con frecuencia se emplea un molino de tubo o uno Griffin.

h) Los carbones decolorantes de origen vegetal.- No deben pulverizarse demasiado finos; entre los que pasan por el tamiz No. 30 y No. 50 y el tamiz No. 200, como límite superior. Se emplean molinos de bolas, de martillos y de rodillos seguidos por cribas. Cuando este material se usa para filtrar, tiene que utilizarse un producto uniforme de tamaño.

i) El carbón vegetal.- Suele pulverizarse en molinos de martillos con clasificación medio de cribas o por aire. Hay que tomar precauciones para que no se inflame durante la molienda.

j) La gilsonita.- Se emplea a menudo en lugar del asfalto o la brea. Se pulveriza fácilmente y por regla general en molinos de martillos con clasificación por criba o por aire.

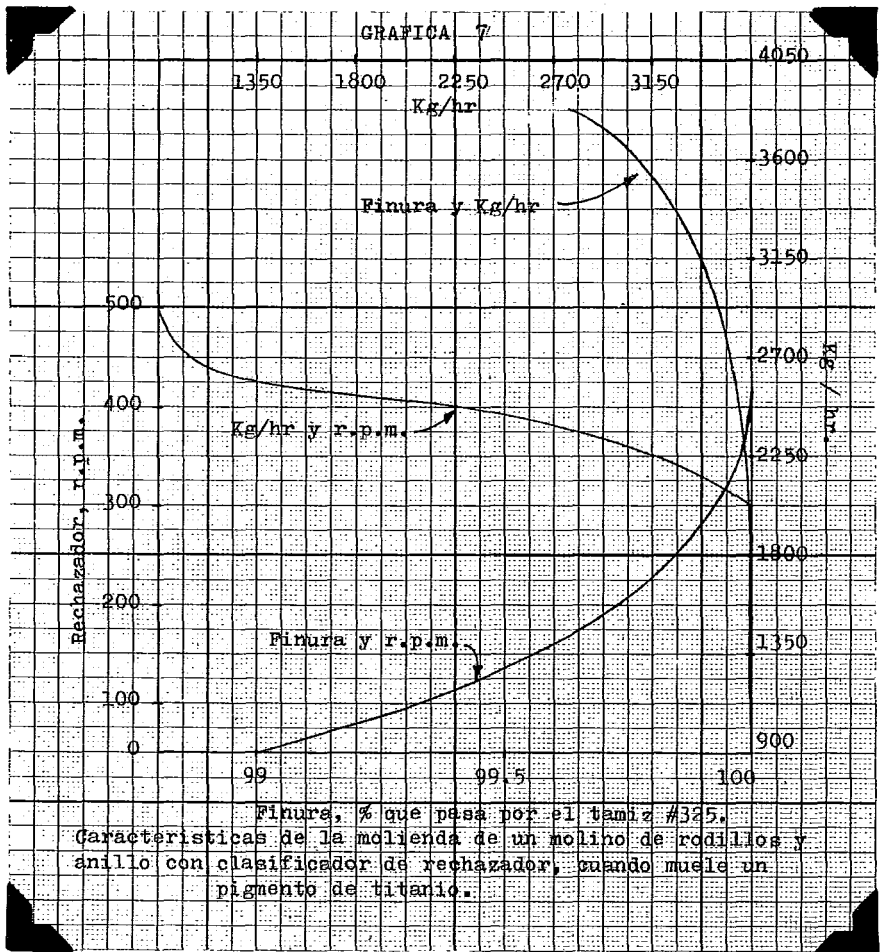
k) Las mezclas de carbón (mezclas verdes).- Se hacen por lo general con harina de coque de petróleo, grafito y negro de humo; mezclados con un aglomerante como la brea, se incorporan a la mezcla disolventes como el benzol. Después de enfriarse, la mezcla se solidifica y casi siempre es necesario volverla a moler; para ello se utilizan molinos de martillos y de rodillos y anillo.

l) Negro de humo.- Cuando es fabricado suele ser muy fino. La pulverización puede hacerse en molinos de bolas de martillos, o de anillo y rodillos, con clasificación por aire o sin ella.

Pigmentos, productos químicos e insecticidas.

La mayoría de los productos químicos, colores secos y tintes,

GRAFICA 7



ofrecen poca resistencia a su desintegración, pero presentan otras dificultades que acompañan a la molienda. La principal de éstas es la aglomeración, o formación de bolas, del material pulverizado. - Los colores y los tintes secos se pulverizan en molinos de martillos. Para producciones muy pequeñas, el molino de jarra o taza de porcelana es el más práctico; pues es más fácil de limpiar cuando se cambia de un color a otro. La mayoría de los colores no se muelen muy finamente en estado seco, puesto que en la última etapa se muelen en húmedo en molinos de piedras o de rodillos, con el vehículo adecuado.

a) Pigmentos blancos.- Algunos de los pigmentos más usuales en la fabricación de pinturas; como el de titanio, se pulverizan en grandes cantidades. para ello se utilizan grandes molinos de anillo y rodillos equipados con clasificador por aire.

b) Pigmentos minerales.- Como los ocre, los sienas, las tierras de sombra y los óxidos rojos de hierro, se molieron por muchos años en molinos de piedras rodantes o muelas y después se tamizaban. - Cuando los materiales se molían húmedos y se clasificaban, se pasaban por un filtro prensa, se secaban y se desintegraban en un molino de jaula o en uno de martillos con clasificación por criba. - Cuando los óxidos se muelen secos, los molinos de anillo y rodillos o de martillos con clasificación por aire van reemplazando a muchos de los molinos de muelas.

c) Los óxidos de plomo.- Se muelen primero por regla general en pulverizadores automáticos de gran velocidad con clasificación por

aire y expulsión automática. El objetivo de la producción de ciertos óxidos de plomo, es obtener un producto con una densidad aparente lo más baja posible. Existen combinaciones adecuadas de maquinaria para satisfacer este requisito.

d) Compuestos químicos.- Un pulverizador de gran velocidad, con clasificación por aire y transporte por aire, da un arseniato de calcio que posee propiedades físicas apropiadas..

A veces es necesario producir un material granular cuyo tamaño esté comprendido entre límites concretos, como el monosulfato de calcio granulado, que deberá pasar totalmente por el tamiz No. 50. y que salvo un pequeño porcentaje, habrá de ser detenido por el tamiz No. 200. Este no es un problema sencillo de trituración y molienda, sino que implica un proceso completo que comprende la elección de un equipo adecuado de triturador o pulverizador, el mejor método de alimentación, el número óptimo de etapas y el método más adecuado de cribado o clasificación por aire.

Los materiales blandos, como la tierra de batán (tierra de fuller) el bicarbonato de sodio y el fosfato monocalcico, se muelen por lo general en molinos harineros para obtener un producto finamente dividido.

e) El D.D.T.- En terrones puede reducirse de tamaño en molinos de martillos, con molinos de anillo y rodillos, también pueden emplearse los molinos de energía fluida o de chorros.

f) Azufre.- El molino de anillo y rodillos se usa para la molienda fina del azufre. En lugar de aire caliente, se introducen en el

molinos gases inertes.

Drogas, productos farmacéuticos y especias

Casi todas las drogas y casi todos los productos farmacéuticos, se muelen en pequeñas cantidades. Los materiales fibrosos pasas primero a un cortador rotativo o un molino de martillos de gran velocidad; cuando se necesita un producto muy fino, se emplean molinos de muelas o de frotamiento. Un molino de diferente tipo, provisto de placas de molienda, se emplea mucho para pulverizar drogas y especias. El llamado Quaker City es de este tipo. Muchas especias se trituran primero en quebrantadoras provistas de conos de acero corrugados, placas o muelas. El producto fino de estas quebrantadoras es por lo general, un material adecuado para alimentar un molino de acabado.

Cuando se granulan medicamentos, compuestos químicos y especias, suelen molerse en molinos de rodillos en circuito cerrado, con un tambor tamizador y un cernidor.

Resinas, gommas, ceras y polvos de molde.

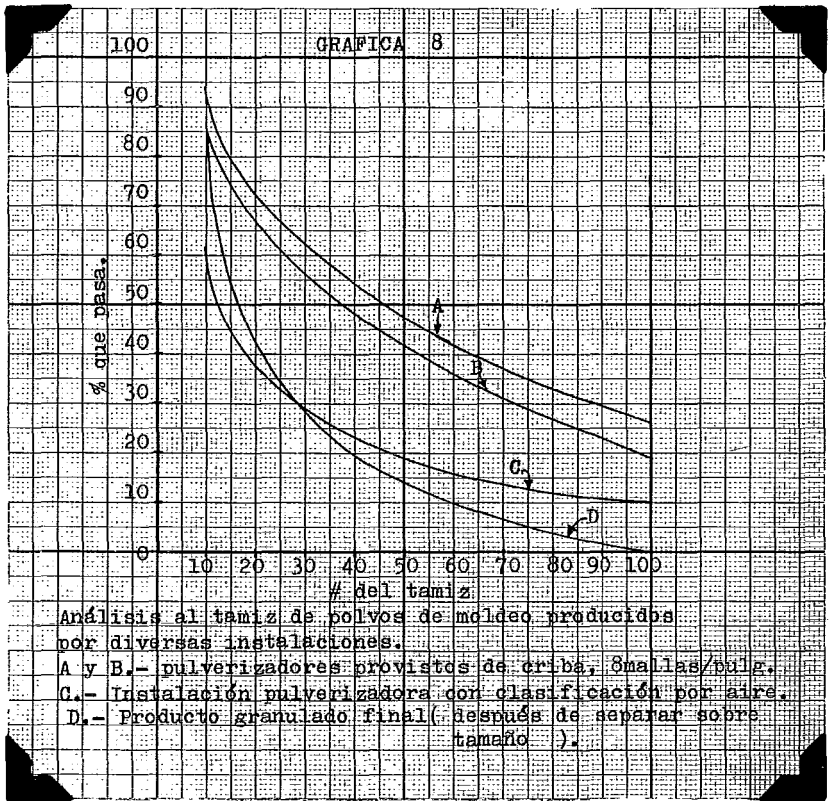
Las características de su molienda dependen mucho de su temperatura de reblandecimiento. Cuando se quiere obtener un producto finamente dividido, suele necesitarse un molino con camisa de agua o un pulverizador con clasificador por aire en el cual se introduce aire frío al sistema. No todas las ceras pueden molerse, ya que algunas de ellas se ablandan a las temperaturas alcanzadas. Sin embargo, muchas de ellas pueden pulverizarse si se adoptan precaucio

nes para impedir el calentamiento excesivo. Con este fin se emplean molinos de martillos y de jaula. En algunas resinas se utiliza el mezclarlas con un 30 a 100% en peso de hielo seco antes de molerlas.

Casi todas las gomas y las resinas, naturales o artificiales, cuando se usan en las industrias de la fabricación de pinturas, barnices o plásticos, no se muelen muy finas, y cualquier molino de martillo o jaula producirá un material apropiado. En general puede decirse que la pulverización de las resinas termoplásticas, o de las resinas termoestables; es una operación difícil, salvo cuando el material deseado es muy grueso.

La ebonita es uno de los pocos materiales combustibles que se pulverizan, por lo general en pesados cilindros calentados por vapor, en circuito cerrado con cribas y clasificadores por aire. Conviene asimismo, que éstas máquinas trabajen a una velocidad más bien baja y con pequeña diferencia la de los cilindros, porque es muy fácil sobrecalentar la ebonita al pulverizarla, haciéndola humear, lo que exige parar la máquina hasta que se enfríe antes de limpiarla del material carbonizado.

Las especificaciones para los polvos destinados a ser moldeados varían mucho. Los materiales que siguen pueden pulverizarse a las temperaturas ordinarias si solo se desea una finura comercial: ambar, arabana, tragacanto, colofonia, olíbano, benjuí, mirra, guaya co y cera de lignito. Si se desea un producto más fino, se usan molinos de martillos o molinos de frotación en circuito cerrado, con



cribas o clasificadores por aire.

Molienda de jabones.

Los jabones finamente divididos se clasifican en : polvo de jabón, jabón pulverizado y escamas o copos. El polvo de jabón se produce en molinos de martillos con cribas de plas perforadas o ranuradas. Para pulverizar muy fino el jabón es a veces necesario enfriar el material, por lo general introduciendo aire frío en el sistema de clasificación por aire. Es ventajosa la molienda en circuito cerrado, con cribas o clasificación por aire, proporcionando un producto granulado e impidiendo el recalentamiento.

La pulverización de los jabones metálicos, los estearatos, los palmitatos, los resinatos, los lauratos y los erucatos no es difícil usando equipo moderno, con accesorios para mantener frío el material y en rápido movimiento. La molienda intermitente no es posible porque el material tiende a apelmazarse, particularmente si se fabrica un producto fino.

Los oleatos y los erucatos se pulverizan mejor con molinos de múltiples jaulas; Los lauratos y palmitatos, en molinos de jaula y también en molinos de martillos, si no se necesita una pulverización especialmente fina; Los estearatos pueden, por lo general pulverizarse en molinos de múltiples jaulas, de criba y de martillos con clasificación por aire.

### CONCLUSIONES

El presente trabajo representa una síntesis del conjunto de datos existentes actualmente con relación a la disminución de tamaño para sólidos, concretamente trituración. Es necesario hacer notar que en el primer capítulo del mismo dentro de los principios generales para la trituración se desarrollan en igual forma los principios de la molienda, pulverización y desintegración; ya que estos son estructuralmente los mismos que aquéllos.

En igual forma en tercer capítulo referente a las aplicaciones industriales, estas se tratan conjuntamente para la trituración, molienda, pulverización y desintegración; por afinidad que tienen estas operaciones en cuanto a sus principios y considerando que generalmente el trabajo de estas máquinas es en conjunto; o sea asociadas las funciones de unas y de otras y que difícilmente se encuentran trabajando en forma aislada. Por ejemplo: utilizar para la reducción de tamaños basta o grosera un quebrantador de mandíbulas tipo Blake, para la reducción intermedia un triturador de cono y para la reducción fina un molino de rodillos pendulares, con clasificador de aire.

Dada la bastedad y diversidad de conocimientos sobre este tema que se conoce desde la antigüedad; y las características especiales que se han adicionado a los principios generales, ocasionadas por la gama tan extensa de materiales a disminuir de tamaño; el presente trabajo deja la posibilidad de profundizar sobre diferentes tópicos; tales como el aspecto mecánico de las máquinas, investi

gación de nuevas formas de disminución o análisis más detallado sobre otras ya existentes y dentro de las aplicaciones industriales la posibilidad de tratar en forma más concreta la disminución de tamaño para la gran cantidad de procesos en los cuales es necesaria esta operación; ya que en el presente sólo se trató someramente y lo más relevante de las industrias más comunes.

Cabe mencionar como conclusión que los factores que determinarán el tipo de maquinaria, la forma de vincular la misma, la seguridad industrial necesaria, la relación de reducción óptima, si la disminución será en seco o por vía húmeda, la transmisión de calor etc; serán sin duda los requerimientos a nivel industrial, las características propias del material y el costo.

BIBLIOGRAFIA ESPECIFICA

- 1) Graudin, Trans. Am. Inst. Mining Met. Engrs.,  
73, 253 (1926)
- 2) Work, Chem. Met. Eng., 40, 306 (1933)
- 3) Schweyer y Work Am. Soc. Testing Materials Symposium on New  
methods for particle size pag. 1-22, (1941)
- 4) A.S.T.M. Designation B 13-42, parte III - A Pág. 748 (1946)
- 5) Schweyer, Ind. Eng. Chem. 14, 622 (1942)
- 6) A.S.T.M. Designation C 115-42 pag. 62-9 (1946)
- 7) Jura y Harkins J. Am Chem. Soc, 66, 1356 (1944)
- 8) Harderove, trans. Am. Inst. Chem. Engrs. 34, 131 (1938)
- 9) Coe y Coghill, U. S. Bur. Mines, Report Investigations, 3704  
(1943)
- 10) Kick " Das Gresetz der proportionalen Wides tande und seine an  
newdung", Leipzig 1835
- 11) Stadler trans. Inst. Mining Met. ( London) 19, 471, 509 (1910 )  
20,420 (1911)
- 12) Walker, Lewis, Mc Adams y Grillidand "principles of Chemical -  
Engineering" 3<sup>a</sup> ed. Mc Graw-Hill N.Y. (1937)
- 13) Graudin trans. Am. Inst. Mining Met. Engrs. (1926)
- 14) Martin, - Trans. Inst. Chem. Engrs. London 4, 42 (1926)
- 15) Fahrenwald y col, Mining Tech, 416, (1931)
- 16) Wilson, Mining Tech 810, (1937)
- 17) Bond y Maxson Trans. Am. Inst. 134,296 (1939)
- 18) Ward, "Colloids" pag 27 N.Y. (1946)
- 19) Kennedy y Mourdulier Rock. Products 4478 (1941)

- 20) Graudin, "Principles of Mineral Dressing" Mc Graw-Hill  
1435-1442 (1941)
- 21) Neuton, Rock Product 35, 26 agosto (1932)
- 22) Kanowitz, Chem. Met. Eng, 45, 236 (1938)
- 23) Underwood. Loc. Cit.
- 24) Hartmann, Nagy y Brown U. S. Bur Mines. Report Investiga-  
tions 3722, ( 1943)
- 25) Hartmann y Green wald, Mining Met. 26,331 (1941)
- 26) Brown U.S. Dept. Agr. Tech.Bull. 74, (1923)
- 27) Twiss y Mc Cowan, India Rubber J, 107-292 (1944)

#### BIBLIOGRAFIA GENERAL

- 1 - Graudin, A. M. Principles of Mineral Dressing, Ed. Mc Graw-  
Hill ( 1939)
- 2 - Gross, John "Crushing And Grinding" U. S. Bur Of Mines. -  
Bull 402 (1938)
- 3 - Richards. R. H. y C. E. Locke, Textbook of Ore Dressing  
3a. ed. Mc. Graw- Hill ( 1939)
- 4 - Von Rittinger , F.R. Lehrbuch der Aufbere Hungs Kinde Berlin  
(1867)
- 5 - Taggart, A. F., Handbook of Mineral Dressing, Ed. John Wiley  
and Sons ( 1945)
- 6 - Davis E. W. "Ball Mill Crushing in Closed Circuit with Screens"  
Bull Unid. Minn. 28, No. 42 (1925)
- 7 - Fisher y Hollomon, A Statistical Theory Of fracture, Metals  
Tech. 14, 2218 ( 1947)

- 8 - Pickenson, Development of the stone Breaker cement, lime and gravel 20, 78 (1945 )
- 9 - Waeser, Progress in Grinding, Chem. Fabrik 14, 39 (1941)
- 10 - Farrant. A review of certain unit processes in the reduction of materials. Inst. Chem Engrs. ( London) 18,56 (1940)
- 11 - Gross y Zimmerley Crushing and Grinding III relation of work input to surface produced in crushing quartz, trans. Am. Inst. Minn. Met. 87,35 (1930)
- 12 - Price surface Active agents Am. Ink Maker 22,21 (1944)
- 13 - Hardinge, Air Clasification in Pulverizing Ind. Eng. Chem. - 26-1139 (1934)
- 14 - Hartman, nagy y brown, Inflammability and explosibility of metals Powders U. S. Bar Mines Bull 3722 ( 1943 )
- 15 - Edwards, Jaw Type Crusher with Impact Hammer Action, Rock - products 27, 80 ( 1944)
- 16 - Bernhard, Bell Shaped Heads and Concaves for Gyrotory Crushers, Minning and Met. 13, 107 (1932),
- 17 - Norman y Loeb, wear tests on grinding Bulls Hining Tech 12 Tech Pub 2319 ( 1948)
- 18 - Myers y Lewis, fine crushing with a rod Mill at the Tennessee Cupner Company, Mining Tech 10,2041 (1946)
- 19 - Carno chan, Some Modern Methods in Milling of Industrial materials, Trans. Can. Inst. Mining Met. 42,29 (1939)
- 20 - Meywood Application of Sizing Analisis to Mill Practice, Bull Inst. Mining Met (London) 477 (1946)

- 21 - Palla Valle "Micromeritics" cap. 5 Theory of Sieving and -  
Grading of Materials 2a. ed. Pitman N. Y. (1948)
- 22 - Katan, An Air Elutriator for use with coherent Dusts, Chemistry  
Industry ( London) 119 ( 1948 )
- 23 - Sved berg y Rinde , The determination of the Distribution of  
Size of particles in Disperse Systems, J. Am. Chem. Soc. 45,  
943 ( 1923)
- 24 - Jacob sen y Sullivan, Centrifugal Sedimentation Method for particle  
Size Distribution Ind. Eng. Chem. 18, 360 ( 1946 )
- 25 - Pechukas y Grege, Rapid Method for determining Specific sur-  
face of fine powders Ind. Eng. Chem. 18, 370 (1946)
- 26 - Anón C 115 - 42 , Standard Methods of Test for Fineness of  
portland Cement by the turbidimeter. Am. Soc. Testing, materials,  
Standards, ( 1946 )
- 27 - Anderson y Emmett, Measurement of carbon black particles by  
the electron microscope and Low temperature nitrogen adsorption  
isotherms J. Applied. Phys 19, 367 ( 1948)
- 28 - Harkins y Jura, An Absolute method for the determination of  
the area of a fine crystalline powder J. Chem. Phys. 11, 430  
(1943)
- 29 - Poller, Law of size distribution an statistical description  
of particulate materials J. Franklin Inst. 223, 609 ( 1937)

# I N D I C E

## PRINCIPIOS DE LA TRITURACION Y LA MOLIENDA

- Introducción - Propiedades de los sólidos
  - Finalidades
  - Especificaciones sobre el producto
- Medida del tamaño de las partículas
  - Métodos
- Representación del tamaño de la partícula
  - Relaciones analíticas
  - Tamaño medio de las partículas
  - Relación de reducción
  - Superficie específica.
- Molabilidad
  - Dureza
  - Métodos para medir la molabilidad.
- Trabajo necesario para reducir el tamaño
  - Teoría
  - Aplicación
- Rendimientos en la molienda
  - Rendimiento Teórico
  - Rendimiento medido
  - Coeficientes de rendimiento
- Agentes dispersantes y ayudas para la molienda
  - Molienda húmeda
  - Molienda en seco

Índice (Continúa)

Clasificación y elección de la maquinaria

- clasificación
- Elección

Reducción de tamaño combinada con la clasificación por tamaños

- Funcionamiento continuo en circuito abierto
- Funcionamiento continuo en circuito cerrado
- Comparación de las moliendas seca y húmeda
- Tipos de clasificadores de tamaño.
- Empleo de los clasificadores de tamaños

Reducción de tamaño combinada con otras operaciones.

- Mezcla e incorporación
- Transmisión de calor
- Tratamiento
- Limpieza y concentración
- La seguridad o eliminación de accidentes

DESCRIPCION DE LAS MAQUINAS TRITURADORAS O QUEBRANTADORAS

---

- + Machadora o trituradora de mandíbulas
- + Trituradoras Giratorias
- + Trituradoras de Coms
- + Trituradoras de Cubeta o Paila
- + Trituradoras de Rodillos Lisos
- + Trituradoras de Cilindros Corrugados Dentados
- + Trituradoras Rotativas
- + Quebrantadora o Trituradora de Martillos

Indice (continua)

APLICACIONES INDUSTRIALES DE LOS TRITURADORES

Y LOS PULVERIZADORES.

- +Molienda de cereales y otros productos vegetales
- + Minerales metalíferos
- + Minerales no Metálicos
- + Industria de los fertilizantes.
- + Industria del cemento la cal y el yeso
- + Carbon, coque y otros productos carbonaceos
- + Pigmentos, Productos químicos e insecticidad
- + Drogas, productos farmacéuticos y especias
- + Resinas, gomas, ceras y polvos de moldeo
- + Molienda de jabones.

● =====

CONCLUSIONES