



D-I 9402

T
622.73
VAS



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“MICRONIZACION DE CALIZA EN UN MOLINO DE BOLAS”

TOPICO DE GRADUACION

Previa a la obtención del TITULO de

INGENIERO DE MINAS

Presentada por:
Wilmer José Násquez Granda

Guayaquil - Ecuador

1999

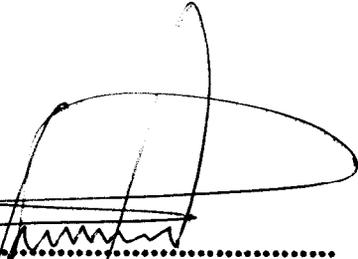
DEDICATORIA

A MIS PADRES
AMIHERMANO
A MARIA JOSE

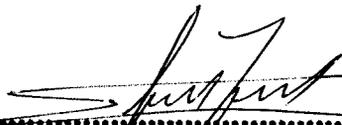
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



.....
Ing. Hugo Eguez A.
Director del Tópico



.....
Ing. Miguel Ángel Chávez
Decano de la F.I.C.T.



.....
Ing. Francisco Torres
Miembro del Tribunal

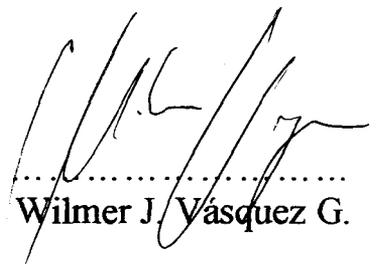
DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Tópico de Graduación, me corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma es de la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”



(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

BIBLIOTECA
CENTRAL


.....
Wilmer J. Vásquez G.

INDICE DE TABLAS

	Pag.
TABLA 1	16
TABLA 2	35
TABLA 3	35

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
FIGURA 1	94
FIGURA 2	94
FIGURA 3	95

ABREVIATURAS

A	Alimentación
Ca	Calcio
Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈)	Anortita
CaCO ₃	Carbonato de calcio
CC	Carga circulante
COS	Coseno
d80	Malla para la cual pasa el 80% del producto a la salida del molino
D80	Malla por la cual pasa el 80% del producto que llega al molino
E	Energía
g	Gramos
Gbp	Promedio del producto neto por revolución
KWH	Kilowats por hora
m	Metro
Mb	Carga máxima de bolas
mm	Milímetro
m ³	Metro cúbico
Na	Sodio
Na(AlSi ₃ O ₈)	Albita
Nc	Velocidad crítica
P	Potencia
PPI	Producto del periodo ideal
Q	Alimentación
R	Rechazo
REV	Revoluciones

rpm	Revoluciones por minuto
SEN	Seno
T	Producto triturado
t	Duración de ciclo
Tcorta	Tonelada corta
Tr	Tiempo de rotación
um	Micras
W	Peso
Wi	Indice de Bond

RESUMEN

Los molinos de bolas, son maquinas de conminucion, que se vienen utilizando hace mas de un siglo. Un parámetro básico para si dimencionamiento es el **índice** de Bond, se establece en particular para cada material a tratar, con el cual se realizan cálculos para determinar la potencia del motor, energía consumida, dimencionamiento de los cuerpos moledores, etc. La forma de establecer este **índice** puede ser directa o indirecta.

Aspectos importantes del molino son, también, la alimentación, la descarga, los blindajes, velocidades. de trabajo, medio de molienda (**húmeda** o seca), carga moledora. Todos estos factores se conjugan para dimensional y escoger un tipo de molino que se ajuste a nuestros requerimientos.

La micronización de la caliza en un molino de bolas es óptima para brindar productos considerablemente requeridos para el desarrollo de actividades **tales** como la **agricultura** (encalado de suelos, piensos, relleno de **fertilizantes**), **construcción** (compuestos para calafatear, masilla y mortero para parchear), tratamiento de las aguas de industria y de las aguas cloacales.

INDICE GENERAL

	Pag.
RESUMEN	V
IN-DICE GENERAL	VI
INDICE DE FIGURAS	XIII
INDICE DE TABLAS	XIV
ABREVIATURAS	XV
INTRODUCCION	XVI

CAPITULO 1

CARACTERIZACION DE LAS PARTICULAS	
1.1 Granulometría	6
1.2 Densidad	8
1.2.1 Contaminaciones	9
1.2.2 Sustituciones	10

1.2.3 Vacantes estructurales	10
1.3 Dureza	11
1.4 Contenido de carbonato de calcio	12
1.5 Indice de Bond	13
1.5.1 Prueba de laboratorio	13
1.5.2 Objetivo	14
1.5.3 Teoría	14
1.5.4 Equipo requerido	15
1.5.5 Procedimiento	17

CAPITULO II

CARACTERISTICAS DEL MOLINO	
2.1 Teoría de molienda	24
2.2 Definición de molienda	32
2.2.1 Molienda simple	32
2.2.2 Molienda forzada	33
2.2.3 Molienda condicionada	33
2.2.4 Molienda diferencial	33

2.2.5 Molienda formal	34
2.2.6 Automolienda	34
2.2.7 Molienda criogena	34
2.3 Clasificación de molienda	34
2.4 Dimensiones: largo y diámetro	36
2.5 Dispositivos de alimentación	
2.6 Dispositivos de salida	
2.6.1 Por desbordamiento de la pulpa a través del eje de lado de salida	40
2.6.2 Por evacuación del producto a través de parrillas colocadas en la periferia del compartimento acabador	41
2.6.3 Por evacuación a través de parrillas que forma el fondo del compartimento acabador	42
2.6.4 Por evacuación a través de la pared del tubo en cualquier punto de la longitud de este	42
2.6.5 Por el dispositivo de salida Danex	42
2.6.6 Por medio de un dispositivo de arrastre a través de una corriente de aire	44
2.7 Tamaño de la alimentación	45



de lado de
CENTRAL

2.8 Razón de reducción para molinos de bolas	46
2.9 Grado de llenado y porcentaje de huecos	46
2.10 Tipos de forros	46
2.10.1 Materias no metálicas	47
2.10.2 Revestimientos metálicos	47
2.10.3 Revestimientos mixtos	51
2.10.4 Revestimientos de goma	51
2.11 Propósito de los blindajes	53
2.12 Dimensionamiento de los cuerpos molidores	56
2.12.1 Tipos de bolas	56
2.12.2 Dureza de las bolas	57
2.13 Tamaño y distribución de las bolas	57
2.14 Determinación de la carga circulante en un circuito cerrado en funcionamiento	60
2.14.1 Clasificador previo a la máquina de conminución	60
2.14.2 Clasificador posterior a la máquina de conminución	63
2.15 Calculo de la potencia del motor	64
2.15.1 Por SIM	64
2.15.2 Por Norbreg	65

2.15.3 Por Allis Chalmers	66
2.16 Consumo de energía	69
2.17 Velocidad crítica	70
2.18 Velocidad de trabajo	71

CAPITULO III

TIPO DE MOLIENDA	
3.1 Molienda en seco o molienda en húmedo	72
3.2 Ventajas e inconvenientes de la molienda en seco con respecto a la molienda en húmedo	73
3.2.1 Ventajas	74
3.2.2 Inconvenientes	75

CAPITULO IV

USOS Y APLICACIONES DE LA CALIZA MICRONIZADA	
4.1 Encalado de suelos	76
4.2 Relleno de fertilizantes	79
4.3 Piensos	79
4.4 Lana mineral	81

4.5 Arena caliza	81
4.6 Materiales de construcción	82
4.7 Tratamiento de aguas	83
4.7.1 Ablandamiento	83
4.7.2 Purificación	83
4.7.3 Coagulación	84
4.7.5 Neutralización del agua ácida	84
4.7.6 Eliminación de la sílice	85
4.8 Tratamiento de las aguas residuales de industrias y de las aguas de cloaca	85
4.8.1 Aguas cloacales	85
4.8.2 Aguas residuales industriales	87
4.9 Vidrio	88
4.10 Cosméticos	88
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
ANEXOS	91

INTRODUCCIÓN.

Es muy **difícil** saber quien tubo la primera idea de triturar materias agitandolas en contacto con cantos rodados o bolas de piedra dura dentro de un tonel. Sin embargo, se sabe que hacia 1868 alguien Llamado Alsing utilizo en Inglaterra tal proceso para pulverizar **silex** calcinados para la industria de la ceramica, por lo que el nombre de molino Alsing aun se utiliza para designar a los molinos de bolas de funcionamiento intermitente.

Los primeros molinos de bolas de **alimentacion** y rendimiento continuos parecen haber visto la luz en 1876, y aunque no fue el primer constructor, el nombre de la **firma** Krupp ha estado unido siempre a este tipo de maquinas. Los molinos Krupp eran principalmente maquinas aptas para realizar una molienda relativamente **grosera**, y preferentemente fueron utilizados como preparadores una vez que el molino acabador hizo su aparicion.

Este, caracterizado por la **utilización** de un tambor **cilíndrico** de longitud suficiente como para que la materia admitida por una de las extremidades, fuera reducida completamente a la **finura** deseada antes de salir por la extremidad opuesta, **recibió** algunas aplicaciones antes de 1890; pero es 'especialmente a partir de 1892 cuando **fue** comercializado bajo el nombre de molino acabador "**Dana**" en Europa y de molinos Mill "**Gates**" en U.S.A. Estos molinos que trabajan con carga y rebestimientos de **silex**, tuvieron un desarrollo muy **rápido** por un parte en las **fábricas** de cal y de cemento, donde relevaron a los antiguos molinos de muelas, y por otra parte en las minas de oro del Rand donde fueron instalados como complemento de las baterías de morteros **clásicos** del siglo pasado. Permitieron que estas baterías sobrevivieran durante algunas décadas, limitando su servicio al de la **reducción** preparatoria, esto en espera de que, en 1920, **fueran** relevados a su vez de esta **aplicación** por los molinos de bolas de **circulación** repetida y los molinos de barras, provocando **así** su definitiva **desaparición**.

Los molinos de bolas del tipo llamados de **circulación** repetida, es decir, destinados a funcionar en circuito cerrado con una **máquina clasificadora**

exterior, se extendieron a partir del periodo de 1905 - 19 10, especialmente en U.S.A. Eran bien del tipo **clasico** de tambor **cilindrico**, o bien del tipo **cilindrico-cònico**, sistema Hardringe.

Hacia la misma època ,**pero** esta vez en Europa, aparecieron los primeros molinos llamados “Compound”, los cuales **reunian** en un mismo cuerpo **cilindrico**, el compartimento desbastador con carga de gruesas bolas y compartimientos acabadores con carga de pequeñas bolas o **silex**.

La utilizaciòn de molinos de bolas sobre circuito **neumático** (molinos ventildos) parece que fue impulsada a partir de los anos 1920, por el hecho de la **generalizaciòn** de las **instlaciones** de calefacciòn de **carbòn** pulverizado.

En lo que se refiere a la època actual, puede pensarse que la **tècnica** de **construcciòn** y de utilizaciòn de los molinos de bolas ha alcanzado un puesto cuya **duraciòn** no puede preverse, pero que sin embargo esta caracterizada por la puesta en servicio de unidades cada vez mas potentes, puesto que en menos de 30 anos hemos pasado de 200/300 KW por molino a 6000 KW y mas.

Los molinos de bolas **están** formados esencialmente por cuerpos tubulares huecos, **cilíndricos** o cilíndricocónicos, cuyas paredes interiores **están** provistas de un blinaje, y a los que se les hace girar alrededor de su eje dispuesto horizontalmente.

El interior de cada tambor recibe, **a título** de carga de cuerpos moledores, un juego de bolas **esféricas** de **diámetros** apropiados y de la mayor dureza posible, con las cuales se mezcla la materia **a moler**.

Bajo el efecto de la **rotación** del tambor las bolas son arrastradas **a lo** largo de las paredes, ruedan y luego vuelven **a caer** en cascada unas sobre otras. De esta forma la materia **a moler** es sometida **a innumerables** acciones de **presión, atrición** y choque, **a la vez** en el seno de la masa de las bolas, y entre **èsta** y las paredes del tambor.

El efecto de **fracmentación** sera **màs** forzado cuando mas larga sea la permanencia de la materia en el tambor y, **teóricamente**, no hay límite para el grado de finura que puede obtenerse. En el caso de operaciones discontinuas la duración del tratamiento de una carga puede variar, **según** las necesidades, desde unos minutos hasta 24 horas o mas. En el caso mas corriente, que es el de una **operación** continua la materia **a moler** es

introducida por unos de los extremos del tubo y sale por la extremidad opuesta. La **duración** de su permanencia en contacto con las bolas sera **función** a la vez de la velocidad de avance (producción horaria en la **alimentación**) y la longitud del tubo.

Los molinos de bolas pueden utilizarse para operaciones de molienda en seco o para operaciones de molienda en fase **líquida** (pastas o pulpas).

La caliza finamente molida (50 a 200 mallas) tiene múltiples usos, entre los cuales podemos mencionar: encalado de suelos, relleno de fertilizantes, piensos, en la industria **metalúrgica**, tratamiento de las aguas residuales de la industria y de las aguas de cloaca, en la fabricación de pinturas, dentífricos, etc.

CAPITULO 1

CARACTERIZACIÓN DE LAS PARTÍCULAS.

1.1 GRANULOMETRÍA

Los productos de una operación de fragmentación constituyen lo que se llama una dispersión sólida. La **granulometria** es el arte de medir los tamaños, formas y proporciones de los granos de una **dispersión**. La medida de la dimensión de los productos tiene doble fin:

- 1) Control del trabajo de las **màquinas**.
- 2) Control de la calidad de los productos fragmentados.

Mediante la **medición** se consigue establecer una distribución de tamaño a la que se ajusta el material; esta distribución puede ser expresada por cualquiera de las distribuciones **empíricas** siguientes:

* Distribución **Rosin-Rammler-Bennet**

$$F(d) = 1 - (\exp - (d / d')^n) \quad (1.1)$$

* Distribución **Gates-Gaudin-Schuhmann**

$$F(d) = (d / K)^m \quad (1.2)$$

* Distribución **Probabilidad-Logaritmica**

$$F(d) = \text{erf} ((\ln d/d') / o) \quad (1.3)$$

* Distribución **Gaudin-Meloy**

$$F(d) = 1 - (1 - (d/d'))^f \quad (1.4)$$

Donde $F(d)$ es la **fracciòn** acumulada de peso, d es el tamaño, K y d' son parametros de tamaño, m, n, r son exponentes adimensionales, erf es la **funciòn** de probabilidad y σ es la **desviaciòn** estandar.



BIBLIOTECA
CENTRAL

1.2 DENSIDAD.

Densidad absoluta es la masa de un mineral correspondiente a la unidad de volumen. Expresada en **relaciòn** a la densidad del agua, coincide con el concepto de peso **específico**.

La densidad es una constante para cada sustancia homogènea y pura.

Dado que una misma sustancia mineral, por efecto de determinadas condiciones de presiòn y temperatura al ordenarse su empaquetamiento estructural, puede presentar diversidad de modificaciones, cada una de estas poseer-à su propio valor de densidad. Asì, por ejemplo, el **carbonat càlcico** tiene una densidad

2,95 para la calcita y 2,72 para el aragonito, de empaquetamiento menos apretado.

Si la naturaleza proporcionara los minerales totalmente puros y sin contaminaciones, el reconocimiento de las distintas especies existentes sería sencilísimo según un orden numérico de sus densidades. En la realidad, se dan tres hechos principales, que hacen variar los límites de valores de la densidad para una determinada especie:

1.2.1 Contaminaciones.

De un meticuloso análisis químico cuantitativo de un ejemplar cualquiera se obtiene siempre una serie de los otros componentes extraños, que no forman parte de su red cristalina y que ha simple vista no se pueden normalmente observar.

1.2.2 Sustituciones.

El ejemplo de los feldespatos plagioclasas ofrece una clara idea de este frecuentísimo fenómeno de los minerales. Entre los dos extremos albita y anortita, de composición teórica $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ y $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$, respectivamente, existe una serie de minerales (oligoclasa, andesina, labradorita y bitounita) correspondientes a diversas proporciones de sustitución del Na por el Ca, o viceversa, es decir, de la participación de la fórmula de los extremos.

Dado que estas sustituciones son de una continuidad muy amplia, los miembros de la serie no pueden colocarse en puntos definidos, sino que abarcan amplios márgenes; el mayor o menor contenido en Na o Ca de un número cualquiera de la serie afecta lógicamente al valor de su densidad.

1.2.3 Vacantes estructurales.

En las estructuras cristalinas que constituyen la materia mineral ocurre muy a menudo que falten átomos o moléculas que en teoría

deberían existir para cumplirse con todo rigor el requisito de periodicidad de la materia cristalina.

Estos defectos o vacantes, de **carácter** totalmente **estadístico** e irregular, no afectan al crecimiento y desarrollo del mineral, ni pueden detectarse a no ser por la ayuda de aparatos y **calculos** especiales. Sin embargo, afectan, como es **lógico**, a la densidad del conjunto, que **tendrá** valores inferiores a los **teóricos**.

1.3 DUREZA.

La dureza se define como la resistencia que opone un cristal, **según** su cara y **dirección**, al deterioro **mecánico** de su superficie. Esta **lesión mecánica** puede ser **ocasionada** por cualquier método **dinámico**: rayado, pulido, corte, **perforación**. Especial importancia para el reconocimiento de los minerales tiene la dureza al rayado.

En 1822, el mineralogista australiano Mohs codificó en una escala diez tipos de minerales, **según** la diferente **oposición** que **ejercían** a

ser rayados por un objeto punzante. En la tabla que se presenta a **continuación** se ofrecen datos para obtener un criterio mas exacto de los valores relativos de dureza correspondientes a los valores absolutos de la escala de Mohs.

La tabla comparativa de dureza se encuentra en el anexo # 1 e indica la escala de dureza propuesta por Mohs.

1.4 CONTENIDO DE CARBONATO DE CALCIO.

La caliza es una roca compuesta por lo menos de 50 % de carbonato de calcio, CaCO_3 , con porcentajes variables de impurezas.

Para determinar el contenido de carbonato de calcio existente en el material de estudio se utilizó el método de gasometría. Este método consiste en comparar el material de estudio con un estandar.

El contenido de carbonato de calcio que hay en el material de estudio es de 88.20 %.

1.5 INDICE DE BOND.

La prueba para determinar el índice de Bond puede ser directa o indirecta. Es directa cuando el **índice de trabajo** se obtiene comparando una mena de índice de trabajo conocido (W_i), con la mena de prueba. Ambas se someten a **idénticas** condiciones de molienda para igualar los resultados y despejar la **incognita**, el índice de Bond del material en estudio.

En el anexo # 2 se encuentran los **índices** de trabajo para algunos materiales.

En el anexo # 3 se encuentra la descripción del mineral según el **índice** de Bond.

1.5.1 PRUEBA DE LABORATORIO: INDICE DE BOND.

En el presente trabajo se realizó la prueba directa, la misma que se explica a **continuación** y se basa en lo propuesto por Deister, 1987.

1.5.2 OBJETIVO

El objetivo de la prueba es determinar el índice de trabajo del material, con el fin de calcular: la energía requerida para moler una tonelada de mena hasta llevarla a cierto tamaño **final** deseado, determinar la potencia del motor que será necesario instalar en la máquina de molienda, conocer la velocidad **crítica**, etc.



BIBLIOTECA CENTRAL

1.5.3 TEORIA.

Las ecuaciones **básicas**, derivadas de la **teoría** de Bond, empleadas en la prueba son:

$$W_i = 44,5 / (P_1)^{0.25} (G_{bp})^{0.02} \left((10/(P_2))^{1/2} - (10/(F_2))^{1/2} \right) \quad (1.5)$$

donde:

W_i = **índice** de trabajo para molino de bolas

P_1 = abertura de la **mall**a de trabajo utilizada (um)

Gbp = promedio del producto neto por **revolucìon** de los tres **ùltimos** ciclos de molienda en el laboratorio.

P2 = tamaño del 80% pasante del producto del **ùltimo** ciclo (um)

F2 = tamaño del 80% pasante de la nueva **alimentaciòn** al molino (um)

1.5.4 EQUIPO REQUERIDO.

Los equipos empleados fueron:

- * Un molino de bolas de laboratorio de 1 pie de **diàmetro** y 1 pie de altura.
- * Juego de tamices Tyler
- * Unidad Ro-Tap
- * Balanza
- * Carga de bolas determinada

La carga de bolas (F.C. Bond) debe estar constituida por 285 bolas de hierro con diámetros entre 1 1/2 pulgadas a 3/4 de pulgada, con un peso total de 20,125 g. (44.4 lb.) y un área de superficie calculada de 842 pulgadas cuadradas. Para ajustar el peso final se puede sustituir una bola de un tamaño por otra de otro. En la tabla se presenta la distribución de las bolas empleadas, que es muy similar a la carga recomendada.

TABLA # 1
DISTRIBUCION DE CARGA DE BOLAS.

DIAMETRO DE BOLAS (pulgadas)	No. DE BOLAS	PESO (g.)	%DISTRIBUCION No. DE BOLAS
1.5	9	2102.7	3.36
1.25	30	4366.4	11.19
1.1	56	5924.4	20.90
0.9	49	4303.2	18.28
0.76	30	1473.9	11.19
0.73	94	2860.9	35.08
TOTAL	268	20,131.5	100.00

1.5.5 PROCEDIMIENTO SEGUIDO.

El peso de la muestra original a ser analizado fue de 30 Kg. El mineral fue homogenizado y cuarteado, utilizando un **cuateador Jones**, para recuperar una muestra de 1545 g. con la que se realizo el **análisis granulométrico**.

a) Determinación del peso inicial de mena de **alimentación** al molino de **laboratorio**.

Bond estipula que un peso correspondiente a 700 cm³ de mena, para ello, se lleno un cilindro graduado de 1000 ml con material hasta la marca de 700 ml., **agitándolo** para su compactacion; luego se peso la muestra. El peso **volumétrico** determinado de esta forma y utilizado en las pruebas de molienda fue de 1160 g.

b) Determinación del peso del producto de periodo ideal (**PPI**).

Para determinar el peso pasante malla 200 (que es la malla de prueba) producido en un periodo ideal de molienda, con el 250% de carga circulante, se aplica la siguiente **ecuación**:

$$\%C.C = (W \text{ alimentaciòn original} - W \text{ producto pasante}) / W \text{ producto pasante} \times 100$$

Asumiendo **alimentaciòn** original igual a 1, producto pasante igual a x, porcentaje de carga circulante (C.C) = 250%; la **ecuaciòn** anterior se convierte en:

$$(1 - x) / x = 2.5$$

donde

$$x = 1 / 3.5$$

Con la alimentaciòn original de 1160 g. el producto de periodo ideal determinado fue de 33 1,43 g.

c) **Determinaciòn** del producto neto por **revoluciòn** (Gbp), para alcanzar el equilibrio.

El equilibrio, para el material en estudio, se define como el promedio de los tres **ùltimos** ciclos de periodo de molienda que aproximan un producto pasante 200 Mesh de 33 1,43 g (que es la meta deseada con el 250% de carga circulante).

De los 30 Kg. de material inicial se colocaron 1160 g en el molino junto con la carga de bolas **estàndar**. Se **moliò** en seco por un periodo de prueba de 150 revoluciones a una velocidad de 65,93 r.p.m.

Luego se vacio el molino, se tamizaron las bolas y se realizo un tamizado en seco del material en una malla 200 (Tyller) que es la malla de prueba. Se utilizo una brocha para limpiar el molino y el polvo de las bolas.

La **tècnica** de tamizado en seco, requiriò una **manipulaciòn** cuidadosa en dos pasos. Primero se agito el tamiz con la muestra durante 20 minutos en el Ro-Tap. Luego, durante 5 minutos se realizo un tamizado manual del retenido en tamiz 200 para asegurar una completa **recuperaciòn** del pasante. Para facilitar esta **operaciòn** se agregaron 3 “canicas” de 50 mm. de **diàmetro**.

Luego del tamizado se peso el pasante malla 200, este dato se anoto en el lado de descarga del molino. En la tabla se presentan los resultados de cada ciclo de molienda. Las columnas y la

metodologia para realizar los cálculos respectivos, se explican a continuación.

* En la columna A, se registró el ciclo de molienda.

* En la columna B, se registro la nueva alimentacion a cada ciclo de molienda. Por periodo se obtuvo una cantidad pasante 200, que constituye el producto de molienda (F), con este mismo peso de nuevo material se completa la alimentación para el siguiente ciclo, que debe ser siempre de 1160 g.

* En la columna C, se anoto el peso de la alimentacion que naturalmente es pasante malla 200. A través de la curva **granulométrica** de la alimentación se sabe que el 0.6 % del peso es - 200 Mesh, por eso, para el ciclo 1 de molienda ,con una alimentación de 1160 g, se calcula que 47.56 g **tendrán** inicialmente un tamaño menor a 75 **um**.

* En la columna D, se anoto el peso que necesitarla ser molido para alcanzar un producto de periodo ideal ($PPI = 331.43 \text{ g}$). D es igual a $PPI - C$.

* En la columna E, se anotaron las revoluciones para cada ciclo. La forma en las que se establecieron las revoluciones necesarias para pasar de un periodo a otro, fue a través de $E = D / H$.

* En la columna F, se registro el peso pasante 200 Mesh de la descarga del molino.

* En la columna G, se apuntaron los valores del producto neto de molienda, es decir, $F - C$.

* En la columna H, se anotaron los datos del producto neto por revolución.

Las revoluciones se **fueron** calculando y el tamizado se realizó **idénticamente** en cada periodo. La metodología de la prueba de Bond establece que los ciclos de molienda se realicen hasta observar una **estabilización** en los valores de producto neto por **revolución**.

En el anexo # 4 se encuentran los resultados de las pruebas efectuadas.

CAPITULO II

CARACTERISTICAS DEL MOLINO.

2.1 TEORIA DE MOLIENDA.

Los primeros cálculos planteados para el funcionamiento de los molinos de bolas libres se han basado en el estudio analítico del movimiento de las bolas tomado aisladamente. La figura # 1 muestra como se ha podido suponer que una bola determinada de masa m , arrastrada por frotamiento contra la pared del molino, es elevada hasta un punto A, para la cual la proyección del vector peso

sobre el radio OA equilibra la fuerza **centrifuga** mv^2/r . La bola deja la pared y describe una trayectoria **parabòlica** que la devuelve al contacto con la pared, cerca de su punto de salida.

Si la velocidad es tal que mv^2/r queda en todos los casos superior a mg , la bola sera satelizada en contacto con la pared y por lo tanto ya no **habrà** ni movimiento relativo ni trabajo.

Es esta velocidad de satelización la que se ha llamado velocidad **crítica**. Responde a la formula:

$$V_c \text{ (revoluciones por minuto)} = 42.7 / (D)^{1/2} \quad (2.1)$$

D = **diámetro interior útil** en metros.

Debe tenerse cuidado de que esta constante, cuya utilización es la más amplia en todos los **cálculos**, no tenga nada más que un valor de referencia y no corresponda a ninguna certeza en el plano experimental. Efectivamente no **sería** verificable más que si los deslizamientos de la carga contra la pared fuesen nulos, lo que no

ocurre nunca, ni utilizando revestimientos de nervios o de barras de elevación.

Esto explica que se haya podido hablar de molinos que funcionan a velocidades llamadas super críticas, y aun mucho más allá de la digamos velocidad crítica, sin que haya centrifugación de las cargas.

Para volver al estudio matemático de la trayectoria de las bolas, establecida primeramente por Davis, después perfeccionada por Ugglá, Joisel y muchos otros, solo se expondrá una idea sucinta bajo forma de una representación gráfica figura # 2 que materializa las principales conclusiones.

En este gráfico establecido para una velocidad de rotación determinada ($29 \frac{3}{4}$ r.p.m.), los círculos concéntricos corresponden a distintos diámetros, siendo el círculo exterior para el cual la velocidad periférica conduce a la centrifugación.

Sobre cada uno de los radios considerados la trayectoria de las bolas comprende primeramente un recorrido circular ascendente,

prolongado por la **proyección parabòlica**, después por una **caída** hacia la pared opuesta del tubo.

El lugar de origen de las parabolos es un **semi-círculo** de **diámetro** $a = q / \omega^2$ centrado sobre OA.

El lugar de los puntos de **caída** es un “tornillo de Arquimides de Pascal” coincide con un círculo de centro O y de **diámetro** a.

Para un cierto radio, la eficacia **màxima**, medida por la velocidad relativa de **caída** de la bola a su punto de impacto, se **obtendría**, **segùn** el calculo, cuando la velocidad de **rotaciòn** del molino corresponde al 75% de la velocidad **crítica**; es decir en el resultado de la formula $V = 32 / (D)^{1/2}$.

La duraciòn del ciclo de la carga se obtiene totalizando la **duraciòn** de la trayectoria circular y la duraciòn del recorrido del arco de parábola.

$$t = \text{tr} \left((135 + \theta)/360 + (2 \sin \theta \cos \theta) / M \right) \quad (2.2)$$

θ : ángulo del radio correspondiente al punto de despegue de la pared circular, con la horizontal. Este ángulo varia, a igualdad de condiciones, con el coeficiente de llenado del molino.

t_r = tiempo de rotacion del molino.

Para un llenado del 45% y una velocidad igual al 75% de la velocidad crítica, $\theta = 36^\circ$ la duración del ciclo es sensiblemente igual a los tres cuartos del tiempo de una rotacion del molino. En otros términos se produce 1,3 ciclo de la carga por vuelta del molino.

Todos los cálculos que han conducido a los resultados presedentes han sido establecidos en la hipótesis de que cada bola que deja la trayectoria circular, es libre; es decir, que sufre un retraso hasta el momento en que alcanza la cima de la parabola. Pero en realidad es empujada por la masa de las bolas que la siguen y conserva su misma velocidad hasta la cima de la trayectoria.

Esto aporta correcciones cuyo resultado principal se encuentra en el hecho de que siendo las velocidades iniciales más elevadas, las

trayectorias de las parabolas de **caída serian** mayores que **segùn** el primer calculo.

Forzando mas la **adaptaciòn** de las hipotesis del calculo a los datos reales de la practica, se llega a admiir que la carga (bolas mas materia) encuentra su **màxima** compacidad en la regiòn de las trayectorias circulares, y se comporta como un agregado solido, sometido a una **disgregaciòn** continua en su parte superior, y se reconstituye constantemente en el pie gracias a la **caída** en cascada de las **particulas** que forman la citada carga.

La directa **observaciòn**, por ejemplo por vistas **cinematogràficas** en un molino con pared frontal e plexiglas, ha demostrado en efecto que las condiciones normales del movimiento de la carga estaban muy lejos de lo que pueden dar los **calculos teòricos** y, en particular, que las “parabolas de **caída**” son efectivamente movimientos de cascada, bolas y materia rodando y saltando sobre **sì** misma hasta el pie del talud.

De esta manera en todo momento existe una zona compacta (b) relativamente neutra en el seno de la carga, arrastrada por la

rotaciòn del tubo, y una masa activa a cayendo en cascada y rodando sobre la presedente. La figura # 3 esquematiza esta **situaciòn** para dos grados de llenado diferentes, 30 y 45 %.

La **observaciòn** directa en modelos experimentales de paredes de plexiglas ha permitido a los canadienses Haultain y Dyer despejar los datos siguientes:

- 1.- Fuera de la velocidad de rotaciòn, el factor mas importante en la **determinaciòn** de las trayectorias de las bolas es el deslizamiento.
- 2.- La cantidad de deslizamientos depende de numerosas variantes: dimensiones de las bolas, naturaleza de los blindajes, **caracter** de la pulpa y otros factores; pero el deslizamiento siempre esta presente.
- 3.- En muchos molinos el deslizamiento es tan grande que limita toda caìda libre parabòlica a velocidades normales.
- 4.- Siempre hay un cambio continuo de **posiciòn** entre las bolas durante el movimiento de **elevaciòn** circular.
- 5.- A las velocidades empleadas habitualmente, hay mucho **màs** efecto de **caìda** en cascada que de **caìda** libre parabòlica.

6.- Las trayectorias de las bolas y del mineral son afectadas por la segregación, función del volumen, y muy poco afectadas por la densidad.

7.- Con velocidad baja los finos están en el centro, con gran velocidad en la periferia.

8.- La mejor mezcla parece obtenerse a la mayor velocidad antes de llegar a la caída libre parabólica.

Todas las condiciones que acabamos de evocar se refieren esencialmente al movimiento de los cuerpos molidores. Es indispensable exponer igualmente lo referente a las materias a moler, cualitativa y cuantitativamente.

La alimentación de los molinos debe ser, naturalmente, lo mas regular posible, fácilmente controlable y ajustable en todo momento.

Ya hemos hecho constar que el tamaño máximo de los elementos a moler debe estar proporcionado al peso de las bolas mas gruesas contenidas en la carga, y que es interesante hrnitar uno como otro a

un valor todo lo bajo que lo permitan las condiciones generales de la explotación.

En numerosas pruebas se ha puesto en evidencia que siempre que hay una clara mejora del rendimiento **energético** si puede evitarse la **introducción** en el molino de **partículas** de tamaño inferior o igual al del calibre final deseado.

Por esta **razón**, el funcionamiento en circuito cerrado con una gran carga circulante, y **evacuación rápida** de las **partículas** suficientemente reducidas, permitir-à generalmente obtener mejores rendimientos.

El volumen de materia presente en el molino es evidentemente **función**, por una parte de la **producción de alimentación**, y por otra parte de su velocidad de paso a través del molino.

El calculo de la fuerza motriz necesaria para accionar un tambor o molino de unas determinadas dimensiones, girando a una velocidad y recibiendo cargas de naturaleza y tipo determinados, puede hacerse de manera bastante precisa por medio de formulas complejas en las cuales intervienen no solamente numerosas

variantes, sino **ademàs** coeficientes **numèricos** cuya determinaciòn experimental no deja de ser casual.

2.2 DEFINICION DE MOLIENDA.

MOLIENDA tèrmino empleado muy frecuentemente para determinar el conjunto de **tècnicas** relativas a la **reducciòn volumètrica** de cuerpos sòlidos.

Segùn los deseos del explotador, podemos encontrar siete tipos de molienda que definiremos como sigue:

2.2.1 MOLOIENDA SIMPLE.

Solamente es necesario convertir la totalidad del material en elementos inferiores a una **dimensiòn** determinada (sin ninguna **consideraciòn** de la **granulometria** interna del producto).

2.2.2 MOLIENDA FORZADA.

El producto molido debe contener claramente una cantidad de finos superior al límite determinado; es decir, el producto molido debe presentar la **màxima** superficie posible.

2.2.3 MOLIENDA CONDICIONADA.

En sentido inverso, puede interesar obtener la menor cantidad posible de supertriturados, bien porque sea innecesario o bien porque es perjudicial.

2.2.4 MOLIENDA DIFERENCIAL.

Denominada selectiva, aplicable a productos estructuralmente heterogéneos, permite con ciertas precauciones aumentar la **reducciòn** de los componentes **fi-i**ables, algo más que la de los componentes más duros. De esta manera es posible una **selecciòn** más o menos grosera mediante **clasificaciòn volumètrica**. Los resultados de la molienda diferencial son esencialmente función de la naturaleza **física** del material a tratar.

2.2.5 MOLIENDA FORMAL.

En donde las operaciones de fragmentación en las cuales la forma de los **fragmentos** obtenidos influye **en el** valor del producto.

2.2.6 AUTOMOLIENDA.

Trata de operaciones de **reducción volumétrica** en las cuales los elementos a moler se **fragmentan** por **percusión** y **fricción recíprocas**.

2.2.7 MOLIENDA CRIOGENA.

Fragmentación de sólidos previamente **enfriados** a muy bajas temperaturas (en general mediante **nitrógeno líquido**).

2.3 CLASIFICACION DE LA MOLIENDA.

En la **clasificación** propuesta por Hukki, la molienda, corresponde a aquellos productos de salida comprendidos entre 1 mm y 100 μm .

Hukki diferencia tres procesos que son:

TABLA # 2

CLASIFICACION DE LA MOLIENDA.

PROCESO	TAMAÑO DE SALIDA
Molienda gruesa	≤ 1 mm
Molienda fina	100 μ m
Molienda ultrafina	≤ 100 μ m

A veces se utilizan otras denominaciones **tales** como la siguiente:

TABLA # 3

CLASIFICACION DE LA MOLIENDA.

PROCESO	TAMAÑO DE SALIDA
Molienda gruesa	1 - 2 mm
Molienda media	0.2 - 0.5 mm
Molienda fina	0.05 - 0.1 mm

Los molinos utilizables en cada fase y sus principales propiedades son reseñadas en el anexo # 5.

2.4 DIMENSIONES: LARGO Y DIÀMETRO.

DIÀMETROS.

Se construyen desde 1,2-4,5 m. (4'-15').

LONGITUDES.

Para molinos pequeños (**diámetro útil** $\leq 1,5$ m.), la longitud es igual a 2-2,5 veces el **diámetro útil**.

Para molinos de diámetros mayores la longitud es de 1,5-2 veces el **diámetro útil**.

En **ningùn** caso, incluso con grandes diámetros (**diámetros** títiles mayores a 3 m.) la longitud debe ser inferior a 1,2 veces el **diámetro útil**.

2.5 DISPOSITIVOS DE ALIMENTACIÓN.

La introducción de la materia a moler se efectúa generalmente a través de uno de los ejes huecos que soportan el molino, lo que necesita un dispositivo especial de franqueo del espacio correspondiente al soporte del palier.

En el caso de tubos soportados sobre caminos de rodadura o de deslizamiento, esta servidumbre desaparece y resulta fácil introducir las materias por medio de una simple **canaleta** inclinada atravesando la pared del fondo circular.

Este mismo dispositivo puede bastar en el caso del molino sobre eje, si el **diámetro** del palier es suficientemente grande en **relación** con su alcance para permitir dar una **inclinación** correcta de la **canaleta** de introducción. Pero este no es un caso general, por lo que se utiliza cualquiera de los artificios detallados a **continuación**.

Para vía seca se utilizan alimentadores de tornillo de **Arquimides** si el material a introducir es suficientemente **fino**; es decir, en el caso de molinos acabadores alimentados con productos de 1 a 2 mm.

Si el material es claramente mas grueso (caso de los molinos preparadores) antes se utilizaban alimentadores de tornillo de un modelo muy reforzado con tornillo y cuerpo tubular de acero al manganeso, o bien canaletas de sacudidas. Estos aparatos han cedido su sitio generalmente a canaletas tubulares vibrantes, accionadas por mando **electromagnético** o por motores de contrapeso.

Debe tenerse en cuenta que estos ingenios sirven esencialmente para el transporte de la materia hasta el interior del molino, pero es mejor no pedirles que aseguren al mismo tiempo la medida y la **regulación** de la **producción**. Esta de pedirse a aparatos concebidos a tal efecto.

En el caso de la vía **húmeda**, la practica corriente hasta estos **últimos** años residía en la **utilización** de alimentadores de tambor con espiral interior, o de alimentadores de cangilones simples, dobles o triples, o de alimentadores mixtos de tambor y cangilones.

El alimentador de tambor se utiliza especialmente en el caso de molinos trabajando en circuito abierto.

Los alimentadores de cangilones, los cuales gracias a vertedores de radio **suficiente**, permiten extraer la pulpa del fondo de un depósito colocado bajo el **palier** de entrada del molino, son convenientes en el caso de que este trabaje en circuito cerrado con un hidro-clasificador de tomillo o de rastrillos. Este, colocado paralelamente al molino, recibe por gravedad la pulpa de mineral a clasificar, y sube **automáticamente** el rechazo hasta el nivel superior del depósito de **alimentación**.

Sin embargo la moda actual de **clasificación** por **ciclón**, en la cual la **circulación** de la pulpa esta asegurada por una bomba, hace **inútil** la subida por cangilones, y los alimentadores de este tipo tienden a desaparecer en las nuevas instalaciones.

2.6 DISPOSITIVOS DE SALIDA.

La evacuación de los productos molidos se **efectúa** por uno u otro de los cinco principales dispositivos citados a **continuación**:

2.6.1 Por desbordamiento.

Por desbordamiento de la pulpa a **travès** del eje del lado de salida, molinos tipo “Overflow”. Este dispositivo lejos de ser el mas simple **sòlo** puede aplicarse a la **vía** húmeda. A menudo se completa con una virola **cilíndrica** 0 **truncocónica** perforada montada en falso apoyo sobre la extremidad del eje y destinada a retener los cuerpos extraños, **fragmentos** de bolas o gruesas **partículas** duras escapadas de la molienda.

2.6.2 Por evacuacion.

Por evacuación del producto a través de parrillas colocadas en la periferia del compartimento acabador, en su extremidad opuesta a la entrada. Esta **disposición**, la cual facilita una **circulación** acelerada del producto molido, **está** indicada siempre que la

nociòn de capacidad de **producciòn** aventaje a la nociòn de fmura. Se aplica especialmente en via seca pero tambièn, excepcionalmente, en via humeda.

2.6.3 Por evacuacion a traves de parrillas.

Por evacuaciòn a travès de parrillas que forman el fondo del compartimento acabador. Estas **parrillas** pueden ser de acero o de caucho especial. Con el **fin** de garantizarlas contra un **ràpido** desgaste que puede resultar del fortamiento de la carga, en algunas ocaciones se las protege con nervios radiales de perfil redondo, de realce bastante fuerte. Las paredes peforadas **estàn** alojadas entre los citados nervios. En la parte posterior de la pared, unos brazos elevadores que forman cangilones suben la materia (pulpa o materia seca) hasta el eje central a travès del cual es evacuada. Exteriormente esta **disposiciòn** se presenta como la del tipo Overflow. Pero en este caso puede actuarse sobre la velocidad de evacuaciòn, es decir, sobre el tiempo de permanencia de la materia

en el molino, disponiendo las parrillas en una distancia mas o menos grande a partir del eje de rotaciòn.

2.6.4 Por evacuacion a traves de la pared.

Por evacuaciòn a través de la pared del tubo en cualquier punto de la longitud de este. Los orificios correspondientes **estàn** alojados entre dos tabiques perforados. Esta **disposiciòn** se utiliza en los molinos de varias **càmaras** siendo solamente la ultima la que trabaja en circuito cerrado con un separador de aire. Por lo tanto existe una **alimentaciòn** en cada extremidad del tubo, por un lado para la materia nueva y por el otro para los rechazos del separador; los dos circuitos de molienda se unen en una salida media.

2.6.5 Por dispositivo Danex.

Por el principio del dispositivo de salida **Danex** utilizado en los molinos para molturaciones ultrafmas Minipebs de la fuma FL. Schmidt.

Estos molinos, que permiten la **obtención** directa en circuito abierto de **finuras** Blaine que alcanzan de 3500 a 5000 **cm²/g.**, utilizan cargas de bolas de acero cuyos **diámetros** pueden no exceder de 6 a 8 mm.

Las parrillas **susceptibles** de retener estas bolas se desgastaran o atascaran demasiado rapidamente. En consecuencia, el constructor ha imaginado renunciar a ello y prever **únicamente** un **diafragma** anular con **evacuación** central por desbordamiento. Este **diafragma** esta seguido de una **cámara** de **separación** en la cual, gracias a un sistema de pantallas y cangilones de **elevación**, las bolas arrastradas con el cemento son recuperadas y reintroducidas en el compartimento de molienda., mientras que el cemento es recogido y evacuado por el eje hueco. Alrededor del alargamiento de este lado del acoplamiento con reductor de accionamiento, un tamiz circular retiene y separa los granos que **podrian** haberse escapado.

2.6.7 Por dispositivo de arrastre.

Por medio de un dispositivo de arrastre a través de una corriente de aire, a través del eje de salida. Esta disposición es la de todos los molinos ventilados y molinos secadores.

2.7 TAMAÑO DE LA ALIMENTACION.

Segùn Norberg para molinos de bolas:

$D_{80} = 1$ “ para materiales blandos.

$D_{80} = 1/4$ “ para materiales duros.

Segùn Allis Chalmers el tamaño **òptimo** viene dado por:

$D_{80} = 4000 (13/W_i)^{1/2}$ en um.

Segùn SIM:

Màximo: 25-30 mm. en una sola etapa de molienda.

Normal: 6-8 mm. en una sola etapa de molienda.

En dos etapas de molienda (barras **màs** bolas), la **alimentacion** debe ser tal que D95 estè comprendido entre 1-1,5 mm.

2.8 RAZON DE REDUCCION PARA MOLINOS DE BOLAS.

La **razòn** de reducciòn òptima es de 5-40 en circuito cerrado segùn SIM.

La **razòn** de reducciòn **màxima** es 100 en circuito cerrado segùn SIM.

La **razòn** de reducciòn **màxima** es 500 en circuito cerrado segùn **Blanc**.

2.9 GRADO DE LLENADO Y PORCENTAJE DE HUECOS.

Segùn Norberg el grado de llenado es del 45% y el porcentaje de huecos es del 44%.

Segùn Sim el grado de llenado es del 40-45% y el porcentaje de huecos es del 40%.

Segùn **Blanc** el volumen de huecos es de aproximadamente de 40%, con una densidad aparente de bolas de 4,6. En el caso de bolas de distintos tamaños el porcentaje de huecos es de 37% y la densidad aparente es de 4,8.

2.10 TIPOS DE FORROS.

El blindaje interior de los tambores y molinos es efectuado por medio de materias que deben presentar una gran resistencia a la

abrasión y a los choques. Estas materias pueden clasificarse en tres grandes categorías:

2.10.1 Materias no metálicas.

Adoquines de **silex**, porcelana, o de **alumina** calcinada. Estos adoquines, de un espesor de 40 a 100 mm., están anclados por medio de cemento. Su **utilización** se impone cuando la materia a moler no **debe** tener ninguna **contaminación metálica** (pastas **cerámicas**, esmaltes, etc.); especialmente se utilizan en molinos de funcionamiento discontinuo.

2.10.2 Revestimientos metálicos.

Originalmente los revestimientos **metálicos** estaban constituidos por adoquines de función blanca anclados por cemento, o sujetos por amarre por medio de cunas de madera o de metal. Aunque

este modo de **fijación** aun se utiliza, actualmente la mayoría de los blindajes **están** formados por placas de metal atornillados a la pared del molino directamente, o por medio de cunas intercaladas que forman barras de elevación.

Por su forma los blindajes **periféricos** pueden **clasificarse** en:

- a) Blindajes lisos, principalmente utilizados para la molienda fina.
- b) Blindajes acanalados paralelamente a las generatrices del tubo como el blindaje “Dragpeb” de la firma F. L. Schmidt.
- c) Blindajes ondulados tipo S. 1 OO del anexo # 6.
- d) Blindaje en cascada como el del anexo # 6.
- e) Blindaje en chapa de acero duro, con barras de elevación laminadas, de perfil con mas o menos resalte, sirviendo al mismo tiempo como cunas de **fijación**. Estos blindajes se conocen generalmente con el nombre de tipo Lorain. Los anexos # 6 y # 7 muestran los diversos tipos de revestimientos y la forma de anclaje de uno de ellos.

f) Blindaje en forma de tablero de **damas**, de tetones o de banquetas, como los blindajes “**Henricot**” o los blindajes “**Simonis-Muhlhauser**”. Estos blindajes están efectivados de manera que, por otra parte, aseguren una buena adhesividad de la carga contra la pared, suprimiendo así toda posibilidad de deslizamiento y, por otra parte, concentrando el efecto de choque debido a la **caída** de las bolas sobre la cabeza de los tetones o de los escabeles, operar un **rápido** batido sobre esta y, por consiguiente, un endurecimiento **superficial** del acero **al** manganeso, y de esta forma aumenta su resistencia a la abrasión.

g) Blindajes auto-clasificadores, que permiten ajustar **automaticamente** el **diámetro** de las bolas por dimensiones descendentes desde la entrada hacia la salida del tubo. Estos blindajes pueden estar formados, bien como el sistema imaginado por Cl. **Carman** en 1938, por una **sucesión** de **sección** anulares tronco-cónicas ensanchadas en sentido inverso del avance de la materia, o bien, como el sistema **Allis Chalmers**, por nervios en espiral repartidos alrededor de la pared cilíndrica.

h) Blindajes con diafragmas, con el fin de facilitar la **clasificación** de las bolas y aumentar la **elevación** de la carga por la **creación** de superficies de arrastre suplementarias, algunos fabricantes han tenido la idea de colocar, a intervalos mas o menos grandes en los compartimentos acabadores de los molinos, unos diafragmas anulares formados por placas fijadas **perpendicularmente** a la pared. Estas placas pueden ser perforadas con agujeros oblicuos, o dispuestos en forma de persianas, con el **fin** de dejar libre la **circulación** de la materia a moler. Su altura generalmente es del orden del 40% del radio interior del espacio libre. El dispositivo “**Danula**” de F. L. Smidt, así como ciertos dispositivos patentados por la **firma** Slegten, parten de esta **técnica**.

2.10.3 Revestimientos Mixtos.

Este tipo de blindajes tuvo en su tiempo gran éxito en el tratamiento de minerales por medio de minerales acabadores con carga de cantos rodados de silice; se trata del tipo “El Oro” formado por placas metálicas con profundas ranuras longitudinales en las cuales se encastraban hileras de cantos rodados cuyo conjunto constituía una especie de blindaje autogeno.

2.10.4 Revestimientos de goma.

Un primer intento de lanzar la utilización de blindajes de caucho se efectuó hace casi 50 años (blindaje “Linerite” de Goodrich). No se conocen las razones de su poco éxito. El problema fue estudiado nuevamente hace unos diez años, particularmente por las firmas suecas “Skega” y “Trelleborg”. Blindajes de todas las formas y de todas las dimensiones, enteramente realizados en

caucho, han sido puestos a punto y han dado muestra de una excelente resistencia a la abrasión. En los mejores casos se han observado duraciones de varias veces superiores a las de los blindajes metálicos.

Algunas composiciones especiales permiten resistir, a temperaturas superiores a los 110° (caso de la molienda del cemento), mientras que en otras dan a las piezas un color claro que permite no alterar ciertos productos molidos, como el cemento blanco, esmaltes, etc.. .

Los blindajes de caucho se aplican tanto en vía húmeda como en vía seca. Además de buena resistencia al desgaste, los revestimientos de caucho presentan la ventaja de reducir el nivel sonoro de los molinos, así como asegura un buen arrastre de la carga, evitando deslizamientos y permitiendo así reducir ligeramente la velocidad de ataque. Su peso claramente más bajo facilita la colocación, permitiendo utilizar elementos de mayor

superficie de esta forma y de reducir el número de juntas, lo que solo puede mejorar el comportamiento.

2.11 Propósito de los blindajes o revestimientos.

La determinación de su naturaleza y de su óptimo espesor será naturalmente en función del tipo de servicio a asegurar. Un aumento del espesor del blindaje prolonga la duración de éste, pero entorpece la construcción y disminuye el volumen interior útil. El perfil del blindaje juega igualmente un papel importante, ya que los desgastes son a menudo irregulares y se concentran en ciertas partes que interesa reforzar con sobre-espesor (especialmente en la zona debilitada por la presencia de tomillos de fijación), dado que en la mitad de los casos los blindajes deben cambiarse después del desgaste del 50 al 70% de su peso, un aumento de espesor tiene un efecto más proporcional sobre la duración.

De esta forma, en un molino de bolas, *vía hùmeda*, de 2,7 m. de **diámetro**, el hecho de llevar el espesor de los blindajes de 100 a 130 mm. ha aumentado su **duraciòn** en un 38%, mientras que el hecho de la **reducciòn** del **diámetro** medio *ùtil* la fuerza consumida *asì* como la **producciòn** se **reducian** en un 5%.

Debe tenerse en cuenta que los progresos realizados en el machaqueo **fino**, bien por medio de molinos de cono giratorio si se trata de **matiras** duras y abrasivas, o bien por molinos de martillos si se trata de materias no abrasivas, permite alimentar a los molinos de bolas con productos calibrados 12, 8 ò hasta 6 mm., y esta practica, que se ha revelado la mas **econòmica** desde un punto de vista de un consumo de **energia**, se ha convertido en la actualidad en absolutamente corriente. En consecuencia en los compartimentos desbastadores de los molinos de bolas, es suficiente una carga formada por bolas de acero de 60 a 80 mm. de **diámetro**, en lugar de 100 a 125 como anteriormente.

La fatiga de los blindajes es, pues, inferior y puede utilizarse espesores inferiores. Por el mismo motivo, el resalte de las barras de elevaciòn, generalmente fijado en un valor ligeramente superior al **semi-diámetro** de las bolas mas gruesas, puede reducirse proporcionalmente.

Los blindajes **metàlicos** son ejecutados bien en **fundiciòn** blanca o en **fundiciòn** templada, bien en fundiciòn Ni-Hard, bien en aceros . moldeados al cromo-molibdeno o al cromo-niquel-molibdeno, o bien fmalmente en acero al 12-14% de manganeso. Para estos **ùltimos** su modo de **fijaciòn** debe tener en cuenta que puede estar sujetos a importantes variaciones de tensiòn bajo el impacto de las bolas.

La **fijaciòn** por simple apriete de tornillos no aporta una seguridad total, y a menudo se ha reconocido rentable completarla con un anclaje con cemento, compuesto sobre planchas de madera., o sobre hojas de caucho. En el trabajo por vìa **hùmeda**, sera importante asegurar una estanquiedad del blindaje lo mas perfectamente posible, con en **fin** de proteger el cuerpo tubular y

los fondos del molino contra la **abrasión** y la **corrosión** que no dejan de provocar la **introducción** de corrientes de pulpa.

2. 12 DIMENSIONAMIENTO DE LOS CUERPOS MOLEDORES.

2.12.1 Tipos de bolas.

Los cuerpos molidores pueden ser:

- a) Bolas de **fundición**, se utilizan poco pues tienen poca resistencia **al** choque y a la **abrasión**.
- b) Bolas de acero forjado, son las **más** utilizadas en la molienda de minerales.
- c) Bolas de acero fundido, se utilizan en la industria del cemento. Son **más** caras que las forjadas.

d) Bolas fundidas **aleadas** (cromo ò cromo-molibdeno), se utilizan en el caso de pulpas corrosivas.

2. 12.2 Dureza de las bolas.

La dureza de la bola puede oscilar entre 350 - 450 Brinell para bolas blandas y 700 Brinell para bolas duras. Los **diámetros** de las bolas van de 5 a 3/4 “. Para moliendas **finas**, especialmente en la molienda del clínquer, se utilizan cuerpos no **esféricos** (cylpebs) que tienen mayor superficie de trabajo. Los cylpebs son cuerpos **cilíndricos** o **cilíndrico-cónicos**.

2.13 TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE LAS BOLAS.

Se necesitan cuerpos moledores de **diámetro** grande para romper los trozos gruesos del mineral, y de **diámetro** pequeño para dar **fmura** al producto triturado.

Para determinar el tamaño **màximo** del cuerpo moledor, debe tenerse en cuenta que:

* A mayor tamaño del mineral mayor diámetro del cuerpo moledor.

* A mayor dureza del mineral mayor diámetro del cuerpo moledor.

* A mayor **diámetro** del molino menor diámetro del cuerpo moledor.

* A mayor velocidad del molino (inferior a la **crítica**) menor diámetro del cuerpo moledor.

Todos estos factores se tienen en cuenta en la **fòrmula de Blanc** siguiente:

$$M = \left((F \cdot W_i / K \cdot C_s) (s / (D)^{1/2})^{1/2} \right)^{1/2} \quad (2.3)$$

donde:

M = **diámetro màximo** del cuerpo moledor, expresado en pulgadas.

F = D80 en la **alimentaciòn** expresado en micras

W_i = **índice de Bond**

C_s = porcentaje de la velocidad **crítica** a la que gira el molino.

S = peso **específico** del mineral, expresado en gr./ cm³.

D = diámetro interior **útil** del molino, expresado en pies.

K = constante, su valor viene dado por:

K = 100 para bolos (guijarros, pebbles)

K = 200 para bolas

K = 300 para barras

En cuanto a la **distribución** porcentual de los cuerpos moledores en **función** del diámetro, se aplica la formula de Bond:

$$y = 100 (x/B)^m \quad (2.4)$$

donde:

y = porcentaje en peso de los cuerpos moledores de **diámetro** inferior a x, ya que va a ver de varios tamaños.

x = tamaño dado

B = **diámetro máximo** de los cuerpos moledores, su valor es el que se ha obtenido en la formula anterior.

m = constante, sus valores son:

$m= 3,01$ para barras

$m= 3,84$ para bolas

En el anexo # 8 figuran las distribuciones de carga inicial y de reposición para molinos de bolas según Nordberg.

2.14 DETERMINACION DE LA CARGA CIRCULANTE EN UN CIRCUITO CERRADO EN FUNCIONAMIENTO.

Existen dos disposiciones de máquinas (conminución y clasificación por tamaños) en un circuito cerrado:

2.14.1 CLASIFICADOR PREVIO A LA MAQUINA DE CONMINUCION.

Es la disposición usual en las operaciones de trituración. En la molienda se utiliza cuando la alimentación contenga muchos

finos o haya que evitar al **màximo** la **producciòn** de sobretriturados.

El procedimiento para determinar la carga circulante en un circuito cerrado con un clasificador previo a la maquina de conminuciòn es el siguiente:

a) Se toman muestras de la **alimentaciòn** (A), del pasante de la criba o clasificador (P), del rechazo (R), y del producto triturado o molido (T).

b) Con todas estas muestras se hacen **anàlisis granulomètricos**, cribando a distintos tamices de aberturas m_1, m_2, \dots, m_i ; quedando estos resultados en la tabla siguiente:

TABLA # 4

TABLA PARA DETERMINAR CARGA CIRCULANTE.

Abertura de malla	% de paso acumulado			
	A	P	R	T
m1	a1	p1	r1	t1
m2	a2	p2	r2	t2
mi	ai	pi	ri	ti

En el tonelaje se verifica que:

$$A = P$$

$$R = T$$

Tambièn se verifica que la carga circulante es:

$$C_i = T/A \cdot 100$$

y como:

$$A \cdot a_i + T \cdot t_i = P \cdot p_i + R \cdot r_i$$

tendremos:

$$A \cdot a_i + T \cdot t_i = A \cdot p_i + T \cdot r_i$$

de donde resulta:

$$C = 100 (p_i - a_i) / (t_i - r_i) = 100 y / x \quad (2.5)$$

con lo cual podemos representar en unos ejes cartesianos el valor de la carga circulante en **función** de los valores de x y de y.

2.14.2 CLASIFICADOR POSTERIOR A LA MAQUINA DE CONMINUCION.

Es la disposición usual en las operaciones de molienda. En **trituration** esta disposición es menos utilizada.

En este caso se toma muestra en: T, P, y R.

Se verifica que:

$$A = P$$

$$A + R = T$$

y por tanto:

$$T \cdot t_i = P \cdot \pi R \cdot r_i$$

y dado que la carga circulante viene dado por:

$$C = R/A \cdot 100$$

nos quedará:

$$t_i \cdot (A + R) = A \cdot \pi + R \cdot r_i$$

y por tanto la carga circulante resulta:

$$C = 100 \cdot \pi - t_i / t_i - r_i = 100 y / x \quad (2.6)$$

2.15 CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR.

2.15.1 Por SIM.

Para realizar un tanteo rápido:

$$P_m = 1,3 \cdot 10 W \left(\left((d80)^{-1/2} \right) - (D80)^{-1/2} \right) \cdot T \quad (2.7)$$

donde:

P_m = potencia del motor (KW)

W_i = **índice** de Bond

d_{80} = malla para la cual pasa el 80% del producto a la salida del molino (μm)

D_{80} = malla por la cual pasa el 80% del producto que llega al molino (μm)

T = caudal a tratar (sht/h)

Los factores de **corrección** que se introducen son:

* Por **diámetro** del molino.

* Por $d_{80} < 70 \mu\text{m}$

* Por carga circulante ($250 / c$) 0.1 Este factor es válido si $c \geq 50\%$

2.15.2 Según Norberg.

Para moliendas en **húmedo** en circuito cerrado.

$$P_m = 1,34 \cdot 10 W_i ((d_{80})^{-1/2} - (D_{80})^{-1/2}) \cdot T$$

Los factores de corrección que introduce son:

* Molienda en **húmedo** en circuito abierto sin limitación de tamaño **máximo** de salida: potencia motriz $G = P_m$.

* Molienda en **húmedo** en circuito abierto con limitaciones del tamaño **máximo** de salida: potencia motriz $G = 1,25 P_m$.

* Molienda en seco en circuito cerrado: $G = 1,30 P_m$.

* **Molienda en seco en circuito abierto sin limitaciones del tamaño máximo** de salida: $G = 1,30 P_m$.

* Molienda en seco en circuito abierto con limitaciones del tamaño **máximo** de salida: $G = 1,30 - 2 P_m$.

Si $d_{80} < 70 \text{ um.}$: $G = P_m (d_{80} \cdot 10,3) / 1,145 \cdot d_{80}$

2.15.3 Segùn Allis Chalmers.

Con factores de corrección completos, la potencia necesaria para la molienda viene dada por:

$$P = 10 W_i ((d_{80})^{-1/2} - (D_{80})^{-1/2}) \cdot T ; (\text{KW} / \text{sht})$$

o bien por:

$$P = 10W_i \cdot 1/0,907 ((d_{80})^{-1/2} - (D_{80})^{-1/2}) \cdot T ; (KW / t)$$

Los factores de **corrección** que se aplican son:

EF1 Molienda en seco, para las mismas condiciones de trabajo;

1,3 veces mas potencia que .en **húmedo**.

EF2 Para circuito abierto en molino de bolas, en **función** del grado o control del tamaño del producto molido existe un factor cuyo valor **varia** entre 1,035 (para un 50% menor que un tamaño determinado) y 1,57 (para un 95% menor que un tamaño determinado). El. valor medio 1,3 viene a equivaler al 85%.

EF3 Factor de eficacia del **diámetro** del molino. Su valor viene dado por:

$$EF3 = (2,44 / D)^{0.2}$$

siendo:

D = **diámetro** interior **útil** del molino (m.).

Para $D > 3,81$ m., $EF3 = 0,914$.

EF4 Sobretamaño en la alimentación, se utiliza cuando la alimentación ($D80$) es mayor que la óptima; se aplica abarras y bolas. El uso **más** frecuente es para una sola etapa de molienda empleando molinos de bolas. Su valor viene dado por:

$$EF4 = (Rr + (Wi - 7) ((D80 - D80op) / D80op)) / Rr$$

siendo:

$Rr =$ razón de **reducción** = $D80 / d80$

$Wi =$ **índice** de Bond

$D80op =$ tamaño óptimo de alimentación **al** molino de barras o bolas.

EF5 Molienda **fina** en molino de bolas, aplicable a tamaños en los cuales $d80 < 75$ μ m. (200 mallas). Este factor es utilizable incluso para tanteos. No se aplica a barras ya que estas no muelen tan fino. Su valor viene dado por:

$$EF5 = (d80 + 10,3) / (1,145 \cdot d80)$$

EF6 Bajo índice de reducción en molinos de bolas, se utiliza cuando la razón de reducción es menor de 6. Este suele ser el caso de las remoliendas. Su valor viene dado por:

$$EF6 = (2(Rr-1,35) + 0,26) / 2(Rr-1,35)$$

Según Allis Chahners en cualquier caso el motor debe escogerse de modo que permita trabajar con un 45% de grado de llenado de carga para el volumen útil del molino con revestimientos nuevos y con un 36% de grado de llenado para el volumen útil del molino con revestimientos desgastados.

2.16 CONSUMO DE ENERGIA.

El calculo de la energía se basa en las reglas de Bond, conociendo el índice de trabajo del material se puede calcular la energía consumida por el molino pues esta depende de su carga **màxima**

de bolas y del medio de molienda. Esto se manifiesta en la ecuación siguiente:

$$E = P / Q$$

donde:

Q = tasa de producción (Tm / h) o (Tcorta / h)

P = potencia (KW)

E = consumo de energía (KWH / Tm) o (KWH / Tcorta)

2.17 VELOCIDAD CRÍTICA.

La velocidad crítica (N_c) es la mínima velocidad angular, a la cual una bola, en el interior del molino, se adhiere a este por efecto centrifugo y no se desprende al llegar a la parte superior del mismo. La velocidad crítica es independiente del tipo de medio presente en el molino; dicha velocidad viene dada por la expresión siguiente:

$$N_c = 42,3 / (D)^{1/2} \quad (2.8)$$

siendo:

D = **diámetro** útil del molino (m.).

NC = velocidad **crítica** (rpm).

2.18 VELOCIDAD DE TRABAJO.

Puede oscilar entre el 60 - 90% de la velocidad crítica. La **mayoría** de los molinos funcionan entre 65 - 75% de la velocidad crítica.

Para grandes molinos (> 3 m. de **diámetro**) se toma como velocidad de giro el 40% de la velocidad crítica.

CAPITULO III

TIPO DE MOLIENDA.

3. 1 MOLIENDA EN SECO 0 MOLIENDA EN HUMEDO.

La molienda puede hacerse con materiales practicamente secos, molienda en seco, en este caso el porcentaje **màximo** de agua es del orden del 4-6 %. La molienda en seco se puede hacer con materiales humedos pero con la **condición** de utilizar aire caliente. En este caso el porcentaje de agua es **función** del tipo de molino que estemos utilizando (15-20 % en molinos de bolas, 25-30% en molinos pendulares, etc.)

La molienda en humedo se realiza con los materiales en pulpa. Para moliendas a 1-2 mm, el % de agua en volumen es del 40-45%, con un % de sòlidos en peso del 75-80%, para minerales de densidad comprendida entre 2,7-3,0.

La elecciòn entre molienda en seco o hùmedo suele estar condicionada al proceso posterior de tratamiento o a la forma en que haya de venderse o expedirse el producto final.

3. 2 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA MOLIENDA EN SECO CON RESPECTO A LA MOLIENDA EN HUMEDO.

3.2.1 VENTAJAS.

*Menor desgaste, en seco, de los cuerpos molidores y blindajes.

Bond da como valor medio un consumo cinco veces superior (hasta siete) para una molienda en **húmedo** (la molienda en seco tiene un consumo del 10-25% del consumo en la molienda en húmedo).

Nordberg da consumos de barras o bolas tres veces superior en **húmedo** que en seco.

*Mayor flexibilidad para moler en un mismo circuito materiales diferentes o para obtener **granulometrias** variadas, esto ultimo es debido a la mayor facilidad de reglaje de los clasificadores neumaticos.

3.2.2 INCONVENIENTES.

*Consumo de **energía calórica** en el caso de que el producto no esté totalmente seco (aproximadamente 1000 Kcal. por cada Kg. de agua).

*En la molienda en seco mayor consumo de **energía eléctrica**; en la molienda como valor medio 38 % superior al de **vía húmeda** (10-60%).

En la **evaluación** y la **clasificación neumática** esto puede suponer casi un 50 % de la potencia consumida en la molienda.

CAPITULO IV

USOS Y APLICACIONES DE LA CALIZA MICRONIZADA.

4.1 ENCALADO DE SUELOS.

El uso más importante de la caliza en la agricultura es el tratamiento de las tierras para neutralizar los ácidos del suelo y añadir los nutrientes calcio y magnesio, esenciales para las plantas.

La pureza de la caliza agrícola es poco importante, ya que puede usarse con éxito cualquier material calcareo, incluso las margas impuras, para enmendar los suelos, siempre que se utilice cantidad suficiente. La caliza se compra tomando como base su equivalente en óxido de calcio, pues el contenido de óxido de calcio y de óxido de magnesio juntos es el que determina la potencia neutralizante de la caliza. Como consecuencia una marga de baja calidad con un 40 % de CaO se cotizaría a un precio por lo menos 20% mas bajo que la caliza con un 50 % de óxido de calcio.

El factor mas importante entre los que influye en el precio y la **coveniencia** de la caliza agrícola es el grado de finura. Generalmente los agricultores prefieren usar las formas de caliza mas finamente pulverizadas, porque reaccionan mas rápidamente que las fracciones mas gruesas. Sin embargo, los agrónomos no están de acuerdo en lo que respecta al tamaño de caliza mas adecuado que deben de recomendar a los agricultores. En el Medio Oeste de los Estados Unidos predomina ta caliza gruesa (tamaño de 10 mallas); pero en los estados del Este y muchos del Sur la opinión de los agrónomos es

que, a pesar de su costo mas alto, debe estimularse entre los agricultores el uso de la caliza finamente molida (50 a 200 mallas).

Tanto las calizas ricas en calcio como las calizas dolomíticas se usan extensamente en el encalado de los suelos. En algunas regines la caliza dolomítica obtiene un precio ligeramente más alto por tonelada, porque su potencia neutralizadora es aproximadamente 10 % mayor que la de la caliza rica en calcio de una pureza comparable.

La tendencia en los **últimos** anos ha sido a un uso ligeramente mayor de dolomita, pues los agrónomos han descubierto que muchos suelos son deficientes en magnesio. Sin embargo la mayor parte de la caliza vendida es caliza rica en calcio, por ser que se produce mas. La principal ventaja de la cal sobre la caliza es que neutraliza los ácidos del suelo con mayor rapidez.

4.2 RELLENO DE FERTILIZANTES.

Las fábricas oriductoras de fertilizantes mixtos están usando cantidades crecientes de caliza pulverizada como relleno en sus productos. Ese uso es completamente lógico, ya que la caliza aplicada de esa manera satisface algunas de las necesidades de encalado de los agricultores. Antes, muchas fábricas usaban como relleno minerales no **calcáreos** de bajo costo, inofensivos para el suelo y relativamente inertes. Como relleno para fertilizantes se prefiere la caliza dolomítica a la caliza rica en calcio.

4.3 PIENSOS.

En los últimos años se ha observado una tendencia creciente al uso mas intenso de suplementos minerales para enriquecer y fortalecer los diversos tipos de alimentos orgánicos para animales. El calcio es necesario a los animales en cantidades mayores que ningún otro mineral- La caliza rica en calcio pulverizada proporciona calcio **facilmente** asimilable de una manera muy económica y es el portador

ideal para los otros elementos, entre ellos los oligoelementos, que constituyen un suplemento mineral. La mayoría de las especificaciones exigen calizas finamente molidas que pase por el tamiz de 100 mallas en proporción de por lo menos 95 %. La caliza tiene que ser también bastante pura. Además de conocer poca sílice y poca **alúmina**, el contenido de fluor y arsénico tiene que ser sumamente bajo. Químicamente son relativamente pocas las calizas que reúnen las cualidades necesarias para ser un ingrediente satisfactorio de suplementos minerales.

La mayoría de las arenas suministradas a las **gallinas** son de origen calizo, pues si bien es posible hacer estos materiales partiendo de rocas diferentes de la caliza, una ventaja que se **afirma** tienen las arenas de caliza es que las gallinas asimilan una parte del calcio. Las gallinas necesitan generalmente arenas de 6 mm.; los pavos consumen un tamaño mayor y los pollos exigen un tamaño inferior a 6 mm. El **análisis** químico de la caliza destinada a estos usos es poco importante. El principal requisito es que las arenas estén

minuciosamente cribadas, de modo que sus partículas sean de un tamaño lo más uniforme posible.

4.4 LANA MINERAL.

Aunque el tonelaje de caliza usada para producir lana mineral es relativamente pequeño, la caliza es una de las materias primas principales en la producción de este y otros materiales aislantes. Se mezclan calizas impuras (arcillosas o silíceas) en proporciones variables con coque y otros minerales, como arcilla y escoria, y se aglutinan por fusión. Por inyección de aire o vapor en la masa fundida, se produce el material aislante fibroso y de peso ligero.

4.5 ARENA CALIZA.

Por una molienda minuciosa seguida de un cribado preciso, se produce “arena” caliza de un tamaño uniforme de partícula que tiene carteres físicos análogos a la arena silícea bien clasificada. Este

producto sirve como arena en muchos usos en la construcción en regiones donde escasea la arena limpia y bien calificada para la construcción. La caliza molida de **tamaño** uniforme se usa también como ingrediente del estuco y el terrazo para la construcción de muros interiores y exteriores.

4.6 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DIVERSOS.

La caliza molida o pulverizada de diferentes grados de finura se usa en pequeñas cantidades como relleno para productos de asbesto, en la preparación calcimina (enlucido a la cola), compuestos para calafatear, masilla y mortero para **parchar**. La caliza uniformemente cribada de un tamaño parecido al de la arena se usa mucho como **gránulos** para recubrir materiales bituminosos para techar.

4.7 TRATAMIENTO DE AGUAS.

La cal, producto de la caliza, es tal vez el compuesto químico mas usado en el tratamiento de las aguas potables e industriales. Municipios, industrias y ferrocarriles la usan para mejorar la calidad de sus aguas.

4.7.1 ABLANDAMIENTO.

En el ablandamiento del agua la cal desempeña la función de eliminar la dureza temporal (bicarbonato) del agua. Cuando la dureza temporal acompaña dureza permanente (sulfato), se usa cal con carbonato sódico, pero **actualmente** algunas instalaciones usan el sistema de zeolitas en lugar del carbonato. Este procedimiento se llama “ tratamiento mixto cal-zeolita ”.

4.7.2 PURIFICACIÓN.

Añadiendo cal en exceso al agua y reteniendo en contacto el agua con la cal durante 24-48 horas, es posible purificar el agua de bacterias y reducir al mismo tiempo la dureza temporal. Este

procedimiento, llamado “ tratamiento con exceso de alcalinidad ”, se emplea con el agua fenólica, ya que el tratamiento con cloro tiende a producir un agua desagradable al paladar debido al fenol.

4.7.3 COAGULACIÓN.

La cal se usa juntamente con alumbre o sales de hierro para coagular sólidos suspendidos y quitar la turbiedad del agua. Sirve para mantener el pH correcto de la coagulación.

4.7.4 NEUTRALIZACIÓN DEL AGUA ÁCIDA.

La cal se usa para combatir las condiciones del “agua roja” neutralizando el agua ácida e impidiendo así la corrosión de las tuberías.

4.7.5 ELIMINACIÓN DE LA SÍLICE.

Uno de los métodos mas comunes para eliminar la sílice del agua es el uso de la cal dolomítica. El componente magnésico de esta cal es la sustancia activa en la eliminación de la sílice.

También se emplea la caliza en polo **fino** (“harina de caliza”) para facilitar la coagulación en las instaciones municipales de tratamiento de aguas de algunas localidades.

4.8 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS Y DE LAS AGUAS DE CLOACA.

4.8.1 AGUAS CLOACALES.

La cal se usa frecuentemente en las instalaciones de tratamiento de aguas negras para neutralizar la acidez, manteniendo así el pH correcto para los procesos de oxidación biológica. Para este fm, se

añade generalmente cal en el digestor de lodos. Además, en otras instalaciones, se usa cal con otros coagulantes (alumbre o sales de hierro) para separar los sólidos no depositables que se resisten a la eliminación por tratamiento mecánico o biológico. Esto es principalmente un proceso de clarificación y, cuando se usa conjuntamente con un proceso de biológico, permite a estas instalaciones manejar el **máximo** de las cargas de residuos, facilita la filtración y sirve para aumentar la capacidad de **la** planta de tratamiento de los residuos. Además de ajustar el pH, la cal reduce la cantidad de coagulantes mas caros y contribuye a hacer mas compacto el lodo resultante.

El principal uso de la caliza en el campo de la sanidad es como material de lechos **filtrantes** en las instalaciones de tratamiento de las aguas negras. **Éstas** se **filtran** a través de capas de caliza en grano grueso uniformemente cribada. Los microorganismo que purifican las aguas fecales se desarrollan mejor en medio **alcalino**, producido por caliza. Además, la caliza, preferiblemente en estado

finamente dividido, es eficaz para neutralizar aguas ácidas de instalaciones industriales.

4.8.2 AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.

La cal se está usando con éxito para el tratamiento de ciertos residuos industriales, como por ejemplo, para neutralizar el ácido sulfúrico libre y precipitar las sales de hierro de los líquidos residuales de la limpieza de metales y para neutralizar y precipitar residuos de las instalaciones de **galvanoplastia** que usan cianuro, cromo y cobre. Algunos residuos ácidos de fábricas de productos químicos y **farmacéuticos** se neutralizan con cal antes de arrojarlos en las corrientes de agua o en las alcantarillas.

La precipitación química de los residuos de las fábricas de conservas de hortalizas y frutos y de lechería se realiza con cal, a veces sola., por regla general con coagulantes químicos. El método más eficaz para **resolver** el problema del tratamiento de las aguas residuales de las fábricas de **azúcar** de remolacha es la

clarificación con cal que permite volver a utilizar el agua en el sistema y recuperar **azúcar** y otros residuos vendibles que de otra manera se perderían.

4.8 VIDRIO.

La cal, de ordinario cal dolomítica, ocupa el tercer lugar, **despues** del carbonato de sodio y la arena, entre las materias primas para la fabricación del video. Algunas fábricas prefieren usar caliza, otras usan cal viva y las menos cal hidratada. Tomando como base el óxido de calcio **equivalente**, los consumos de cal y caliza son aproximadamente los mismo.

4.10 COSMÉTICOS.

Los polvos para el baño son de talco solo o mezclados con carbonato de calcio precipitado, arcilla coloidal y estearato de magnesio 0 cinc. Los dos primeros aditivos sirven como

absorbentes de la humedad que queda en la piel después de secarse con la toalla, el estearato hace que adhiera mejor. Puede añadirse óxido de cinc para aclarar el color de la mezcla.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Observando la distribución granulométrica inicial, será mejor realizar la molienda en dos etapas: una molienda fina y una molienda ultrafina.
- Al realizar la molienda en dos etapas hay mayor productividad.
- El W_i obtenido caracteriza al material como duro.
- El tanto por ciento del carbonato de calcio (88.20 %) lo hace **idoneo** para las aplicaciones propuestas.

- En razón de las aplicaciones de la caliza desde tamaños medios, **finos** y ultrafinos se justifica la instalación de plantas pulverizadoras en el país, para proveer de materias primas e insumos a amplios sectores nacionales y del exterior.

ANEXOS

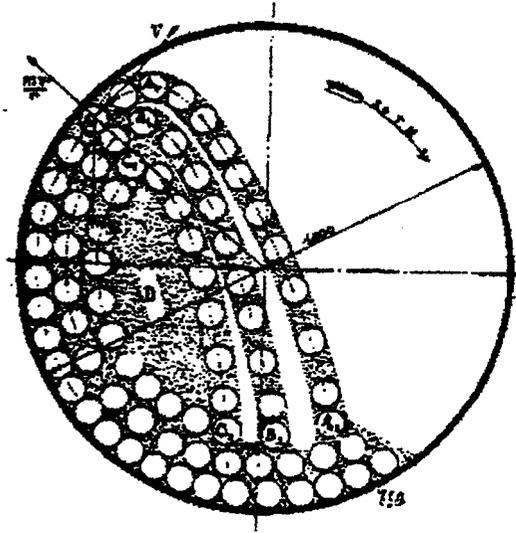


FIGURA # 1

**MOVIMIENTO DE LAS BOLAS EN EL INTERIOR
DEL TAMBOR.**

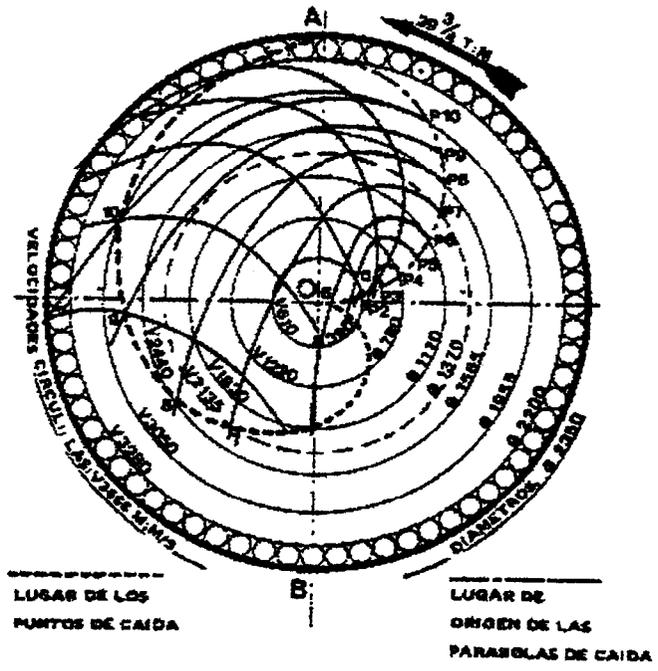


FIGURA # 2

TRAZADO TEORICO DE LA TRAYECTORIA DE LAS BOLAS.

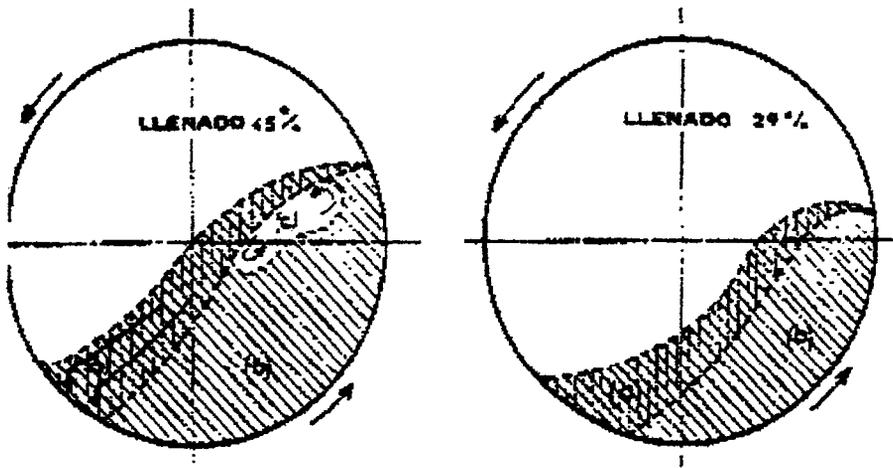


FIGURA # 3

MOVIMIENTO DE LAS CARGAS SEGÚN EL GRADO DE LLENADO.

ANEXO # 1

TABLA COMPARATIVA DE DUREZA.

ESCALA DE DUREZA DE MOHS	MINERAL
10	DIAMANTE
9	CORINDON
8	TOPACIO
7	CUARZO
6	ORTOSA
5	APATITO
4	FLUORITA
3	CALCITA
	HALITA
2	YESO
1	TALCO

ANEXO # 2

INDICE DE TRABAJO PARA ALGUNOS MATERIALES

MATERIAL	INDICE DE TRABAJO [KWH/Tcorta]
Bauxita	11.00
Corindón	33.00
Dolomita	14.00
Granito	12.00
Hematita	1 5 . 0 0
Caliza	15.00
Magnetita	12.00
Pirita	11.00
Cuarzo	16.00

ANEXO # 3

DESCRIPCION DEL MINERAL SEGUN SU W_i

DESCRIPCION	LIMITE W_i (KWH/Tcorta)
Muy blando	8
Blando	8 - 12
Medio	12 - 16
Duro	16 - 20
Muy duro	20 - 24
Extremadamente duro	24

ANEXO 4A

ANALISIS GRANULOMETRICO

Tamis	Peso parcial	%Retenido	%Retenido Acumulado	%Pasante Acumulado
4	7	0.004	0.004	0.996
5	30	0.019	0.023	0.977
8	260	0.168	0.191	0.809
10	123	0.079	0.270	0.730
18	433	0.280	0.550	0.450
30	228	0.147	0.697	0.303
50	193	0.125	0.822	0.178
70	71	0.045	0.867	0.133
100	55	0.038	0.902	0.098
140	28	0.018	0.920	0.080
1200	71	0.045	0.965	0.035
Fondo	46	0.029	0.994	0.006
Total				

ANEXO # 4 B

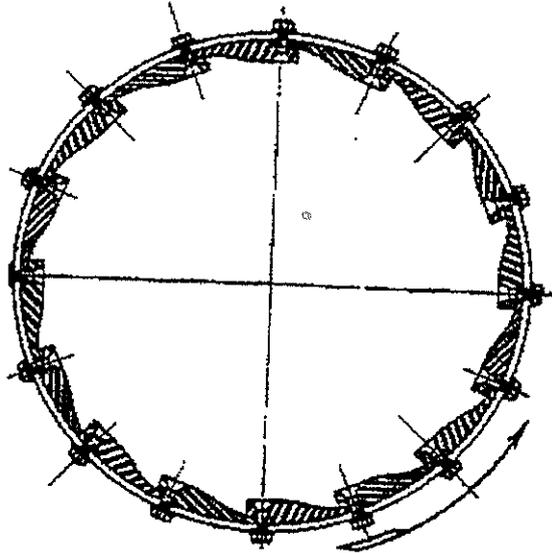
TABLA DE RESULTADOS PRUEBA DE INDICE DE BOND.

CICLO ALIMT. MOLD.	-200 NUEVA MESH	FRACCION	REV. -200	PROD. P. NETO	MESH NETO /REV.		
1	(gso)	(gso)	(grs)	(rpm)	(gr.)	(gr.)	(gr./rev)
				150	114	66.44	0.4429
2	114	6.67	326.76	642	232	227.33	0.3540
3	232	9.51	321.91	909	296	286.49	0.3151
4	2%	12.36	3 19.29	1013	321	308.64	0.3046
5	321	13.16	3 18.26	1046	329	315.84	0.3019
6	329	13.49	3 17.94	1056	332	318.51	0.3016

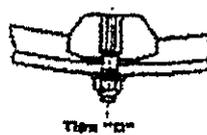
ANEXO # 5

RESULTADOS

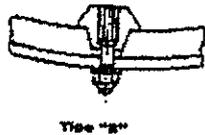
MATERIAL: CALIZA
TAMAÑO: TAYLER # 8 (8 mm.)
CONTENIDO DE CARBONATO DE CALCIO: 88.20%
VELOCIDAD CRITICA: 76 RPM
VELOCIDAD DE TRABAJO: 60 RPM
CARGA **MAXIMA** DE BOLAS: 0.2176
PESO VOLUMETRICO 700 cc.: 1160 g.
PPI: 331.43 g.
Gbp: 0.3027
Wi: 17.60 KWH/Tcorta
POTENCIA: 0.08 KW
ENERGIA: 2 1.85 KWH/Tcorta
ALIMENTACION: 18.46 g/min.



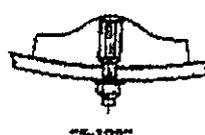
Tipo "A"



Tipo "B"



Tipo "C"

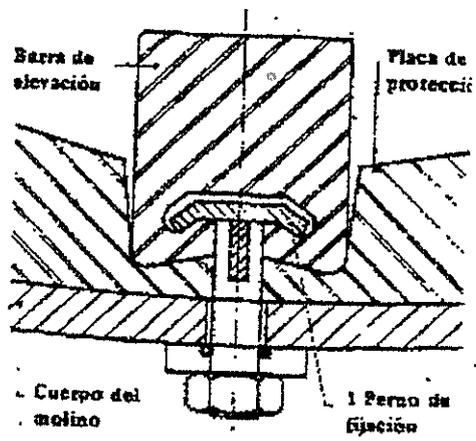


"D-102"



ANEXO # 6

DIVERSAS FORMAS DE LOS BLINDAJES.



ANEXO # 7

FIJACION DE BLINDAJES DE GOMA.

ANEXO # 8

DISTRIBUCION DE LA CARGA INICIAL Y DE REPOSICION EN UN MOLINO DE BOLAS PARA OBTENER UNA CARGA EQUILIBRADA.

DIAMETRO DE BOLAS (" / mm)	Distribucion de la carga para cada diametro maximo de la bola (% en peso).										
	5	4 ½	4	3 ½	3	2 ½	2	1 ½	1 ¼	1 7/8	¾
5/125	17										
4 ½ /125	25 16										
4 / 100	20 30 20										
3 ½ /90	15 21 32 22										
3 / 75	10 14 21 35 26										
2 ½ / 65	6,4 9,1 12 19 36 32										
2 / 50	3,8 5,4 8,4 14,6 22 39 38										
1 ½ / 40	2,8 2,4 3,4 5,3 9,2 16,5 35 28										
1 ¼ / 30	1,6 1,2 2,0 3,2 6,1 13 36 30										
1 / 25	1,3 1,0 1,7 2,9 6,4 16 32 22										
7/8 /22	1,1 1,9 1,4 3,1 8 14,5 52 24										
¾ /20	2,1 4,5 12 23,5 26 76 100										

BIBLIOGRAFIA

- [1] BLANC, E. C., Tecnología de los aparatos de **fracmentación** y de clasificación dimensional (París: Ediciones Eyrolles, 1990), pp.57-95.
- [2] C.E.P.E., Iniciación práctica a la **mineralogía** (Superintendencia Regional Guayaquil, 1976), pp. 17-28, 45-46.
- [3] NUÑEZ A., Plantas de tratamiento de minerales (España, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 1994), pp. 1-35.
- [4] RAYMOND E. KIRK – DONALD F. OTHMER, Enciclopedia de tecnología **química** (Editorial Hispanoamerica, 1961), pp.