



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"OPTIMIZACION DE LOS PARAMETROS EN MOLIENDA"



T E S I S

EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

Que para obtener el Título de
Ingeniero Químico Metalúrgico

p r e s e n t a:

MARIA GUADALUPE MOSQUEDA FIERRO



México, D. F.

1987



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 está 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.

I N D I C E

1.- RESUMEN	1
2.- INTRODUCCION	6
3.- OBJETIVO	12
4.- GENERALIDADES EN MOLIENDA	14
4.1 PRINCIPIOS Y TEORIAS DE TRITUACION Y MOLIENDA	15
4.1.1 "Leyes Energéticas"	15
4.1.2 Granulometría de los productos fragmentados	20
4.1.3 Evaluación de la Distribución Granulométrica	25
4.1.4 Medios de Molienda	32
4.1.5 Factores que afectan el proceso de molienda	50
4.2 MOLIENDA EN SECO	72
4.2.1 Determinación del índice de trabajo (W.)	72
4.2.1.1 Determinación del índice de trabajo W. en molino de bolas	73
4.2.1.2 Determinación del índice de trabajo W. en molino de barras	78
4.3 MOLIENDA EN HUMEDO	81
4.3.1 Molino de bolas	83
4.3.1.1 Gradiente de bolas	84
4.3.1.2 Cálculo de la carga de bolas	87
4.3.1.3 Cálculo de la demanda de potencia	87
4.3.1.4 Molino de bolas en circuito cerrado	89
4.3.1.5 Molino de bolas en circuito abierto	93
4.3.1.6 Comparación de un circuito cerrado y un circuito abierto en molienda húmeda	94
4.3.1.7 Principales aplicaciones de los molinos de bolas	95
4.3.2 MOLINOS DE BARRAS	96
4.3.2.1 Gradiente de barras	98
4.3.2.3 Cálculo de la demanda de potencia	102
4.3.2.4 Molino de barras en circuito abierto	103
4.3.2.5 Principales aplicaciones del molino de barras	104
4.3.2.6 Factores que deben considerarse en el diseño de circuitos de molienda que incluyan molinos de barras y bolas.	107
	112
4.3.3 MOLINOS AUTOGENOS	
4.3.3.1 Molinos autógenos operados por vía húmeda	112
4.3.3.2 Molinos autógenos operados por vía seca	115

4.3.3.3 Medios de molienda empleados en molienda autógena	119
4.3.3.4 Principales aplicaciones de los molinos autógenos	124
4.3.3.5 Comparación de la molienda autógena con la molienda clásica	125
4.4 OTROS METODOS DE REDUCCION DE TAMAÑOS	127
4.4.1 Aparatos que actúan por compresión	128
4.4.2 Aparatos que actúan por fricción o por frotamiento	134
4.4.3 Aparatos de percusión	136
4.4.4 Aparatos mixtos que operan por compresión, fricción y percusión	139
5.- EQUIPO UTILIZADO EN LA EXPERIMENTACION	140
5.1 Trituración	141
5.2 Molienda	145
5.3 Medios de molienda	147
5.4 Análisis granulométricos	149
6.- EXPERIMENTACION	151
6.1 Determinación Mineralógica	152
6.2 Indices de trabajo en trituración y molienda	155
6.2.1 Trituración primaria	155
6.2.2 Trituración secundaria	158
6.2.3 Molienda	166
6.3 VARIACION DE LOS PARAMETROS ESTANDAR EN PRUEBAS DE LABORATORIO	173
6.3.1 Variación de dilución	180
6.3.2 Variación de la velocidad de operación	186
6.3.3 Variación de la carga en la alimentación	192
6.3.4 Variación del tiempo de molienda	199
6.3.5 Variación del tamaño de partícula en la alimentación	206
6.3.6 Variación del tamaño de bola empleado en molienda	226
7.- DISCUSION DE LOS RESULTADOS	233
8.- CALCULO DE EQUIPOS INDUSTRIALES BASADOS EN DATOS EXPERIMENTALES A NIVEL LABORATORIO	245
9.- CONCLUSIONES	313
10.- TRABAJOS A FUTURO	318
11.- BIBLIOGRAFIA	320

R E S U M E N

1. RESUMEN

Debido al avance de la tecnología y al incremento en el consumo de -- los materiales, el beneficio de los minerales ha alcanzado una importancia considerable a nivel mundial.

De las etapas que componen el proceso de beneficio, la reducción de -- tamaño de las partículas es la más elevada en costos; siendo la operación de molienda la más costosa, ya que en ésta la relación de reducción es mayor que en la trituración.

Se conoce también que mientras más finas sean las partículas, se tiene mayor superficie expuesta y por lo tanto, el consumo de energía en la operación de molienda es mayor.

Los resultados prácticos indican que aproximadamente el 40% del consumo total de energía en una planta de beneficio es absorbida por la -- etapa de molienda, que se lleva a cabo en molinos de bolas convencionales, los cuales tienen un alto consumo de energía, independientemente de la eficiencia de operación. El presente estudio tiene la finalidad de optimizar las condiciones de trabajo del proceso de molienda para lograr éste objetivo es necesario conocer los factores que afectan la eficiencia del proceso.

Dentro de las generalidades de molienda, se presentan las tres teorías sobre las que se basan las operaciones de reducción de tamaño; -- así como una síntesis de los métodos que se emplean para la evaluación

ción de una distribución granulométrica.

Con respecto a los medios de molienda (bolas o barras) se tratan de manera sencilla:

- A) Los elementos de aleación requeridos para satisfacer las necesidades de cada mineral, y la manera en que se ven afectadas las propiedades físicas de los metales al existir un cambio en la composición de los elementos de aleación.
- B) Los defectos más comunes que se presentan en los medios de molienda y sus posibles causas.
- C) El consumo de metales tales como: bolas, barras y lanas en función del índice de abrasión de los minerales.
- D) Las propiedades comerciales requeridas.

Los principales factores que intervienen en molienda son estudiados con detalle, encontrando para cada caso los valores óptimos para incrementar la eficiencia. Los parámetros estudiados son:

- 1) La dilución de la pulpa.
- 2) El volumen ocupado por los medios de molienda.
- 3) El volumen ocupado por la pulpa.
- 4) La velocidad del molino.
- 5) El diámetro del molino.
- 6) El gradiente de bolas o barras necesarios para una buena operación.

Para determinar el índice de trabajo del mineral; se realiza una molienda en seco, en esta sección se mencionan las condiciones en que se lleva a cabo esta determinación, así como el equipo utilizado en la misma. Se establecen las consideraciones sobre las cuales se basa dicha prueba, tanto para la molienda con bolas como con barras.

En lo referente a molienda en húmedo se incluye la manera en que se ven afectados los resultados, cuando existen variaciones en los equipos; las modificaciones pueden ser: tipo de descarga, tipo de circuito y tipo de operación.

El análisis se presenta para molinos de bolas y de barras, en circuitos simples y mixtos. En todos los casos se numeran las ventajas del circuito. De manera más general se efectúa un estudio de los molinos autógenos y de otros equipos empleados en la reducción de tamaño de los minerales.

El estudio experimental pretende abarcar los parámetros estudiados -- hasta la fecha, ya sea para comprobar los conceptos establecidos o para hacer modificaciones a los mismos.

Para facilitar la reproducción de los resultados, se hace una breve descripción de los equipos utilizados durante el desarrollo del trabajo.

La evaluación de las pruebas se efectuó por comparación de las capa-

tidades obtenidas en las operaciones. Las capacidades se obtuvieron por determinación de los gramos netos producidos a un tamaño dado, -- por minuto.

A partir de las gráficas de las capacidades y de las distribuciones de peso de los productos, se seleccionaron los valores óptimos para cada variable estudiada y en la sección de discusión de los resultados se incluyen algunas recomendaciones para optimizar cada parámetro.

Posteriormente se presenta un resumen de todos los factores que intervienen en el cálculo de los equipos industriales. Para lo cual se incluye una lista de ecuaciones que facilitan los cálculos.

En esta sección se presentan los resultados tanto para molinos de bolas, como para los de barras, variando uno de los parámetros en cada caso, para determinar qué factores son los afectados por dicha modificación.

Los resultados obtenidos se presentan en gráficas, para visualizar mejor la tendencia que siguen los valores.

Los parámetros que se variaron son todos aquellos susceptibles de modificar en un circuito común a nivel industrial.

Este estudio se llevó a cabo a nivel laboratorio, por lo tanto en la parte final se presentan algunas sugerencias que pueden servir como base en una posterior ampliación del tema.

INTRODUCCION

2. INTRODUCCION.

La producción de metales a partir de sus minerales se obtiene a través de una serie de operaciones metalúrgicas, entre las cuales se encuentran las de trituración y molienda. Estas etapas son muy importantes ya que son indispensables para que las materias primas sean transformadas en productos finales por medio de un proceso de beneficio.

Solamente en el caso de los minerales el tonelaje medio anual que fue procesado por trituración y molienda a principios de la década de los 70s, fue aproximadamente 2.5×10^6 , este valor es pequeño comparado con las necesidades futuras.

Debido a que los tonelajes de mineral procesados serán muy considerables es necesario hacer hincapié en estas operaciones.

Un análisis de las mismas permite ver que desde la antigüedad, la reducción de tamaño de los minerales ha sido una etapa principal en el beneficio de los mismos; los equipos empleados han ido desapareciendo o evolucionando a través de la historia, llegando finalmente a los equipos que se emplean en la actualidad.

A continuación se presenta una síntesis de la evolución de los equipos en el proceso de molienda. Hacia 1868 Alsing utilizó en Inglaterra el proceso de pulverizar sílex calcinados agitándolos en contacto con cantos rodados o bolas de piedra dura, dentro de un tambor.

A él se debe el nombre de Molinos Alsing que se utiliza para designar a los molinos de bolas de funcionamiento intermitente.

Estos molinos fueron modificados apareciendo los de alimentación y -- rendimiento continuo alrededor de 1876 y aunque no fue el primer constructor, el nombre de la firma Krupp ha estado siempre unida a estas-- máquinas.

Estos equipos se aplicaron principalmente para efectuar moliendas --- gruesas empleándolos preferentemente como molinos preparadores cuando hizo su aparición el molino acabador.

Estos molinos se caracterizan por la utilización de un tambor cilin-- drico de suficiente longitud para que el mineral que es admitido por un extremo sea reducido completamente a la finura deseada antes de sa lir por el lado opuesto. Fue hasta 1890 cuando este equipo recibió - algunas aplicaciones y en 1892 fue comercializado bajo el nombre de - Molino Acabador "Dana" en Europa y de Molinos Mill "Gates" en E.U.A. Tuvieron un desarrollo muy rápido en las fábricas de cal y de cemento en donde sustituyeron a los antiguos molinos de muelas y en las minas de oro del Rand fueron instalados como complemento de las baterías de morteros clásicos del siglo pasado.

También la utilización de los molinos de muelas de piedra se ha cono-- cido desde la antigüedad y aún pueden verse en servicio algunas for-- mas primitivas de estas máquinas en algunos países de Asia o de Améri-- ca del Sur.

En la era industrial, una de las realizaciones es el molino chileno - que utiliza tres muelas cilíndricas de estrecho bandaje girando sobre una pista anular plana. Hacia 1885, en Alemania, se utilizaba el molino Schranz el cual trabajaba también con tres muelas con la diferencia de que éstas eran de llanta ancha y forma cónica, girando alrededor de una mesa horizontal de forma ligeramente cónica.

La utilización de muelas de piedra en molienda, bajo formas de conos y cámaras metálicas con acanaladuras más o menos finas, permitieron la obtención de los molinos que sirvieron y sirven aún para la molienda gruesa en algunas industrias.

Estos molinos fueron empleados durante varios años limitándolos al -- servicio de la reducción primaria y posteriormente en 1920, fueron relevados de esta aplicación por los molinos de bolas y de barras proviendo así su desaparición definitiva.

En 1906, la firma Gebr. Propfe en Hildesheim (Alemania) bajo el nom--bre de "Urmühle" presenta un molino de barras en el cual, se mezcla--ban con las barras redondas algunas barras de sección cuadrada. En 1924 se --construía este molino de inclinación variable y durante 1940 a 1945, --se convirtió en un accesorio clásico en el equipo de las obras de --- E.U.A. generalizándose la utilización de estas máquinas durante la --post-guerra en las obras europeas.

Los molinos de bolas operando en circuito cerrado con un clasifica--dor exterior, se extendieron entre los años 1905 - 1910 especialmente

en E.U.A. Estos eran del tipo clásico de tambor cilíndrico o bien - del tipo de tambor cilíndrico-cónico, sistema Hardinge.

Al mismo tiempo aparecieron en Europa los primeros molinos llamados - Compound que reunían en un mismo cuerpo cilíndrico, el compartimiento desbastador con carga de bolas gruesas y compartimientos acabadores - con carga de bolas pequeñas.

Con respecto a la molienda autógena se puede mencionar que en 1873 -- fue la primera realización industrial en E.U.A. por Hezekiah Bradford, en la cual por los altos costos de los cantos rodados de mar, se tuvieron que emplear fragmentos de mineral apropiado escogidos entre las partes -- más duras.

Entre 1910 y 1920, estos equipos fueron adoptados por numerosas minas del continente americano y fueron abandonados rápidamente a cambio de los molinos de barras para moliendas intermedias y por los molinos cilíndricos o cilíndrico-cónicos de bolas de acero trabajado en circui-to cerrado para moliendas finales.

Aunque la práctica de esta operación ha sobrevivido, hasta la actuali-dad, en ciertas minas sudafricanas se puede decir que este proceso ha bía desaparecido casi completamente durante casi veinte años, volviendo a ser de actualidad en muchas instalaciones alrededor de 1949.

Considerando todo lo anterior, se puede concluir que en la actualidad las plantas de beneficio tienen incluida una etapa de molienda, la --

cual se realiza ya sea en molinos de barras y/o bolas y en algunos-
casos por algún otro método de reducción.

El presente trabajo se desarrolló en un molino con bolas, ya que es-
el proceso actualmente empleado en mayor escala a nivel industrial.

OBJETIVO

3. O B J E T I V O

El objetivo del presente trabajo es:

- Estudiar los parámetros que influyen en la reducción de los minerales.
- Adquirir una base para la solución de los problemas que se presentan en la etapa de molienda.
- Seleccionar las condiciones adecuadas que permitan optimizar el proceso de molienda.

La optimización del proceso no implica reducir costos, sino tratar de transformar el máximo de energía aplicada en trabajo de reducción.

Por lo tanto, se realiza un estudio detallado de los parámetros que tienen más influencia en el proceso y se mencionan algunas sugerencias para llevarlos a sus condiciones idóneas.

Es conveniente aclarar que los parámetros estudiados son aquellos susceptibles de ser optimizados en lapsos breves o costos razonables, tales como: Carga de medios molidores, Dilución de la pulpa, Velocidad de operación, etc.

GENERALIDADES EN MOLIENDA

4. GENERALIDADES EN MOLIENDA.

4.1 PRINCIPIOS Y TEORIAS DE TRITURACION Y MOLIENDA.

4.1.1 "LEYES ENERGETICAS"

La primera teoría de Rittinger establece que: "El área de la nueva superficie producida en trituración o molienda es directamente proporcional al trabajo útil requerido".

Esta primera teoría establece que todas las partículas alimentadas a molienda tienen cierto registro o un nivel de energía; el cual debe ser adicionado a la energía consumida durante la trituración o molienda para obtener el registro total de energía en el producto después de la operación.

Todas las partículas obtenidas por trituración o molienda deben satisfacer la siguiente condición en lo que se refiere a la energía.

$$\text{Energía suministrada} = \left[\begin{array}{l} \text{Nivel total de} \\ \text{energía en el} \\ \text{producto.} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{Nivel de energía} \\ \text{antes de la ope-} \\ \text{ración.} \end{array} \right]$$

La teoría de la conminución se ocupa de la relación que existe entre la entrada de energía y el tamaño de partículas del producto obtenido a partir de un tamaño de alimentación dado.

El área de una tonelada de partículas de diámetro uniforme d , es proporcional a $1/d$ y de acuerdo a Rittinger, la energía útil requerida para reducir de tamaño una tonelada de mineral, es también proporcional a $1/d$. Sin embargo la energía medida en la superficie de la nueva área producida, es solamente una pequeña fracción del orden de --- $1/1000$ de la energía necesaria requerida para producir esta superficie por trituración o molienda comercial.

Aproximadamente toda la energía utilizada durante la operación, aparece como calor después de que las partículas son quebradas.

En el segundo principio Kick postuló que: "La energía necesaria para producir cambios análogos en la configuración en cuerpos geométricos- semejantes, varía proporcional al volumen o al peso de dichos cuerpos".(9)

La energía de deformación de un cuerpo es proporcional a su volumen e inmediatamente antes de la ruptura en un cuerpo frágil, la energía de la tensión como se le llama, es todavía proporcional al volumen. Por lo tanto el volumen unitario de partículas que están en el estado justamente previo a la ruptura, contienen esta energía de deformación independientemente del tamaño de las partículas. Cuando un grupo de -- partículas de volumen unitario alcanzan al mismo tiempo el estado justamente próximo a la fractura, ellas contienen la misma energía de deformación. Por lo tanto la energía de deformación a tensión máxima es la misma por volumen unitario a cada paso de la conminución.

$$K = K_1 N$$

en donde:

K = Energía total de deformación.

K_1 = Energía de deformación a tensión máxima por volumen unitario.

N = Número de pasos de reducción de tamaño.

Si se considera que el tamaño promedio original de la partícula es D_1 y el tamaño final D_n , para un volumen unitario del material en donde el número de pasos de reducción de tamaño es n y la relación de reducción en cada paso es r , se tiene:

$$r^n = \left[\frac{D_1}{D_n} \right]^3$$

En donde la relación de reducción r está definida por la relación entre F que es el diámetro de las partículas en la alimentación y P que es el diámetro de las partículas en el producto.

$$r = \frac{F}{P}$$

En la tercera teoría F.C. Bond establece que: "El consumo de energía es proporcional a la extensión de la nueva grieta producida en la partícula quebrada e igual al trabajo representado por el producto menos el presentado en la alimentación".⁽⁹⁾

En las partículas de forma similar, la longitud del borde de la fractura L es proporcional a:

$$L \propto \left[\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right]$$

Una falla es definida como una estructura débil en una partícula por medio de la cual se puede desarrollar un quebrado bajo tensión; las fallas siempre están presentes en materiales frágiles y pueden causar grandes variaciones en el quebrado de los minerales aún de apariencia similar.

La debilidad de las fallas en una partícula determina la potencia para ser quebrada por trituración y molienda. Las partículas con fallas débiles se degradan fácilmente produciendo partículas libres hasta un tamaño dado (tamaño natural de grano), después requieren de mayor energía para el quebrado ya que han alcanzado su tamaño natural.

El consumo de energía tiene variaciones de acuerdo a la concentración o escasez de fallas a estos tamaños, las diferencias son causadas por el tamaño natural de grano del mineral.

De acuerdo a la teoría de Bond que establece que: Para cálculos prácticos, el tamaño en micrómetros que corresponde al 80% en peso del producto que pase por una serie de mallas se le designa como P, el tamaño al cual corresponde el 80% de la alimentación se le designa como

F y el trabajo necesario expresado en Kilowatt-hora por tonelada corta es W.

La ecuación de esta tercera teoría es:

$$W = \frac{10 \cdot W_i}{\sqrt{P}} - \frac{10 \cdot W_i}{\sqrt{F}}$$

en donde:

W_i = Índice de trabajo en KWH/Tc.

P = Diámetro del producto en micrómetros

F = Diámetro de la alimentación en micrómetros.

Debido a que la extensión del quebrado es proporcional a la raíz cuadrada de la superficie producida, el trabajo específico absorbido y requerido es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del diámetro de las partículas del producto menos la raíz cuadrada del diámetro de las partículas de la alimentación.

En la reducción de tamaño de un material homogéneo el valor del índice de trabajo (consumo de energía) continuará constante para todas las etapas de reducción de diámetros. Sin embargo, las estructuras heterogéneas en las rocas son comunes, por lo tanto para los materiales cuyo tamaño natural de grano sea grande corresponderán los valores mayores de índice de trabajo.

De acuerdo a los principios anteriores se tiene que: la degradación de los minerales es efectuada por compresión y corte; de este modo el material fracturado alcanza su límite elástico, después de éste punto es necesario aplicar a la superficie del mineral una fuerza cuya potencia permita traspasar el límite mencionado.

Por lo tanto, si un material se degrada hay un consumo de energía que es proporcional a la nueva superficie producida; sin embargo, hay variaciones ya que sólo algunos minerales tienen planos de fractura definidos cuyas caras son planas.

Cuando los materiales presentan planos de fractura definidos; y reciben el impacto normal a sus planos muestran valores altos en resistencia, si lo recibe paralelo a éstos, acusan valores bajos.

4.1.2 GRANULOMETRIA DE LOS PRODUCTOS FRAGMENTADOS

Una dispersión sólida está constituida por los productos de una operación de fragmentación. La granulometría es el arte de medir los tamaños, formas y proporciones de los granos de una dispersión. Existen distintas maneras de efectuar estas mediciones, a continuación se mencionan algunas.

MEDIDA DE LA DIMENSION DE LOS PRODUCTOS

Esta medida puede ser con diferentes fines; ya sea para el control de trabajo de las máquinas o el control de calidad de los productos fragmentados. Los métodos de medida pueden ser:

- A) METODO DIRECTO. Por medio del metro para fragmentos gruesos, pudiendo determinar directamente las tres dimensiones principales -- (longitud, ancho y espesor); se obtiene al mismo tiempo la medida y la indicación de la forma general.
- B) MEDIDA POR CRIBADO O TAMIZADO. Se efectúa haciendo pasar la muestra por una serie de cribas formadas por telas con mallas cuadradas (tamices). Los métodos operatorios, toma de muestras, carga, abertura de los tamices, duración de las operaciones y algunos --- otros factores influyen en los resultados.

Generalmente se admite que la dimensión de tamiz de la criba representativo del grueso medio de una muestra, es aquella por la que - pasa el 80% del citado material.

- C) MEDIDAS MICROSCOPICAS. Permite la medida individual de las dimensiones, formas y número de granos de una muestra. Este método permite medir hasta límites de 0.01 micrómetros en el microscopio --- electrónico.

D) MEDIDAS POR SEDIMENTACION Y ELUTRIACION. Se basa en la apreciación de la velocidad de caída de las partículas en el seno de un fluido (aplicación de la ley de Stokes). Operan sobre el peso de las partículas decantadas desde una altura determinada, en un tiempo determinado, en el seno de un líquido en reposo o sobre el peso de las partículas retenidas por una corriente ascendente de velocidad determinada.

Los límites inferiores de separación se estiman generalmente en:

- 10 micrómetros para los materiales ligeros y 5 micrómetros para materiales pesados, en elutriador ordinario.

- 1 a 2 micrómetros para las máquinas de sedimentación.

- 0.1 micrómetros para la sedimentación centrífuga.

E) MEDIDA DE LAS SUPERFICIES ESPECIFICAS. Constituye un medio de apreciación indirecto del grado de finura de los fragmentos que la forman. La superficie de una muestra puede calcularse:

- Por medidas microscópicas y cálculos, esta operación es relativamente precisa.

- Por medida de las velocidades iniciales de disolución bajo ciertos ataques ácidos o básicos; esto se puede aplicar a cuerpos puros y perfectamente homogéneos.

- Por medida de la fuerza coercitiva, aplicable a los productos -- magnéticos.
- Por medida de absorción molecular (volumen de gas absorbido por la superficie de las partículas).
- Por medidas de permeabilidad, una capa horizontal de partículas finas, sometidas a un grado de compactación constante. Es más permeable a los fluidos cuanto más gruesas son las partículas. - Una fórmula empírica permite ligar la velocidad de paso del fluido a la superficie del polvo.

REGISTRO Y REPRESENTACION DE LOS RESULTADOS

La imposibilidad de representar mediante una cifra la dimensión propia de las partículas, provocó establecer acuerdos que permiten determinar con más o menos precisión el estado granulométrico de un producto.

Para los fragmentos gruesos se indicarán las tres dimensiones del elemento más grueso admisible o la única dimensión máxima del mismo elemento.

Para los fragmentos medianos, se recurre a la noción del anillo, diámetro del anillo más pequeño a través del cual pueden pasar, a mano, todos los fragmentos considerados.

Para fragmentos pequeños la noción que se emplea más, es la de la malla. Comúnmente se admite que el producto de una fragmentación se define por la dimensión de malla o por el diámetro de perforación a través de la cual se puede pasar el 80% de la muestra considerada.

Algunos de los métodos que permiten determinar con más precisión el estado granulométrico del producto se describen a continuación:

- A) CURVAS GRANULOMETRICAS. Por medio de la división de la muestra en fracciones mediante tamizados fraccionados, representando posteriormente estos resultados en gráficas.
- B) MODULO DE FINURA. Factor proporcionar a la suma de rechazos sobre tamices de progresión geométrica. De acuerdo a la norma ASTM, este valor es el resultado de sumar los % acumulados retenidos en las mallas Tyler Nos. 8, 16, 30, 50, 100 y 140. El conocimiento de este módulo generalmente da una indicación bastante aceptable de la composición granulométrica de la muestra.
- C) SUPERFICIE ESPECIFICA. Este valor constituye una definición muy válida del estado granulométrico de la muestra.
- D) COEFICIENTE DE FORMA. La relación de cualquier par de las dimensiones principales de una partícula presenta un papel importante en el índice de forma.

Los índices principales que se pueden obtener son:

Índice de aplanamiento

$$\alpha = \frac{\text{espesor}}{\text{ancho}}$$

Índice de alargamiento

$$\beta = \frac{\text{ancho}}{\text{longitud}}$$

Estos métodos empleados para determinar las dimensiones y la representación de resultados permiten obtener información de gran importancia en lo relacionado a las características de fraccionamiento, siempre y cuando el trabajo se haya realizado cuidadosamente.

4.1.3 EVALUACION DE LA DISTRIBUCION GRANULOMETRICA.

Por medio de trituración es imposible obtener partículas que en su totalidad sean de un volumen igual y uniforme; pero si ésta es realizada de forma de que ninguno de los fragmentos obtenidos sobrepase una dimensión previamente definida, conduce a la obtención de toda una gama de tamaños comprendidos entre la citada dimensión y la infinitamente pequeña.

Es necesario calcular con precisión e incluso preveer el estado dimensional de la materia triturada, debido a que un producto sobretriturado implica un exceso de gasto de energía.

Por medio de los resultados del análisis granulométrico se pueden determinar distintos parámetros característicos como son: La dimensión media geométrica, el coeficiente de reducción y el valor de dispersión; todos estos valores se obtienen mediante cálculos granulométricos.

Por las dificultades en describir la forma de una partícula es más común definir el tamaño de la misma por una sola dimensión, el diámetro equivalente. Esto puede lograrse si se expresa el tamaño en términos del diámetro de la esfera que es el equivalente a la partícula.

Para cumplir con este propósito, se establece que el diámetro de la esfera es el que corresponde a la abertura cuadrada de lado A a través del cual apenas pasa. La variación de este diámetro equivalente aumenta conforme las partículas difieren más de la forma esférica y por lo tanto, la forma es un factor importante en la correlación de los análisis de tamaños efectuados por diferentes procedimientos.

El mencionado método de dar solo un número para determinar el tamaño de partícula es conveniente y a menudo suficiente. Los resultados obtenidos por el método de cribado o tamizado se representan comúnmente en forma de gráfica, la cual muestra claramente la distribución de tamaño de partícula.

Convencionalmente las funciones de peso se representan en las ordenadas y las funciones de tamaño en las abscisas.

Los diferentes tipos de gráficas se caracterizan por el punto de referencia a partir del cual se calcula el peso y por la función de peso y tamaño que se usa para su representación.

Los métodos gráficos más empleados en el beneficio de minerales son el de frecuencia de peso o gráfica directa y el de peso acumulado o gráfica integrada.

Las gráficas directas son aquellas en las que el peso se relaciona al intervalo entre las mallas, por ejemplo: el peso graficado a un tamaño dado es el del material retenido sobre la malla de esa abertura y que pasó la siguiente próxima más abierta. Las gráficas acumulativas usan ya sea la malla más fina, o la más gruesa como referencia. En el caso del acumulativo retenido, se grafica para un tamaño dado en la abscisa el peso total (expresado en %) de la muestra que se queda en la malla de esa abertura; y en el del acumulativo que pasa, se grafica para una abscisa en particular el porcentaje en peso del total que pasa la malla de esa abertura.

Para evitar distorsión y malas interpretaciones de la curva de pesos, los valores de los incrementos de peso se deben graficar a intervalos geoméricamente iguales en la escala de tamaños. Para darle una importancia igual a todas las divisiones del rango de tamaños, es necesario usar una escala logarítmica.

El caso particular de gráfica integral, en la que se usan escalas logarítmicas en ambos ejes, graficando en las ordenadas el por ciento en peso más fino para determinada malla y poniendo el tamaño de las partículas en las abscisas; se conoce como gráfica de Schuhmann.

Schuhmann mostró que la distribución de tamaños de los polvos finos - producidos por molienda, tienden a seguir determinadas relaciones empíricas. En la gráfica de distribución de Schuhmann, los valores siguen aproximadamente una línea recta la mayor parte de su longitud y se puede representar por la siguiente ecuación:

$$y = 100 \left[\frac{x}{k} \right]^m \quad (4.1)$$

En la que:

y = por ciento en peso más fino que el tamaño x

m = constante. Módulo de distribución

k = constante. Módulo de tamaño

La constante arbitraria m (módulo de distribución) da una medida de la distribución por tamaños del material. Entre más grande sea m, -- más estrecha es la distribución dentro del rango total de tamaños. Para minerales molidos sin clasificar, el valor de m es cercano a $1/\sqrt{2}$.

El módulo de tamaño k es el valor de x cuando y = 100 (determinado al extender la parte recta de la distribución hasta que cruza la ordena-

da de $y = 100$), representa el tamaño máximo teórico del material.

La ecuación anterior es únicamente una relación empírica aproximada -- que es muy útil para interpretar las distribuciones de tamaños.

Por la necesidad de obtener un producto que cumpla con las características apropiadas para el proceso subsecuente, se debe buscar que la liberación de las partículas sea elevada pero no necesariamente completa, para lo cual se debe buscar que la mayoría de las partículas -- que contienen valores estén libres con el objeto de elevar la eficiencia de la recuperación.

Para el caso en que la escala de las dimensiones es inferior a 50 micrómetros, la ecuación de Rosin-Rammler suministra un ajuste excelente para la distribución de tamaños.

$$W_r = 100 e^{-(D/a)^b} \quad (4.2 a)$$

$$D = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (4.2 b)$$

En donde:

W_r = Peso por ciento acumulativo (retenido)

D = Diámetro promedio de las partículas en un rango de tamaños expresado en micrómetros.

d_1, d_2 = Dimensiones principales de las partículas, expresadas en micrómetros.

a, b = Constantes.

Para probar su aplicabilidad a un grupo de datos, se grafica el $\log - (\log 100/W_r)$ contra el logaritmo del tamaño; si se obtiene una línea recta, la ecuación se ajusta.

Para un material particular, los valores de a y b se pueden determinar en la parte lineal de la gráfica de Rosin-Kammler.

A través de la ecuación:

$$\ln (\ln [100/W_r]) = b \ln D - b \ln a \quad (4.3)$$

De donde se obtiene que:

b = pendiente de la recta (Constante de dispersión)

$b \ln a$ = intercepción en la ordenada

La constante de dispersión " b " mide la dispersión del material a través del rango de tamaños puesto que para valores pequeños de b , la curva queda próxima al eje de tamaños y el material se distribuye en un rango amplio; mientras que cuando b es grande la pendiente es mayor y el material se distribuye en un menor rango de tamaños.

Si los materiales han sido quebrados los valores de "b" son superiores de 0.6; pero cuando el valor de "b" se acerca a 3.0 la función de Rosin-Rammler se deteriora y conviene entonces, reemplazarla por la curva de Gauss (probabilidad normal)

Otras funciones que también son aplicables para obtener una interpretación de los resultados granulométricos por medio de gráficas son:

La función de Roller:

$$w_t = a \sqrt{D} e^{-b/D} \quad (4.4)$$

En la cual:

w_t = peso por ciento acumulativo que pasa (negativo)

a, b = Constantes

D = Diámetro de las partículas expresado en micrómetros

Para probar la aplicación de esta función a los datos hay que graficar w_t / \sqrt{D} en una escala logarítmica y $1/D$ en la escala aritmética de un papel semi-logarítmico; si se obtiene una línea recta está comprobada su aplicabilidad.

La función de Gaudin:

$$w_r = a D^b \quad (4.5)$$

$$w_t = 100 (D/A)^b \quad (4.6)$$

En las que:

a, b, A = Constantes

W_r = Peso por ciento retenido en una malla de abertura D y que pasa por la malla próxima mayor.

W_t = Peso por ciento acumulativo del producto que pasa la malla de abertura D .

D = Abertura de la malla empleada.

Estas ecuaciones tienen una aplicación muy amplia y se demuestra que son útiles cuando se obtiene una línea recta al graficar el acumulativo negativo contra el tamaño en papel log-log.

De la gráfica obtenida se deduce que: b es la pendiente de la zona lineal de la curva obtenida y el logaritmo de a es la intersección en las ordenadas.

La función de Gaudín se aplica generalmente a una parte de los datos (tamaños finos) por lo tanto " b " mide la dispersión del material en los tamaños finos.

4.1.4 MEDIOS DE MOLIENDA.

Cada año son forjados cerca de 500,000 toneladas de acero para la producción de los diferentes medios de molienda. Los costos de estos medios y de la energía eléctrica consumida para realizar la reducción -

de tamaño representan un papel importante en la industria minera, ya que arriba del 50% de los costos en el beneficio de un mineral corresponden a la trituración y a la molienda (reducción de tamaño).

Debido a que, la relación de reducción en el tamaño de las partículas es mayor en la etapa de molienda que en la trituración; la energía y los metales consumidos durante la molienda representan un porcentaje mayor en los costos directos, a pesar de que esta etapa es sólo un paso intermedio en el proceso de beneficio de los minerales. La industria minera consume grandes cantidades de hierro fundido blanco de mediana aleación.

El consumo tan elevado de los medios de molienda depende de:

- A) Las condiciones que tenga la pulpa en el molino.
- B) La abrasión; ya que es una de las causas principales de la pérdida en peso de los materiales molientes.
- C) La corrosión en las operaciones en húmedo, contribuye notablemente elevando en algunas ocasiones hasta 10 veces el consumo de los materiales (comparado con una molienda en seco).

Por las condiciones de acidez o alcalinidad de algunas pulpas en ocasiones se emplean materiales cerámicos como medios molidores para llevar a cabo el proceso de molienda, con el objeto de reducir los costos, sin embargo, estos materiales también presentan desventajas como lo es su baja densidad cuyo valor es de 3.4 g/cm^3 comparado con 7.8 g/cm^3 correspondiente al acero.

Por lo tanto, el material necesario para realizar la reducción de tamaño del mineral, así como el consumo del mismo durante esta etapa dependen de las características del mineral.

La calidad de los materiales molidores empleados es importante para determinar la duración del equipo y su eficiencia.

El contenido de los elementos de aleación en los medios de molienda es un factor importante para la determinación de los costos. En la industria se han desarrollado una variedad de materiales para satisfacer las necesidades individuales de cada mineral. Para mantener un nivel aceptable en la eficiencia de molienda, es necesario reducir al mínimo los defectos de los metales.

El consumo de los medios de molienda metálicos, depende de: El proceso de manufactura de los mismos, los elementos aleantes, el tratamiento térmico, las condiciones de molienda y las reacciones químicas de corrosión.

Algunos de los factores que afectan las propiedades de las bolas y barras cuando se emplean medios molidores metálicos y que es necesario considerar, se mencionan a continuación:

- A) Elementos aleantes empleados en la fabricación de bolas y barras para molienda.
- B) Defectos en el metal empleado como medio molidor.

- C) Consumo de metal causado por la operación de reducción de tamaño - (bolas, barras, rodillos, lanas).
- D) Propiedades comerciales requeridas para bolas y barras.

A) ELEMENTOS ALEANTES:

CARBONO. Este elemento es efectivo si se quiere incrementar la dureza y disminuir el desgaste en los medios de molienda aleados. Quinn y Hall ⁽¹⁶⁾ reportan que con un normalizado y un templado los aceros al carbono muestran un decremento en la velocidad de desgaste y un aumento en la dureza, a medida que aumenta la concentración del carbón.

Dos aceros con diferentes contenidos de carbón, que han sido tratados térmicamente para obtener la misma dureza, presentan distintas propiedades; el de alto contenido de carbón promueve austenita retenida y su desgaste será menor, mientras que, el de bajo contenido de carbono no es deseable, debido a que presenta por un lado una buena resistencia al impacto y por el otro poca resistencia al desgaste.

Algunos medios de molienda presentan resultados favorables con los aceros de alto carbón y de baja aleación, porque producen microestructuras transformadas relativamente libres de austenita retenida; también los aceros martensíticos al alto carbón tienen mayor resistencia al desgaste debido a que en solución contienen un alto contenido de carburos proeutectoides.

En los aceros para barras el contenido de carbón empleado con más frecuencia oscila entre 0.90 y 1.05% cuando éstas se laminan en caliente;

cuando son tratadas térmicamente, el contenido es menor alrededor de 0.60 y 0.80% debido a que el enfriamiento es más severo.

En el caso de las bolas, el carbón varía dentro del rango de 0.50 hasta 1.10%, siendo más comunes los contenidos de 0.70 a 0.95%.

MANGANESO: Los dos elementos aleantes usados con más frecuencia en la fabricación de los medios de molienda, son el carbón y el manganeso, debido al aumento de dureza que provocan en los aceros.

Muchas compañías mineras sólo emplean estos dos elementos para la aleación debido a los altos costos en molienda, ocasionados por la adición de otros elementos y porque este metal proporciona una resistencia al desgaste y una tenacidad elevada, siendo estas condiciones esenciales en el material.

El manganeso también es un estabilizador de austenita y su empleo generalmente es del 1% en los aceros aleados. El acero AISI 1095 laminado en caliente para la elaboración de las barras varía desde 1.0 hasta 1.5% de manganeso con la finalidad de conseguir elevadas durezas y bajas velocidades de desgaste. Un acero con contenidos superiores a 1.6% puede no operar satisfactoriamente debido a que la resistencia al impacto que presenta, provocará que las barras se enrosquen dentro del molino, con lo cual la eficiencia en la molienda disminuye.

En los aceros AISI 1080 a 1095 los contenidos de manganeso empleado - comunmente son: de 0.6 hasta 0.9% si son laminados en caliente, y de 0.4 hasta 0.9% si llevan tratamiento térmico. En los aceros para las bolas, el manganeso oscila entre 0.2 y 0.95%; el contenido aumenta de acuerdo al diámetro de las mismas.

CROMO. El cromo es el tercer aleante seleccionado por los fabricantes como agente endurecedor; en solución sólida ayuda a mejorar la resistencia a la abrasión; ayuda a retardar la transformación a perlita y de este modo asegura una microestructura endurecida.

Las barras laminadas en caliente de los aceros aleados contienen de - 0.4 a 1.7% de cromo; las que son tratadas térmicamente utilizan cromo en el rango de 0.15 a 0.50%.

En algunas ocasiones se adiciona éste elemento a las bolas de acero - al manganeso con el fin de elevar su dureza.

Las bolas de acero aleadas contienen desde 0.15 hasta 0.60% de cromo; en donde las forjadas de tamaños pequeños contienen de 0.15 a 0.30% y las de diámetros mayores contienen de 0.40 a 0.60% de este elemento.

MOLIBDENO. Se emplea en cantidades pequeñas en los aceros aleados para bolas y barras; suprime la formación de perlita durante el tratamiento térmico, como estructura martensítica incrementa la resistencia al impacto a causa de la atenuación de la precipitación de carburos durante la transformación.

Las barras de acero con tratamiento térmico contienen de 0.15% a 0.30% de molibdeno y las bolas de los aceros aleados contienen de 0.05 a -- 0.20% del mismo.

COBRE. Las adiciones usadas en bolas y barras aleadas con tratamiento térmico, son de 0.15% a 0.60%; precipita en la solución sólida para incrementar y dar una resistencia a la tensión. El cobre remanente en solución contribuye al endurecimiento de la aleación, mejora la fluidez del metal en estado fundido, y baja la velocidad de corrosión en las operaciones de molienda en húmedo.

OTROS ELEMENTOS ALEANTES. Las adiciones de Niquel son hechas algunas veces en aceros aleados para la fabricación de las bolas, en cantidades de 0.20%; este elemento actúa similarmente al manganeso en el cambio de las propiedades físicas, con pequeñas cantidades se obtienen resistencias al impacto favorables, adicionado junto con el cobre, -- proporciona a los aceros una mejor calidad superficial.

El contenido de Sílice está en el rango de 0.10 a 0.35% para las bolas y barras y se adiciona para la desoxidación en el acero fundido.

El vanadio es agregado en cantidades muy pequeñas y se emplea generalmente para incrementar la dureza.

B) DEFECTOS EN EL METAL EMPLEADO.

Algunos de los defectos más comunes que se presentan en los medios de molienda metálicos, así como sus posibles causas se mencionan a continuación:

La superficie de los medios molidores debe ser lo más uniforme posible, ya que es en donde se concentra la tensión más alta durante la operación. A las bolas de acero se les puede dar un tratamiento para redondearlas después del forjado y proporcionarles contornos satisfactorios.

La densidad es un factor importante, considerado también para controlar la velocidad de desgaste, ya que las bolas forjadas generalmente tienen una densidad mayor, que las bolas fundidas a causa de la mínima cantidad de huecos que presentan.

Los siguientes defectos metalúrgicos o elevadas discontinuidades se presentan con frecuencia en los materiales empleados durante la molienda. En general se encuentran presentes aunque existan únicamente en mínimas proporciones.

En las bolas de acero fundido se presentan cavidades, grietas y segregación de algunos elementos aleantes en la superficie, las cuales afectan la eficiencia en molienda.

Las bolas y barras forjadas presentan algunos defectos similares, localizados en el centro, que por medio del movimiento van siendo trans

portados hacia la parte exterior, de modo que un análisis a una fractura superficial puede indicar que la grieta se propaga desde el defecto a causa del tratamiento térmico adicional, debilitando la pieza.

Probablemente uno de los defectos internos más serios en las barras es cuando se revienta el centro de éstas creando laminaciones longitudinales o rajaduras; este defecto es el resultado de temperaturas inadecuadas durante la laminación y/o una severa segregación de los elementos de aleación. La segregación de éstos, especialmente en -- las bolas y barras tratadas térmicamente, producen tensiones inter--nas que crean desconchamientos y cuarteaduras y bajan la resistencia al impacto contribuyendo al quebrado prematuro de los materiales empleados como cuerpos moledores.

Si los óxidos, silicatos y escamas que se presentan están conectados longitudinalmente, pueden bajar la resistencia al impacto; estas laminillas son rupturas internas generadas por el paso de hidrógeno a través de la solución sólida del metal, con las cuales se crean al--tas tensiones internas. Las costras en la superficie son causadas -- por una salpicadura del mismo metal en la pared del molde, cuando el lingote es colado.

El quebrado de las barras también puede ser resultado de una longi--tud incorrecta de las mismas o cuando la relación longitud/diámetro del molino no es la adecuada.

C) CONSUMO DE METAL.

En trituración y molienda son dos los factores principales que afectan los costos directos: la energía gastada y el metal consumido durante la operación. Los costos de la energía pueden no ser analizados y sin embargo se pueden predecir con razonable aproximación, sin embargo, los costos del consumo de metal son difíciles de determinar con exactitud. Por la variedad de causas que originan la deformación o quebrado de los materiales. Algunos de los factores que afectan el consumo de los metales pueden ser la calidad de los mismos o en el caso de las barras una relación inadecuada de longitud/diámetro en el molino.

Debido a la necesidad de una expresión que pueda ser aplicada igualmente a todas las máquinas y todas las operaciones de trituración y molienda, se desarrolló una ecuación en la que por medio del índice de abrasión se puede determinar el consumo de metal. El término de libras de metal consumido por tonelada de mineral, no es satisfactorio, porque no permite distinguir las diferencias de los tamaños del producto, y la alimentación o las diferencias de molienda. Entonces el término empleado es libras de metal consumido por kilowatt-hora o lb/KWH; esto permite una comparación entre las diferentes máquinas, diferentes productos y alimentación, y diferentes materiales.

El consumo de metal es el resultado de: el gasto por abrasión, el material removido por disolución y la pérdida de peso de las lanas en una molienda normal. Si se trata de una molienda en húmedo, el des--

gaste es varias veces mayor que si la molienda se realiza en seco, la causa de esto es la disolución del hierro, el cual es más activo, por la superficie fresca producida durante la molienda.

El hierro disuelto se presenta como hidróxido de hierro, además el consumo se incrementa en molienda con pulpas ácidas, especialmente cuando el pH es inferior de 5.5.

En el laboratorio de Allfs Chalmers Research⁽¹⁰⁾ se ha desarrollado un método de prueba para la determinación del índice de abrasión.

La prueba se realiza en un aparato que mantiene un material bajo condiciones estándar, durante una hora y la diferencia de pesos en el material al iniciar y terminar la prueba determina el índice de abrasión.

El dispositivo es un tambor concéntrico de 12 pulgadas (30.48 cm) de diámetro y 4.5 pulgadas (11.43 cm) de profundidad, el cual gira a una velocidad de 70 rpm (90% de su velocidad crítica) en la misma dirección que la paleta (material de prueba).

La paleta que es el material metálico expuesto es acero endurecido (SAE 4325) al cromo-niquel-molibdeno; con las siguientes dimensiones: 3" X 1" X 1/4" (7.62 cm X 2.54 cm X 0.635 cm) y presenta una dureza de 500 en la escala Brinell.

La paleta está insertada 1" (2.54 cm) dentro del rotor de 4.5" - - - (11.43 cm) de diámetro, conectado a una flecha horizontal, la cual gira a una velocidad de 632 rpm. Por lo tanto únicamente dos pulgadas-cuadradas (25 cm²) son las que se encuentran expuestas a la abrasión; la paleta tiene una velocidad lineal de 1410 ft/min (530 m/min) suficientes para producir un buen impacto en el bloque.

La superficie interior del tambor está forrada con una placa de acero perforada, para proporcionar una superficie rugosa que eleve continuamente las partículas del mineral, dejándolas caer a través de la trayectoria de la paleta rotatoria.

El mineral utilizado en la prueba es clasificado, para obtener un producto -3/4" + 1/2". De los cuales se toman 4 porciones de 400 gramos cada una.

La primera porción se coloca en el tambor, y este se hace girar durante un período de 15 minutos; en el cual el metal esta siendo desgastado por el impacto que recibe de las partículas de mineral.

Al final del período, el tambor es descargado y nuevamente se adicionan otros 400 gramos de mineral clasificado para continuar la abrasión durante otro período de 15 minutos.

Esta operación se realiza en 4 ocasiones con lo que se provoca que la paleta se encuentre expuesta a la abrasión durante 1 hora.

La pérdida de peso (hasta décimas de miligramos), es el índice de --
abrasión A_i del material.

El producto combinado de los cuatro períodos de 15 minutos es analiza--
do granulométricamente y el promedio del 80% debe estar cerca de los--
13,250 micrómetros.

Este método de prueba puede ser empleado para evaluar la resistencia--
a la abrasión de diferentes aleaciones y modificarlas por medio de --
tratamiento térmico hasta lograr las propiedades deseadas; comparan--
do los resultados con algún metal estándar, las pruebas deben reali--
zarse con un sólo tipo de mineral.

El caso que se trata en este estudio es determinar los índices de --
abrasión de diferentes minerales cuando se emplea un mismo tipo de --
aleación como estándar durante la realización de la prueba.

La anomalía más importante que se presenta en las determinaciones es
la discordancia de los datos causados por la excesiva cantidad de met--
al desechado como chatarra en algunas plantas, probablemente como re--
sultado del quebrado de los metales.

A continuación se indican las ecuaciones obtenidas para los consumos--
de los metales, ⁽¹⁰⁾ a partir del índice de abrasión de cada mineral.

MOLINO DE BARRAS OPERADO EN HUMEDO

$$\text{Consumo de barras } 1b/KWH = 0.35 (A_i - 0.020)^{0.20} \quad (4.7)$$

$$\text{Consumo de laines } 1b/KWH = 0.035 (A_i - 0.015)^{0.30} \quad (4.8)$$

MOLINO DE BOLAS OPERADO EN HUMEDO - CON
PARRILLA EN LA DESCARGA

$$\text{Consumo de bolas } 1b/KWH = 0.35 (A_i - 0.015)^{1/3} \quad (4.9)$$

$$\text{Consumo de laines } 1b/KWH = 0.026 (A_i - 0.015)^{0.30} \quad (4.10)$$

MOLINO DE BOLAS OPERADO EN SECO CON PA
RRILLA EN LA DESCARGA ($A_i < 0.22$)

$$\text{Consumo de bolas } 1b/KWH = 0.05 \sqrt{A_i} \quad (4.11)$$

$$\text{Consumo de laines } 1b/KWH = 0.005 \sqrt{A_i} \quad (4.12)$$

QUEBRADORAS TIPO: GIRATORIA, DE QUIJA
DA Y DE CONO:

$$\text{Consumo de laines } 1b/KWH = \frac{A_i + 0.22}{11} \quad (4.13)$$

QUEBRADORA DE RODILLOS

$$\text{Consumo de rodillos } 1b/KWH = \left[\frac{A_i}{10} \right]^{2/3} \quad (4.14)$$

En el cuadro N° 4.1 se encuentran diferentes tipos de minerales listados en orden ascendente de acuerdo al índice de abrasión que presen--

INDICES DE ABRASION Y CONSUMO DE LOS MEDIOS DE MOLIENDA

MATERIAL	No.	Sg g/cc	Wl KWH/Tc	P Micrometros	Ai Gramos	OPERACION EN HUMEDO				OPERACION EN SECO		
						MOLINO DE BARRAS		MOLINO DE BOLAS		MOLINO DE BOLAS 1b/KWH	QUEBRA- DORAS 1b/KWH	QUEBRADORA DE RODILLOS 1b/KWH
						BARRAS 1b/KWH	LAINAS 1b/KWH	BOLAS 1b/KWH	LAINAS 1b/KWH			
Dolomita	5	2.70	- o -	- o -	0.0160	0.110	0.0075	0.060	0.0053	0.0050	0.0220	0.0160
Arcilla	5	2.62	9.9	11.700	0.0209	0.111	0.0076	0.061	0.0054	0.0051	0.0221	0.0161
Caliza para Cemento	14	2.70	12.7	12.830	0.0238	0.130	0.0084	0.074	0.0062	0.0070	0.0224	0.0180
Caliza	9	2.70	11.7	- o -	0.0320	0.150	0.0100	0.090	0.0074	0.0082	0.0230	0.0215
Clinker de Cemento	8	3.15	13.5	13.070	0.0713	0.0175*	0.00175	0.0135*	0.00135	0.0135	0.0265	0.0380
Magnesita	3	3.00	- o -	- o -	0.0783	0.196	0.0152	0.138	0.0112	0.0140	0.0270	0.0400
Sulfuros Pesador	10	3.56	11.4	12.000	0.1284	0.225	0.0180	0.169	0.0134	0.0180	0.0318	0.0550
Menas de Cobre	24	2.95	11.7	12.700	0.1472	0.232	0.0190	0.178	0.0140	0.0190	0.0333	0.0600
Hematita	7	4.17	8.5	13.450	0.1647	0.238	0.0198	0.186	0.0147	0.0205	0.0350	0.0660
Magnetita	2	3.70	13.0	- o -	0.2217	0.255	0.0219	0.207	0.0161	0.0235	0.0410	0.0800
Grava	4	2.68	15.4	12.950	0.2279	0.270	0.0238	0.228	0.0176	- o -	0.0460	0.0940
Basaltos	20	2.80	17.8	14.400	0.3640	0.283	0.0256	0.247	0.0190	- o -	0.0540	0.1090
Granito	11	2.72	16.6	14.630	0.3880	0.286	0.0262	0.264	0.0194	- o -	0.0660	0.1140
Taconita	7	3.37	16.3	- o -	0.6237	0.297	0.0302	0.316	0.0224	- o -	0.0760	0.1580
Cuarzo	3	2.70	17.4	- o -	0.7751	0.320	0.0322	0.330	0.0240	- o -	0.0900	0.1810
Alumina	7	3.90	17.5	16.800	0.8911	0.336	0.0336	0.340	0.0248	- o -	0.1000	0.1980

Cuadro No. 4.1

tan; la relación entre el índice de trabajo y el índice de abrasión - no se conserva, sin embargo, para valores de índice de trabajo (consumo de energía) menores de 13 KWH/T, el índice de abrasión es mayor de 0.20 gramos con la única excepción del clinker de cemento.

También se anotan los consumos promedio de los metales en libras por-kilowatt hora, basados en las ecuaciones mencionadas.

El significado de las claves empleadas es:

No - Número de pruebas realizadas para cada material.

Sg - Gravedad específica promedio (g/cm^3)

Wi - Índice de trabajo promedio (KWH/Tc)

P - Tamaño del producto en micrómetros (80%)

Ai - Índice de abrasión (gramos)

Los espacios vacíos de la columna del Molino de bolas en el cuadro No. 4.1 indican que estas pruebas no se continuaron por el índice de abrasión (mayor de 0.2200) que presenta el mineral.

Si en una planta se conoce el consumo de metal en lb/KWH, el índice de abrasión (Ai) puede calcularse por substitución en las ecuaciones dadas; también puede ser checado este valor en las diferentes etapas de trituración o molienda.

Una estimación a groso modo de los consumos de los materiales para diferentes condiciones es mencionado enseguida:

- a) En molienda húmeda es 8 ó 10 veces mayor que en molienda en seco.
- b) En un molino de barras operado en húmedo es del 15% al 40% más que el presentado por un molino de bolas operado en húmedo.
- c) En un molino de bolas operado en húmedo, el desgaste de las bolas es alrededor de 13 veces el consumo de las laines; si la operación es en seco, el desgaste es 10 veces mayor que el de las laines.
- d) En molientes en seco, trabajando con barras, el desgaste de éstas es 11 ó 12 veces el correspondiente al de las laines.
- e) El desgaste de los metales en una quebradora de rodillos es cerca del doble del obtenido para las quebradoras giratorias o de quijadas, y comparado con el de molienda en seco es el 75% más.

Existe una correlación bien definida entre las pruebas de abrasión -- efectuadas en el laboratorio y el consumo de los metales en las máquinas industriales; las ecuaciones fueron determinadas en pruebas de laboratorio.

D) PROPIEDADES COMERCIALES REQUERIDAS.

Con el objeto de prevenir el quebrado en las piezas metálicas empleadas como medios moledores se les da un tratamiento térmico, con el cual se obtienen diferentes durezas en la superficie y en el centro. Se usan las unidades de dureza Brinell para caracterizar los medios de molienda. Generalmente se proporciona un promedio volumétrico de la dureza en los cuerpos moledores; a continuación se especifica un promedio de la dureza desde la superficie hasta el corazón de la pieza. (Tabla N° 4.1)

Las medidas hechas sobre los medios metálicos de molienda tratados térmicamente, se realizaron con un penetrado esférico de carburo de tungsteno, con diámetro de 10 mm. y aplicando una carga de 3000 kgs.

La Tabla N° 4.1 muestra las escalas de dureza: Brinell y Rowell C. y las microestructuras que se presentan de acuerdo a la profundidad.

De donde se deduce que: El tratamiento térmico provoca la formación de martensita - en la superficie, una mezcla de martensita y bainita hacia el centro de la pieza y perlita en el centro de los materiales.

"COMPARACION DE LA DUREZA Y LA MICROESTRUCTURA DE LOS MEDIOS DE MOLIENDA CON TRATAMIENTO TERMICO".

D U R E Z A		MICROESTRUCTURA
BRINELL	ROWELL C	
-	68	Martensita
-	66	
722	64	
688	62	
654	60	
615	58	Martensita + Bainita
577	56	
543	54	
512	52	
481	50	
455	48	
432	46	Perlita
409	44	
390	42	
371	40	
353	38	
336	36	
319	34	
301	32	
286	30	
271	28	
258	26	
247	24	
237	22	
226	20	

Tabla N° 4.1

Los datos contenidos en éste cuadro no son útiles para determinar el consumo de los materiales en molienda autógena.

Las barras para molienda deben ser cortadas bajo las especificaciones de la norma ASTM A - 29, la cual presenta las siguientes tolerancias

LONGITUD DE LA BARRA		TOLERANCIA	
ft	m	pulgadas	mm
5 a 10	1.5 a 3.0	0 a 1	0 a 25
10 a 20	3.0 a 6.1	0 a 1.5	0 a 38

Cuadro N° 4.2

4.1.5 FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE MOLIENDA.

El proceso de molienda es afectado por una serie de parámetros, que limitan en cierto grado la operación, entonces los resultados obtenidos dependen de las condiciones de trabajo, cuando se maneja un mismo material.

Los factores principales que intervienen en el proceso de molienda se enuncian a continuación y posteriormente se detalla cada uno de ellos.

a) Volumen ocupado por los medios de molienda (bolas y/o barras).

- b) Volumen ocupado por la pulpa.
- c) Velocidad del molino
- d) Diámetro del molino
- e) Gradiente de la carga de bolas y/o barras
- f) Dilución
- g) Consumo de energía por tonelada de metal empleado como medio de molienda.

Existen además otros factores como el consumo de lanas, tipos de descarga y circuitos, los cuales no serán tratados con detalle, Únicamente se mencionará su influencia en el momento adecuado.

VOLUMEN OCUPADO POR LOS MEDIOS DE MOLIENDA

El volumen de las bolas o las barras en un molino está expresado como fracción del volumen total. Se calcula a partir de la siguiente ecuación empírica (válida únicamente a nivel industrial):

$$V_p = 1.13 - 1.26 \left[\frac{Q}{D} \right] \quad (4.15)$$

en donde:

- V_p - Volumen ocupado por los medios de molienda expresado en fracción decimal.
- Q - Distancia promedio desde el nivel de la carga a moler hasta el tope superior interno del molino expresado en metros.
- D - Diámetro interno del molino expresado en metros.

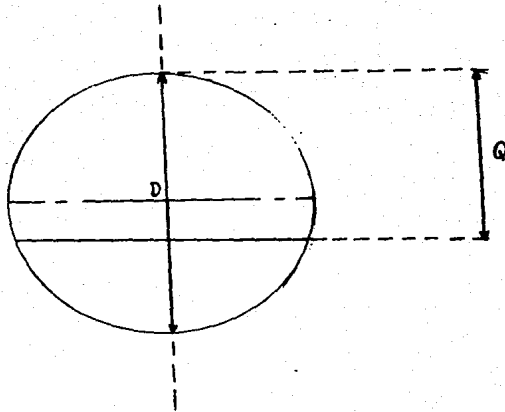


FIGURA N° 4.1

VOLUMEN OCUPADO POR LOS
MEDIOS DE MOLIENDA.

La figura N° 4.1 permite identificar mejor los parámetros considerados.

Entonces el peso de las bolas o las barras se puede calcular a partir de la fracción del volumen total, la densidad y el volumen real ocupado de las mismas.

Si los medios de molienda no tienen defectos, los pesos volumétricos que presentan son: 4.16 Kg/dm^3 (260 lb/ft^3) para las bolas, 6.25 Kg/dm^3

(390 lb/ft³) para las barras y 1.60 kg/dm³ (100 lb/ft³) para guijarras.

Se conoce que un molino desarrolla su máxima eficiencia cuando el volumen ocupado por las barras o las bolas es del 45 al 55% del total; y decrece cuando este volumen varía; basados en estos resultados pocos son los molinos que operan con cargas superiores a 45%, ya que con volúmenes mayores de 45% el consumo de los medios se incrementa y su eficiencia no se altera. Lo anterior queda más claro si se supone un molino con un volumen de bolas menor del 50%, la eficiencia en molienda disminuye y va en aumento a medida que se incrementa la carga de los medios hasta alcanzar su máxima eficiencia con el 50% del volumen ocupado, esto se debe a que el centro de gravedad se va acercando al centro del molino.

Si la carga se sigue aumentando, la eficiencia empieza a disminuir -- hasta alcanzar de nuevo un valor nulo al 100% del volumen ocupado, éste valor es equivalente al 0% de carga.

El volumen que puede estar ocupado está definido por los diámetros de las bocas de alimentación y descarga, si se trata de molinos operando por derrame; si operan con parrilla o con descarga periférica los volúmenes ocupados por los medios de molienda no son afectados por la boca.

Por lo tanto, los molinos operan en su mayoría con volúmenes ocupados por los medios de molienda, alrededor del 35 al 40% del volumen total.

La carga en toneladas de bolas o barras contenidas en un molino, se puede calcular a partir de las siguientes ecuaciones empíricas (válidas únicamente a nivel industrial).

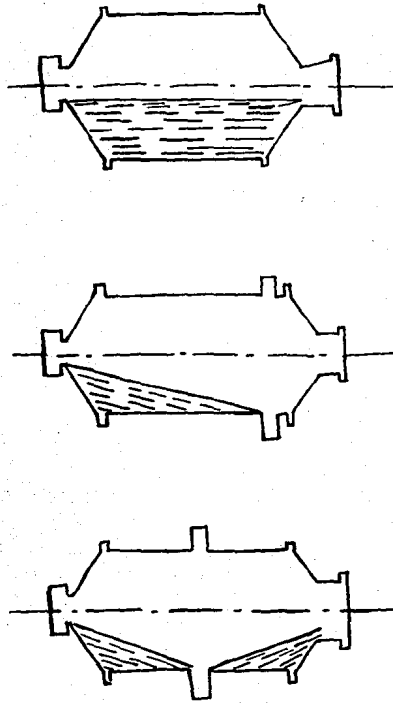


FIGURA No. 4.2. MOLINOS CON DIFERENTES TIPOS DE DESCARGA

- a) por derrame;
- b) periférica por un extremo;
- c) periférica central;

$$T. \text{ bolas} = \frac{V D^2 L}{8.4 P} \quad (4.16)$$

$$T. \text{ barras} = \frac{V D^2 L}{6.8 P} \quad (4.17)$$

en donde:

D - es el diámetro del molino expresado en pies (ft)

L - es la longitud del molino expresado en pies (ft)

Vp - Volumen ocupado por los medios molidores expresado en fracción-decimal.

T - Carga de los medios molidores expresado en toneladas cortas (Tc)

Las ecuaciones Nos. 4.16 y 4.17 se establecieron bajo la suposición - de que la carga de bolas y barras tienen aproximadamente un 40% y un 20% de espacios huecos respectivamente.

VOLUMEN OCUPADO POR LA PULPA

En la carga de bolas para molienda aproximadamente el 40% del volumen son espacios vacíos y en las barras son únicamente el 20%. Estos espacios huecos contendrán en el proceso la pulpa con el material que se va a moler. Entonces la masa de la pulpa depende de la fracción del-volumen total ocupado. El volumen de la pulpa se puede calcular por medio de la ecuación:

$$V_{\text{pulpa}} = \frac{T}{P_e} K \quad (4.18)$$

en donde:

V_{pulpa} - volumen de la pulpa expresado en litros.

T - Carga de bolas o de las barras expresado en kilogramos.

P_v - Peso volumétrico de las bolas o barras expresado en kilogramos/litro.

K - Constante 0.40 ó 0.20 correspondiente a bolas o barras respectivamente y depende del medio molidor que se emplee.

A partir del volumen de la pulpa, la dilución deseada y la densidad del material se calcula la masa de los sólidos, por medio de la siguiente ecuación:

$$M_s = \frac{V_{\text{pulpa}}}{\left[\frac{1}{d_{\text{min}}} \right] + D} \quad (4.19)$$

en donde:

M_s - Peso del sólido (mineral) expresado en kilogramos.

V_{pulpa} - Volumen de la pulpa expresado en litros.

d_{min} - Densidad del mineral expresada en kilogramos/litro.

D - dilución de la pulpa.

Por regla general, el volumen de la pulpa presente en el molino, no debe exceder el volumen de los huecos que puedan existir entre los cuerpos molidores.

VELOCIDAD DEL MOLINO

Para obtener el efecto de molienda se requiere que los cuerpos moledores tengan un movimiento relativo, que permita que la operación se efectúe eficientemente. Si se considera una velocidad del molino baja, el movimiento de los cuerpos moledores será mínimo, puesto que sólo rodarán en la pared interior del molino y el grado de molienda será bajo; pero si la velocidad aumenta, hasta alcanzar valores superiores a la velocidad crítica, tanto los cuerpos moledores como la pulpa, se mantendrán adheridos al molino por efecto de la velocidad centrífuga, entonces la operación será también poco eficiente.

Con la finalidad de establecer una ecuación para calcular la velocidad óptima de operación de un molino, es necesario suponer un cuerpo molidor de masa M , que al ser arrastrado por frotamiento con la pared del molino, alcance un punto (correspondiente a la altura máxima del diámetro interno del molino) en el cual, la proyección del vector peso equilibra la fuerza centrífuga:

$$\text{Peso} = M v^2 r \quad (4.20)$$

En este punto, el cuerpo molidor deja la pared y describe una trayectoria parabólica, que lo devuelve a una posición cercana al punto de salida, la velocidad a la cual esto sucede, se le denomina velocidad crítica. Este parámetro está determinado por la ecuación:

$$V_c = \frac{42.7}{\sqrt{D}} \quad (4.21)$$

en donde:

V_c - Velocidad crítica del molino y esta expresada en rpm.

D - Diámetro interno del molino expresado en metros.

Lo mencionado hasta el momento no es verificable experimentalmente, a menos que los deslizamientos de la carga contra la pared fuesen nulos, y esto sólo ocurre cuando las barras de elevación tienen un tamaño suficiente. Esto aclara por qué hay molinos que operan con velocidades iguales o superiores a la crítica, sin que exista centrifugación de las cargas.

La eficiencia máxima, medida por la velocidad relativa de caída de la bola a su punto de impacto, se obtiene según el cálculo, cuando la velocidad del molino corresponde al 75% de la velocidad crítica y se le denomina velocidad de trabajo (V_t).

$$V_t = 0.75 V_c = \frac{32}{\sqrt{D}} \quad (4.22)$$

Los tipos del movimiento de la carga difieren de lo que se obtuvo en cálculos teóricos, las parábolas de caída son en realidad movimientos de cascada, tanto de los materiales moledores como de la pulpa a molar, que saltan sobre sí mismas hasta su posición original.

A partir de modelos experimentales se han podido obtener las siguientes conclusiones:

1. Además de la velocidad de rotación, otro factor importante en la determinación de las trayectorias de las bolas es el deslizamiento.
2. La cantidad de deslizamiento depende de varios factores: dimensiones de las bolas, naturaleza de las laines, carácter de la pulpa y otros, pero siempre está presente el deslizamiento.
3. En la mayoría de los molinos el deslizamiento es tan grande que limita toda caída libre parabólica a velocidades normales.
4. Siempre hay un cambio continuo de posición entre las bolas durante el movimiento de elevación circular.
5. Con las velocidades empleadas habitualmente, hay mucho más efecto de caída en cascada que de caída libre parabólica.
6. Las trayectorias de las bolas y del mineral son afectadas por la segregación, función del volumen, y poco afectadas por la densidad.
7. Con baja velocidad los finos permanecen en el centro con alta velocidad en la periferia.
8. La mejor mezcla parece obtenerse a la mayor velocidad, antes de --

llegar a la caída, libre parabólica.

Se concluye que con velocidades inferiores al 70% de la velocidad crítica, la acción de deslizamiento causa que la molienda se efectúe por fricción.

Como consecuencia, una velocidad alta provoca mayor capacidad, baja la eficiencia, produce mayor desgaste de las bolas, incrementa la demanda de energía y costo de mantenimiento, mientras que una velocidad baja reduce la capacidad y desgaste de las bolas, pero aumenta la eficiencia siempre y cuando no se permita que la velocidad se aleje por debajo del 70% de la velocidad crítica.

DIAMETRO DEL MOLINO

En una molienda convencional, el consumo de energía varía teóricamente con $D^{2.5}$, este resultado es provocado por dos diferentes causas, - la primera es la masa de los cuerpos molidores que ocupan una fracción V_p y para este caso el consumo de energía varía con D^2 ; y la segunda es, la fracción de la velocidad crítica C_s la cual varía con \sqrt{D} considerando las dos fracciones resulta:

$$D^2 + \sqrt{D} = D^{2.5} \quad (4.23)$$

Las mediciones del consumo de energía hechas demuestran que en una molienda fina en húmedo, la capacidad del molino varía directamente pro

porcional de acuerdo a $D^{2.6}$; el exponente del diámetro se incrementa ligeramente cuando el molino es operado bajo condiciones elevadas de impacto. Teóricamente el exponente máximo será cuando la reducción se lleve a cabo únicamente por impacto y tendrá un valor de 3.0.

De otras mediciones se obtiene que la energía suministrada varía con el exponente real de 2.4 ($D^{2.4}$). El decremento del exponente de 2.5 a 2.4 es probablemente el resultado de la energía que tienen las bolas o las barras al caer nuevamente a su posición original con lo cual se reduce el consumo. El exponente real del diámetro varía entonces con 0.4 en lugar del teórico de 0.5.

La diferencia entre los exponentes en el diámetro, es de 0.2; esto determina una ventaja mecánica de los molinos de diámetros grandes, ya que la eficiencia mecánica se incrementa de acuerdo al diámetro interior del molino en 0.2 y el consumo de energía KWH/T requerido para la molienda disminuye en la misma proporción.

Puesto que el índice de trabajo (W_i) está basado en molinos con diámetro interior de 8ft (244 cm), el cálculo de la energía requerida para moler el mineral (W) en KWH/T que se obtiene en la ecuación:

$$W = \frac{10 W_i}{\sqrt{P}} - \frac{10 W_i}{\sqrt{F}} \quad (4.24)$$

debe ser corregido para molinos de diámetro diferente, el resultado -

de esta ecuación deberá multiplicarse por el factor $(8/D)^{0.2}$, en donde D es el diámetro interno del molino en cuestión. (expresado en --- pies).

Debido a que el consumo de energía es un porcentaje elevado en los -- costos de la operación, los estudios se han dirigido a buscar una mejor eficiencia en la clasificación y al empleo de molinos de diáme--- tros superiores.

Un aumento en el diámetro del molino representa una mayor economía, de bido a que los medios moledores proporcionan un mayor rendimiento.

GRADIENTE DE LA CARGA DE BOLAS Y/O BARRAS

La mayoría de los investigadores concuerdan en que el desgaste que se produce en los medios moledores es siempre proporcional a la superficie de los mismos, es decir la reducción del diámetro debida al des--- gaste es constante y uniforme con respecto al tiempo.

Los estudios realizados en Armco International (24) permitieron esta--- blecer el siguiente enunciado: "El diámetro perdido por unidad de -- tiempo en los medios moledores es una constante; sin importar el tama ño original de los mismos".

En un proceso con molienda contfua, la carga de bolas es ajustada du rante la operación debido a que no es posible esperar a que los me--- dios moledores se reduzcan a tamaños insignificantes, ya que ésto reduciría la eficiencia en la molienda.

Como aclaración a lo expuesto anteriormente, se puede suponer un molino vacío, el cual se cargará con bolas de un mismo diámetro, este operará durante lapsos iguales, entre los cuales se adicionarán bolas -- nuevas de tamaño original.

Después del primer período las bolas de tamaño original X_1 disminuyeron su tamaño hasta X_2 , en este punto se agregan bolas nuevas; la carga consta entonces de bolas de dos diámetros diferentes.

En el segundo período, las bolas X_1 agregadas en el lapso anterior se redujeron hasta X_2 y las que tenían como diámetro X_2 se redujeron a X_3 , la carga después de agregar bolas nuevas, está formada por 3 tamaños de bolas.

Este paso se repite hasta que las bolas más pequeñas son tan insignificantes que el molino las escupe con facilidad. En este momento:

- 1) Se ha consumido completamente la primer bola.
- 2) Se ha establecido un gradiente de bolas.
- 3) Se ha establecido un equilibrio en la carga de bolas el cual se -- puede representar por una bola de cada diámetro.
- 4) Después de este paso, la distribución de tamaños de bolas no cambiará, por lo tanto se puede representar como un gradiente de bolas.

El tamaño máximo de bolas en el molino debe ser lo suficientemente -- grande para romper el fragmento de mineral de tamaño máximo suscepti-

ble de presentarse, si las bolas fueran muy grandes, el número de puntos de impacto por unidad de volumen del molino sería muy pequeño.

La molienda se realiza por desgaste, a base de fricción, y se lleva a efecto por una parte en los puntos de contacto entre las bolas, y por otra, entre la superficie de las bolas y los fragmentos de mineral -- atrapados entre los espacios huecos de las mismas. Basados en lo anterior, el máximo número de puntos de contacto y el área máxima de la superficie de las bolas es deseable en una carga, esto es, con la finalidad de aumentar la capacidad en la molienda.

El número máximo de puntos de contacto se logra conservando el tamaño de bolas tan pequeño como sea posible, de acuerdo con la molienda requerida. Generalmente la primera carga de bolas en un molino nuevo -- está formada por distintos tamaños de tal forma, que produzcan el mínimo de huecos.

Después de un período de operación, en el cual las bolas se han consumido, es necesario agregar el tamaño más grande de bolas y algunas veces los dos tamaños más grandes, para reponer las desgastadas.

Por lo tanto para que exista una reducción de tamaño uniforme es necesario que exista un gradiente de bolas en equilibrio, con lo cual la eficiencia también aumenta.

Un exceso de bolas grandes, producirá una muy buena molienda en las mallas gruesas y una cantidad excesiva de ultrafinos provocando pro--

blemas en los procesos posteriores.

Si el exceso es de bolas pequeñas y las grandes son escasas, la mollienda sería deficiente en los productos gruesos, repercutiendo en los equipos auxiliares como son: bombas y ciclones, los cuales se desgastan con mayor velocidad.

Para el caso de molinos de barras, se afirma que es una práctica universal efectuar la recarga únicamente con barras de diámetro máximo. También Bond y algunos técnicos de Allis Chalmers recomiendan la eliminación periódica de las barras delgadas o trozos de barras quebradas y que no han sido expulsadas del molino.

DILUCION

Este factor es importante puesto que de la relación agua-sólidos, dependerá el período de retención de la pulpa en el molino, generalmente en molinos de bolas se emplean diluciones mayores que en los molinos de barras, puesto que los molinos de barras se emplean para molliendas gruesas en donde la superficie de las partículas es menor y por lo tanto se requiere de menos cantidad de agua para humedecerlas.

Debido a que la pulpa ocupará el espacio de los huecos de los medios-molledores, es necesario conocer este volumen y por medio de la densidad del mineral, determinar la relación de agua-sólidos.

Las diluciones elevadas provocan que la pulpa atraviese el molino con mayor velocidad causando una disminución en la capacidad; pero un molino operando con bajas diluciones, sólo moja las paredes con la pulpa y la fluidez que presenta la misma no permite que exista movimiento del mineral, por lo que la capacidad en la molienda disminuye.

Si la dilución de la pulpa es insuficiente, es decir, si opera con -- una alta densidad o concentración de sólidos, se dificulta la fácil y rápida descarga en el molino debido a la elevada viscosidad; tampoco puede haber una buena penetración de la pulpa a través de los intersticios de la carga moledora.

Los sólidos son más susceptibles de ser molidos, en las zonas de molienda activa (puntos de contacto entre bola-bola y entre bola-laina) esto sucede cuando los intersticios entre los cuerpos moledores están llenos de pulpa, la cual debe tener cierta fluidez y a la vez debe -- ser lo más densa posible.

Por todo lo anterior es conveniente checar en la operación de molienda, la eficiencia del proceso con diferentes diluciones y determinar la óptima para cada mineral en particular.

CONSUMO DE POTENCIA POR TONELADA DE MEDIOS
MOLEDORES

La potencia necesaria en la molienda es calculada a partir de la potencia requerida para mover los medios de molienda en las condiciones de operación del equipo. Este valor varía de acuerdo a la fracción del volumen ocupado (Vp) por los medios de molienda, de la fracción de la velocidad crítica (Cs) y del diámetro interno del molino (D) en pies.

La ecuación No. 4.25, permite calcular los KW necesarios para mover una tonelada de barras en una molienda húmeda convencional.

$$KW_{\text{barras}} = 1.07 D^{1/3} (6.3-5.4 Vp) Cs \quad (4.25)$$

Si existe una acumulación de barras irregulares en el molino el consumo de la potencia se puede reducir hasta en un 10%.

La ecuación No. 4.26, determina el consumo de potencia (KW) necesarias para mover una tonelada de bolas en una molienda húmeda, en la cual se emplean bolas de diámetros alrededor de 1/80 del diámetro interno del molino.

$$KW_{\text{bolas}} = 3.1 D^{0.3} (3.2-3 Vp) Cs \left(1 - \frac{0.1}{2(9-10Cs)} \right) \quad (4.26)$$

En las operaciones en húmedo con parrilla en la descarga, el consumo de potencia para mover las bolas deberá ser multiplicado por 1.08

Para este caso si Qd representa la distancia vertical en pies desde el tope interior del molino al nivel del punto de descarga, se tiene:

$$V_p = 1.13 - 1.26 \left[\frac{Q_d}{D} \right] \quad (4.27)$$

en la cual V_p es la fracción del volumen interno del molino debajo del nivel de descarga. (Ver: volumen ocupado por los medios de molienda: Ec No. 4.15)

Para un molino con diámetro de descarga grande y con parrilla el valor de V_p es igual a 0.029. En las operaciones en húmedo, con parrilla y bajo el nivel de descarga el consumo de potencia para mover las bolas (KWbolas), deberá multiplicarse por A, en donde:

$$A = \left(1 + \frac{0.40 - V_p}{2.5} \right)$$

REVESTIMIENTO DEL MOLINO

Con respecto a los revestimientos en los molinos, es fundamental conocer: La dureza del revestimiento, la relación consumo-costo de acero por tonelada molida, período de cambio, etc. con la finalidad de alcanzar un mínimo costo con mayores duraciones, ya que la influencia del revestimiento en el proceso de molienda, es importante.

Las funciones del revestimiento no sólo son de elemento de protección del casco, sino que es el órgano mecánico de transmisión de potencia-

y por lo tanto, su participación es activa en la operación de molienda.

Si el revestimiento tiene un diseño adecuado la influencia que ejerce, es importante en el ordenamiento de la carga moledora y su levante y, por ende, sobre el grado de molienda producido, impacto o atrición.

Un buen diseño debe optimizar el arrastre de la carga moledora y evitar el deslizamiento entre la misma carga o con el casco del molino, levantando la carga de bolas o barras normalmente hasta una posición ubicada a 45° sobre el horizontal del molino, ésto debe mantenerse para la máxima vida útil del revestimiento.

El aumento del levante de la carga de bolas o barras para un mayor efecto de arrastre producido por una lana de mejor diseño debe producir los siguientes efectos:

- a) Mayor consumo de potencia, en el motor del molino, pero normalmente un menor consumo unitario.
- b) Mayor capacidad de molienda, expresada en aumento de tonelaje y/o finura del producto final.
- c) Menor cantidad del producto grueso en la descarga del molino debido a la ganancia de molienda por impacto y por consiguiente disminución del desgaste en bombas y ciclones.

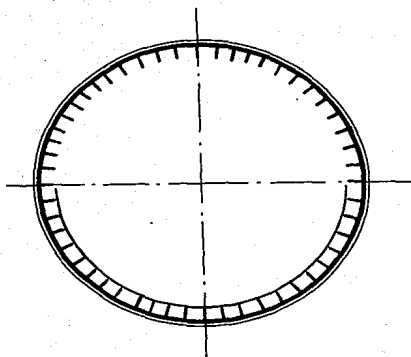


FIGURA No 3

BLINDAJE CON BARRAS DE ELEVACION.

Todo ésto debe cumplirse para una operación equivalente.

Por la razón anterior correspondiente a un buen diseño de la lana, existe la posibilidad de reducir el diámetro máximo de bola o barra aumentando al mismo tiempo la superficie y puntos de contacto de la carga-moledora.

Un juego de elevadores gastados provoca una pérdida en la capacidad de levante de la carga moledora y reducirá la eficiencia de molienda al producir un excesivo rasbalamiento de la carga en sentido contrario - del giro del molino.

4.2 MOLIENDA EN SECO.

4.2.1 DETERMINACION DEL INDICE DE TRABAJO (W_i) POR EL METODO BOND. El índice de trabajo (W_i) denominado Work Index o simplemente Índice de Bond, es una expresión de la resistencia de una material a ser --- fracturado; este valor es caracterfstico para cada mineral, por lo -- que es fácil tener dos minerales similares con diferentes valores de W_i ; este Índice se expresa en kilowatt hora por tonelada corta de mineral KWH/Tc.

El índice de trabajo puede ser determinado experimentalmente en el la laboratorio mediante pruebas de trituración y/o molienda, o directamente en pruebas industriales, a partir de la ecuación general de Bond - que correlaciona los KWH gastados para moler una tonelada corta (907 Kg) de mineral, el cual ha sido alimentado a un tamaño F y molido -- hasta otro tamaño P, ambos expresados en micrómetros; estos dos valores deberán ser los correspondientes al 80% de la alimentación y la - descarga en el circuito de molienda. (Ver inciso 4.1.3 Evaluación de la Distribución Granulométrica).

Este índice permite comparar la eficiencia de las operaciones y efectuar una evaluación de los parámetros que intervienen en los métodos-

de reducción de tamaño. Los valores de W_i obtenidos en las pruebas de evaluación, se correlacionan con otros valores determinados con anterioridad, ya sea en las mismas o diferentes condiciones de operación, de donde se establece la influencia de los parámetros involucrados.

4.2.1.1 DETERMINACION DEL INDICE DE TRABAJO W_i EN MOLINO DE BOLAS.

La determinación del índice de trabajo (W_i) se lleva a cabo en un molino de bolas estándar de dimensiones 12"x12" (30.48 cm x 30.48 cm). De acuerdo a la técnica de Fred C. Bond, este es un método empírico desarrollado para determinar la cantidad de energía necesaria para moler un mineral.

El valor de W_i que expresa la resistencia del mineral a ser reducido de tamaño, es determinado en molienda a partir de los datos obtenidos en el laboratorio y aplicados en la fórmula empírica:

$$W_i = \frac{44.5}{(P_i)^{0.23} (Gbp)^{0.82} \left[\frac{10}{F} - \frac{10}{F'} \right]} \quad (4.28)$$

En donde:

W_i = Índice de trabajo expresado en KWH/Tc

Gbp = Producto neto producido en gramos por revolución en el molino de bolas estándar g/rev.

P_i = Tamaño en micrómetros de la malla seleccionada para la descarga.

F y P= Tamaños en micrómetros a través de los cuales pasa el 80% de la alimentación y descarga respectivamente.

El molino estándar empleado para esta determinación es un molino de bolas, con blindaje liso y una puerta de 4"x8" (10.15 cm x 20.32 cm) para cargar las bolas y el mineral, tiene adaptado un contador de revoluciones, y opera a 70 r.p.m. (91% de la velocidad crítica).

La carga y el gradiente de bolas se presenta a continuación en forma de cuadro.

TAMAÑO DE BOLA		PESO UNITARIO GRAMOS	No. DE BOLAS	PESO TOTAL GRAMOS	PESO %
PULGADAS	CENTIMETROS				
1 7/16	3.683	204.81	43	8806.8	43.71
1 3/16	2.972	107.60	67	7209.2	35.78
1	2.540	67.18	10	671.8	3.33
3/4	1.910	28.56	71	2028.2	10.07
5/8	1.549	15.25	94	1433.4	7.11
			285	26249.4	100.00

CUADRO No. 4.3

El desarrollo de la técnica se desglosa a continuación:

- a) El mineral de la alimentación debe estar a -6 mallas y ser producto de la quebradora de rodillos.
- b) La descarga en esta operación deberá ser menor de 28 mallas.
- c) El valor de la alimentación (F) en micrómetros se debe determinar gráficamente de la curva del análisis de cribas correspondiente a

la alimentación al molino.

d) El peso del mineral utilizado para la determinación es el equivalente a 700cc, el peso es diferente para cada mineral de acuerdo a su densidad.

e) La prueba se lleva a cabo en seco.

La determinación se inicia moliendo el mineral durante 100 revoluciones, posteriormente el producto es clasificado por la malla deseada (menor de 28 mallas); el producto fino es pesado, con este valor y la masa del material fino alimentado se puede calcular la masa neta producida durante este ciclo de molienda, y se expresa de la siguiente manera:

$$\left[\begin{array}{l} \text{PRODUCTO NETO} \\ \text{DE MATERIAL A} \\ \text{-X MALLAS} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{CANTIDAD DE} \\ \text{MINERAL A} \\ \text{-X MALLAS O} \\ \text{TENIDO EN LA} \\ \text{DESCARGA} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{CANTIDAD DE} \\ \text{MINERAL A} \\ \text{-X MALLAS} \\ \text{ALIMENTADO} \\ \text{AL MOLINO} \end{array} \right]$$

En donde:

X = Es cualquier tamaño de descarga del molino (menor de 28 mallas, -589 micrómetros).

El resultado obtenido es útil para establecer la cantidad neta de mineral a -X mallas producido por cada revolución.

$$\left[\begin{array}{l} \text{GRAMOS NETOS A} \\ \text{-X MALLAS PRO-} \\ \text{DUCIDOS POR RE} \\ \text{VOLUCION} \end{array} \right] = \frac{\left[\begin{array}{l} \text{PRODUCTO NETO DE MATERIAL} \\ \text{A -X MALLAS} \end{array} \right]}{\text{No. DE REVOLUCIONES DEL MOLINO}}$$

Con los datos anteriores se puede establecer el número de revolucio--
nes requeridos para simular la operación de un molino de bolas con --
una carga de mineral en recirculación de 250%. El grado de genera---
ción de producto a la molienda deseada en un circuito operando al ---
250% de carga en recirculación es llamado Producto Potencial Ideal --
(PPI).

$$\text{PPI} = \frac{\text{TOTAL DE ALIMENTACION AL MOLINO}}{3.5}$$

La cantidad de mineral a -X mallas que deberá producir el molino en -
el siguiente paso es:

$$\left[\text{CARGA A MOLER} \right] = \left[\text{PRODUCTO POTENCIAL IDEAL} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{CANTIDAD DE MINERAL A -X} \\ \text{MALLAS ALIMENTADO AL MO-} \\ \text{LINO.} \end{array} \right]$$

Después de cada paso de molienda, se elimina el producto fino (menor-
de X mallas) generado durante el ciclo anterior y se restituye por mi
neral original a -6 mallas.

El número de revoluciones requeridas por el molino para simular el --
circuito de molienda, es la carga a moler dividida por la producció--
neta de material a -X mallas determinados en el paso anterior.

El número de revoluciones está definido por:

$$N = \frac{\text{CARGA A MOLER (GRAMOS)}}{\left[\frac{\text{GRAMOS NETOS A -X MALLAS PRODUCIDOS POR}}{\text{REVOLUCION (GRAMOS/REVOLUCION)}} \right]}$$

En donde:

N - Es el número de revoluciones requeridas para simular un sistema - operando a 250% de carga recirculante, las masas están expresadas en gramos.

La prueba de molienda es repetida por N veces hasta que se produce un cambio de dirección, ya sea de aumento o disminución del valor de Gbp (material a -X mallas producido por revolución).

La gráfica de los pasos de molienda y los gramos producidos por revolución, determina cuando cambia de signo la pendiente de la curva, en este punto, el producto se somete a un análisis de cribas para obtener el valor de la descarga (P) en micrómetros, con el valor de Gbp, - y con F y P se puede calcular el índice de trabajo (Wi) del material en estudio.

La fórmula empírica para el cálculo del Wi, se cumple para molinos de bolas operados en húmedo por derrame y en circuito cerrado. Para moliendas en seco, el consumo de energía necesario es multiplicado por 1.30.

4.2.1.2 DETERMINACION DEL INDICE DE TRABAJO W_i EN MOLINO DE BARRAS.

La prueba se realiza en un molino de barras basculante con las siguientes dimensiones: 12" de diámetro x 24" de longitud (30.48 cm X 60.96 cm); los datos obtenidos durante la operación se sustituye en la siguiente ecuación, con la cual se calcula el valor del Índice de Trabajo (W_i), para un molino de barras.

$$W_i = \frac{62}{(P_i)^{0.23} \times (G_{bp})^{0.625} \times \frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}}} \quad (4.29)$$

En donde:

W_i = Índice de Trabajo expresado en KWH/Tc

Gbp = Gramos netos producidos por revolución, expresado en g/rev.

P_i = Tamaño en micrómetros de la malla seleccionada para la descarga.

F y P= Tamaños en micrómetros a través de los cuales pasa el 80% de la alimentación y descarga, respectivamente.

En esta prueba se emplea un molino con revestimiento tipo ondulado, - el cual tiene adaptado un contador de revoluciones y mantiene una velocidad de 46 r.p.m. (60% de la velocidad crítica).

La carga y gradiente de barras se presenta a continuación en forma de cuadro:

DIAMETRO DE BARRAS		PESO UNITARIO GRAMOS	No. DE BARRAS	PESO TOTAL	PESO %
PULGADAS	CENTIMETROS				
1 3/4	4.445	6.598	2	13.195	39.5
1 1/4	3.175	3.366	6	20.197	60.5
				33.392	100.0

CUADRO No. 4.4

La longitud de las barras es de 21.5" (54.6 cm).

El mineral empleado en esta técnica debe ser:

- a) Alimentado a - 1/2" (-1.27 cm)
- b) Ser producto de la quebradora de rodillos.
- c) El volumen ocupado por el mismo, debe ser 1250 cc
- d) El valor de la alimentación (F) en micrómetros, debe ser determinado gráficamente en la curva del análisis granulométrico correspondiente a la alimentación al molino.

Esta prueba se lleva a cabo en seco y se trata de establecer un circuito cerrado con una carga circulante de 100%.

Con el objeto de igualar las segregaciones en los extremos del molino éste es girado a nivel durante 8 revoluciones, después de las cuales se gira 5° hacia arriba durante una revolución, y 5° hacia abajo en otra; se regresa a su nivel original y gira durante otras 8 revoluciones, este ciclo se repite las veces que sea necesaria hasta terminar la molienda.

Los minerales pueden reducirse hasta el rango comprendido entre 4 y - 65 mallas, el cual es descargado después de cada período de molienda, el producto es clasificado por la malla seleccionada.

El producto fino se pesa y se repone con carga nueva, para ser alimen tado nuevamente al molino, la carga a moler, la carga recirculante y el número de revoluciones se calculan igual que para el molino de bo- las.

Los ciclos son repetidos hasta que los gramos netos producidos por re volución alcancen un equilibrio o cambie de sentido su tendencia de - aumento o decremento.

En cuanto el circuito se ha establecido y los gramos netos producidos por re volución cambian su tendencia de aumento o disminución, se da - por terminada la prueba; los productos de los últimos 2 ó 3 pasos son analizados granulométricamente para determinar el valor correspondien- te al 80% en la descarga.

Los datos recopilados durante la determinación, permiten calcular el- consumo de energía por tonelada corta de mineral molido, el valor de W_i se cumple para molinos con diámetro interior de 8 pies (244 cm) -- operados en húmedo por derrame y en circuito cerrado.

En los molinos cuyo diámetro interior sea diferente de 8 pies, será - necesario multiplicar por $(8/D)^{0.20}$ en donde D está expresado en pies.

4.3 MOLIENDA EN HUMEDO

A nivel industrial, la reducción de tamaño de los minerales se lleva a cabo en húmedo para reducir el consumo de energía, porque el paso posterior (generalmente flotación), se realiza por vía húmeda.

El proceso de flotación es uno de los métodos más comunes para extraer los minerales valiosos de ciertas clases de menas, y cuando es aplicable, por lo general, resulta más eficiente que cualquier otro proceso que pudiera aplicarse para los mismos límites de tamaño de partículas.

La reducción de tamaño del mineral por molienda húmeda, después de la etapa de trituración en seco, es esencial para una flotación satisfactoria. El último paso de reducción debe llevarse a cabo en húmedo para que la superficie fresca (activa) facilite la adsorción de los reactivos de flotación.

El tamaño del producto final debe ser lo suficientemente pequeño para liberar la totalidad del mineral de la ganga, sin que se produzca una cantidad excesiva de finos. Se evitan también los calentamientos.

Otra ventaja que presenta este tipo de operación, es que la clasificación volumétrica es más cómoda y además, parece ser que la resistencia de los fragmentos disminuye en el agua.

El material que viene de la sección de trituración es almacenado o llevado directamente a un molino para producir partículas de tamaño adecuado al proceso posterior. El mineral es alimentado junto con agua al molino o molinos de bolas que trabajan en circuito abierto o cerrado (sin o con clasificador). el molino contiene la carga molidora hasta cierto nivel (cercano al 50% del diámetro del volumen del molino), y permanece accionando a tal velocidad, que la caída en cascada de las bolas o barras y su acción de rodamiento produzcan el máximo efecto de molienda sobre el mineral que permanece en el molino dependiendo de la velocidad de alimentación.

La acción de caída en cascada rompe el mineral por impacto y el rodamiento que sufren las bolas o barras, hace que éstas desintegren las partículas en base a un desgaste por fricción. La pulpa del mineral no debe ser muy diluida para que esta no escape con rapidez del molino, sin embargo debe ser lo suficiente espesa para que permanezca sustancialmente homogénea en los espacios intersticiales formados entre los cuerpos molidores.

La molienda en húmedo se realiza tanto en molinos de bolas, como en molinos de barras y algunos otros molinos, una descripción más detallada de esta operación, se desglosa a continuación:

4.3.1 MOLINO DE BOLAS

Los molinos de bolas están formados esencialmente por cuerpos tubulares huecos, cilíndricos o cilíndrico-cónicos, con las paredes interiores provistas de un blindaje (lainas). Estos equipos giran alrededor de su eje longitudinal en posición horizontal. En el interior está la carga de cuerpos moledores, ésta carga de medios de molienda es un juego de bolas esféricas de diámetros diferentes, las cuales deben tener una dureza elevada, ya que con éstas se mezcla la materia a moler.

Debido a la acción del tambor, las bolas son arrastradas a lo largo de las paredes, las cascadas que se forman con las bolas someten al material a moler a innumerables acciones de presión, atrición y choque entre la pulpa y los cuerpos moledores, ó entre la pulpa y las paredes del tambor.

A medida que aumenta el tiempo de permanencia del mineral en el molino, la fragmentación es más forzada. En el caso más simple que es el de una operación continua, la materia a moler se alimenta por un extremo del tubo y se descarga por el extremo opuesto. La permanencia en contacto con los medios moledores es función a la vez, de la velocidad de alimentación y de la longitud del tubo.

Los molinos de bolas se emplean para operaciones en húmedo (pulpas -- con contenidos de 35 hasta 85% de agua), y también pueden emplearse para operaciones en seco (minerales con contenidos menores de 1% de agua).

4.3.1.1 GRADIENTE DE BOLAS

Las bolas empleadas en una molienda industrial, deben ser lo suficientemente grandes para romper la partícula de diámetro mayor que esté presente en el circuito.

La ecuación empírica para seleccionar el tamaño máximo de bola que forma la carga inicial de bolas es:

$$B = \sqrt{\frac{F}{K}} \sqrt[3]{\frac{dW_i}{fCs \sqrt{D}}} \quad (4.30)$$

En donde:

- B = Diámetro máximo de bola en pulgadas.
- F = Tamaño de las partículas en micrómetros a través del cual pasa el 80% de la alimentación.
- d = Densidad del mineral expresado en g/cc
- fCs = Fracción de la velocidad crítica expresada en decimal.
- D = Diámetro de trabajo (entre lánas) expresado en pies.
- Wi = Índice de Trabajo expresado en KWH/Tc
- K = Factor que depende del circuito empleado y del tipo de molino.

En el caso de que se requiera operar en sistema métrico, el diámetro de las bolas se puede calcular en milímetros, a partir de la siguiente ecuación:

$$B = \left[\sqrt{\frac{F}{K}} \sqrt[3]{\frac{dWi}{fCs \sqrt{3.281D}}} \right] \times 25.4 \quad (4.31)$$

En donde:

B = Diámetro máximo de bola en milímetros.

D = Diámetro de trabajo (entre laines) expresado en metros.

K = Factor que depende del circuito empleado y del tipo de molino.

El factor K varía de acuerdo a la siguiente tabla:

FACTOR K PARA MOLINOS DE BOLAS

TIPO DE OPERACION	CIRCUITO Y TIPO DE MOLINO	K
Molienda Húmeda	Circuito Cerrado-Derrame	350
	Circuito Abierto-Derrame	350
	Circuito Cerrado-Diafragma	330
	Circuito Abierto-Diafragma	330
Molienda Seca	Circuito Cerrado-Diafragma	335
	Circuito Abierto-Diafragma	335

CUADRO No. 4.5

Las ecuaciones anteriores son aplicables para operaciones en húmedo y en seco, considerando únicamente el factor K que es diferente para cada caso.

En las ecuaciones anteriores, se determinan con frecuencia diámetros máximos de bola, que no siempre son tamaños estándar disponibles, por lo que es necesario emplear el tamaño próximo mayor al calculado.

Cuando ha transcurrido algún tiempo de operación y se ha determinado el gradiente de bolas es necesario agregar únicamente bolas de diámetro mayor. En la siguiente tabla se proporcionan algunas cargas en equilibrio para bolas que abarcan el rango de 4.5" (115 mm) hasta 1.5" (40 mm).

Las siguientes cargas son resultado de plantas de operación.

CARGAS EN EQUILIBRIO DE BOLAS PARA MOLIENDA
(EXPRESADA EN % PESO)

GRANULOMETRIA DE LA CARGA DE BOLAS		TAMAÑO DEL DIAMETRO MAXIMO DE LAS BOLAS ALIMENTADAS (MM-PULG)						
PULGADAS	MM	115-4.5	100-4.0	90-3.5	75-3.0	65-2.5	50-2.0	40-1.5
4.5	115	23.0						
4.0	100	31.0	23.0					
3.5	90	18.0	34.0	24.0				
3.0	75	15.0	21.0	38.0	31.0			
2.5	65	7.0	12.0	20.5	39.0	34.0		
2.0	50	3.8	6.5	11.5	19.0	43.0	40.0	
1.5	40	1.7	2.5	4.5	8.0	17.0	45.0	51.0
1.0	25	0.5	1.0	1.5	3.0	6.0	15.0	49.0
T O T A L		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

CUADRO No. 4.6

4.3.1.2 CALCULO DE LA CARGA DE BOLAS

La carga de los medios molidores se puede determinar con la ecuación:

$$C_w = \frac{D^2}{4} V_p L \frac{P_v}{2000} \quad (4.32)$$

En donde:

C_w = Masa de la carga de bolas expresado en toneladas cortas (Tc)

L = Longitud del molino expresada en pies (ft)

P_v = Peso volumétrico de las bolas (lb/ft³)

D = Diámetro de trabajo (entre lánas) expresado en pies (ft)

V_p = Porcentaje del molino ocupado por la carga, expresado en decimal.

4.3.1.3 CALCULO DE LA DEMANDA DE POTENCIA

La demanda de potencia es una función del diámetro y la longitud del molino y es calculada por medio de la ecuación empírica

$$KW_{bolas} = 3.1 D^{0.3} (3.2 - 3V_p) C_s \left[1 - \frac{0.1}{2^{9-10C_s}} \right] \quad (4.33)$$

En donde:

KW_{bolas} = Kilowatts por tonelada corta de bolas en molienda (KW/tc)

C_s = Porcentaje de la velocidad crítica, expresada en decimal.

Los parámetros D y V_p se expresan en las mismas unidades empleadas en la ecuación N° 4.32. Esta ecuación proporciona el dato de la demanda de potencia en una molienda en húmedo, que se opera por derrame. La potencia calculada para un molino de bolas cambia con las variaciones de velocidad aunque no proporcionalmente. El consumo de potencia -- causado por los medios moledores varía con $D^{2.3}$.

Con el dato de la potencia disponible en la planta, la medida del nivel de las bolas, el peso de las mismas, la eficiencia de los motores y reductores de velocidad se puede confirmar el valor obtenido de la demanda de potencia.

Esta demanda de potencia está en función de:

- a) Los espacios ondulados
- b) El tamaño de las bolas en relación con las alturas y espacios ondulados en las lanas.

Cuando las bolas son de diámetros mayores de 2." (5.08 cm), los molinos con lanas de ondulado simple, tienden a consumir más potencia que los de lana de ondulado doble.

Esta variación de la demanda de potencia con respecto al tamaño de bolas y la forma de las lanas, no se puede establecer matemáticamente.

4.3.1.4 MOLINO DE BOLAS EN CIRCUITO CERRADO

La molienda puede llevarse a cabo en diferentes etapas. Uno de los circuitos más simples es el de un molino que trabaja en circuito cerrado con un clasificador. La figura No. 4.4 A corresponde a este circuito.

Este circuito se emplea para moliendas cerca de la malla 100, pero puede adaptarse a moliendas más finas, siempre y cuando se cuente -- con el clasificador adecuado.

En este circuito, la pulpa que sale del molino es clasificada en donde es diluida todavía más con agua. El clasificador debe estar ajustado de tal modo que las partículas que ya han sido reducidas al tamaño requerido o a un tamaño menor, sean separadas por derrame, en tanto que las partículas gruesas sean retornadas de nuevo al molino, -- después de drenarlas para eliminar el exceso de agua.

De este modo se mantiene una carga circulante en el proceso, en donde las partículas gruesas que forman la pulpa continúan en recirculación hasta que son molidas a un tamaño igual o menor al establecido en el clasificador. La carga circulante corresponde a un total estimado del 250% de la nueva alimentación que entra al molino.

Sin embargo, la molienda fina se lleva a efecto en dos etapas con -- sus correspondientes molinos de bolas.

La Figura No. 4.4 B corresponde a este circuito en el cual la descarga del primer molino pasa al clasificador en donde se eliminan las partículas menos gruesas y se envían a un segundo clasificador, en el cual se remueven del circuito las partículas que ya se consideran lo suficientemente finas.

De este modo no se sobrecarga el molino secundario, puesto que sólo recibe las partículas gruesas que necesitan ser reducidas al tamaño final deseado. En las plantas pequeñas en donde las moliendas requeridas son finas, la molienda en dos etapas tiene ciertas ventajas:

- 1) En molienda primaria se puede proveer de bolas con el tamaño adecuado, para que el material alimentado sea quebrado a tamaños -- gruesos y el molino secundario puede contener bolas pequeñas que son necesarias para la molienda eficiente de las partículas más finas.
- 2) El material fino, producto de la molienda primaria es removido del circuito, restándole carga al molino secundario.

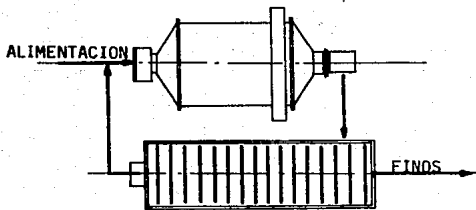


FIGURA 4.4A . CIRCUITO CERRADO DE MOLIENTA EN HUMEDO EN UNA ETAPA .

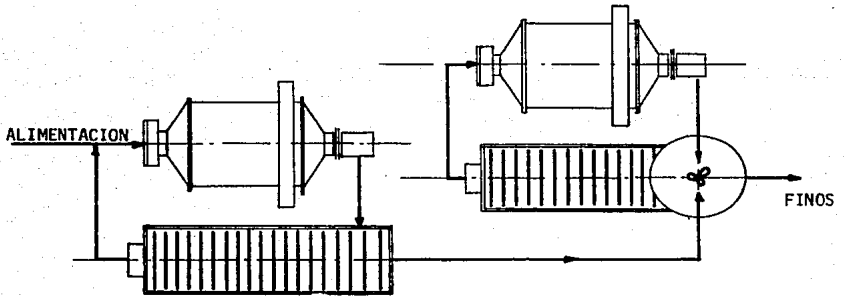


FIGURA 4.4B . CIRCUITO CERRADO DE MOLIENTA EN HUMEDO EN DOS ETAPAS .

La molienda en varias etapas practicada generalmente en instalaciones grandes, es difícil de controlar en pequeña escala, puesto que en este caso las variaciones en el tamaño y características del mineral, son más notables. Por esta razón, la simplicidad de la molienda en una sola etapa es susceptible que resulte con una eficiencia mayor -- que la que se obtendría en un circuito más complicado.

Un aumento en la eficiencia de molienda es susceptible de producir -- una reducción mayor de energía: Al ser reducida la cantidad de mineral que se lleva más allá de la molienda ordinaria (molienda excesiva), de este modo se puede destinar una mayor proporción de la energía requerida para lograr que el molino quede disponible para moler -- las partículas que todavía son demasiado gruesas.

El método ideal para moler consistiría: Desde el punto de vista teórico en el empleo de una serie de molinos de bolas, cada uno con un clasificador y operando en circuito cerrado. Los molinos deberían -- ser de longitud pequeña, de este modo el mineral sólo recibiría dos o tres impactos al pasar a través del molino, y las partículas pequeñas producidas serían removidas por el clasificador.

De este modo, la oportunidad que tiene una partícula de ser golpeada -- de nuevo, después de alcanzar el tamaño requerido, es mínima.

Lo ideal se alcanza en la práctica:

- 1- Si la longitud de un molino cilíndrico y la parte cilíndrica de -- un molino cónico es más pequeña que su diámetro respectivo.

- 2- Si se mantiene una carga circulante elevada en el circuito cerrado, de modo que el mineral pase rápidamente a través del molino.
- 3- Si se emplea una molienda en varias etapas, teniendo cada una su propio sistema de clasificación.

En moliendas con molinos de bolas, no es común instalar más de dos etapas, puesto que el control se dificulta considerablemente y el aumento que se logra en la eficiencia es pequeño.

4.3.1.5 MOLINO DE BOLAS EN CIRCUITO ABIERTO

Este tipo de circuito, no es utilizado con frecuencia debido a la baja eficiencia que presenta, obteniéndose productos en algunas ocasiones, bastantes gruesos, que no permitieron la adecuada liberación -- del mineral o una producción de finos en exceso que provoque un consumo elevado de reactivos en el proceso de flotación. La Figura No. 4.5 corresponde a este circuito.

El circuito abierto en molienda primaria si es eficiente si su descarga se alimenta al clasificador del secundario.

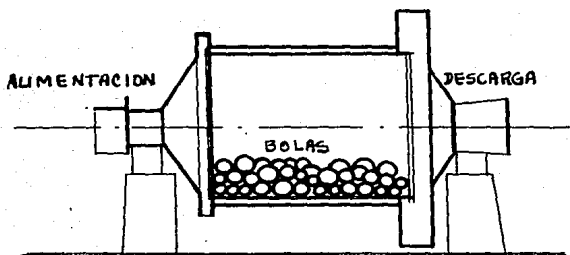


FIGURA No. 4-5 MOLINO DE BOLAS OPERANDO EN HUMEDO EN CIRCUITO ABIERTO.

4.3.1.6 COMPARACION DE UN CIRCUITO CERRADO Y UN CIRCUITO ABIERTO EN MOLIENDA HUMEDA.

El circuito cerrado en molienda húmeda es empleado con más frecuencia en las plantas de beneficio presentando las siguientes ventajas:

- a) Permite alcanzar en el producto final, un tamaño lo suficientemente pequeño para liberar la totalidad del mineral de la ganga, sin producir un exceso de finos.
- b) El control en el tamaño de la descarga es más eficiente por el empleo de clasificador.

- c) En el caso de circuitos de dos etapas, se evita la sobrecarga del molino secundario debido al sistema de clasificación.
- d) Se puede producir un mayor ahorro de energía al reducir el material que se lleva más allá de la molienda ordinaria (molienda -- excesiva).

4.3.1.7 PRINCIPALES APLICACIONES DE LOS MOLINOS DE BOLAS.

Las principales aplicaciones, tanto en número como desde el punto de vista de las potencias utilizadas, se concentran en los dos campos siguientes:

- 1) FABRICACION DE AGLOMERANTES HIDRAULICOS: Cemento Portland, Cemento de Escorias, Cementos Aluminosos.
- 2) CONCENTRACION DE MINERALES: Minerales de hierro y de cualquier metal no ferroso, y particularmente, plomo, zinc, cobre, oro y plata, uranio, etc. minerales no metálicos como fosfatos, barita, cuarzo y feldespato.

A éstas se añaden las aplicaciones en menor escala pero que sin embargo son de notable importancia, como son:

- 1) Preparación de combustibles pulverizados partiendo de carbones duros y abrasivos.

- 2) Fabricación de cianamida cálcica.
- 3) Preparación de pasta de electrodos, así como de materias primas para productos cerámicos y refractarios diversos.
- 4) Molienda de escorias.

Como regla general, la molienda por bolas se impone siempre que la dureza y la acrasividad de los materiales a tratar hagan prohibitiva la utilización de molinos de gran velocidad, como los molinos de rodillos y con mayor motivo, los molinos de percusión.

4.3.2 MOLINOS DE BARRAS

Un molino de barras es un molino cilíndrico dotado con barras que constituyen el medio de molienda; está construido de igual forma y funciona según los mismos principios que los molinos de bolas cuya descripción se ha realizado con anterioridad.

La longitud de la parte cilíndrica del tubo generalmente está comprendida entre 1.5 y 2.5 veces su diámetro. Por debajo de estos límites resulta difícil mantener la carga de barras correctamente alineada. Por encima, las barras son demasiado sensibles a las deformaciones y rupturas.

La acción de las barras es diferente a la correspondiente a las bolas debido a que las partículas más grandes del mineral tienden a tener las barras separadas entre sí, por lo que la acción de la molienda se efectúa en una gran proporción en las partículas más grandes; de esta forma, la descarga es de un tamaño de grano más grueso que la que corresponde a un molino de bolas.

También el área de contacto de las barras es pequeña comparada con la de las bolas con lo cual la relación de reducción es menor en un molino de barras, que la de un molino de bolas.

La producción de finos es baja, con lo cual se hace innecesario el empleo de un clasificador para operar el molino en circuito cerrado, ya que un producto satisfactorio se puede obtener mediante un sólo paso del mineral en un molino que opere en circuito abierto. Un molino de barras opera normalmente a una velocidad más baja que la de un molino de bolas del mismo diámetro (alrededor del 70% de la velocidad crítica), para reducir la turbulencia en el molino y la consecuente tendencia de que las barras se entrelacen.

Los espacios huecos en una carga de barras son menores que los de una carga de bolas ocupando el mismo espacio, por lo tanto, el mineral pasa a través del molino de barras más rápido que por un molino de bolas del mismo tamaño.

4.3.2.1 GRADIENTE DE BARRAS

El tamaño máximo de las barras para formar la carga inicial en molien-
da se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$R = \frac{F^{0.75}}{160} \sqrt{\frac{d_{wi}}{\% Cs \sqrt{D}}} \quad (4.34)$$

En donde:

R = Diámetro máximo de las barras expresado en pulgadas.

F = Tamaño de las partículas en micrómetros a través del cual pasa -
el 80% de la alimentación.

d = Densidad del mineral expresado en g/cc

%Cs = Fracción de la velocidad crítica expresada en decimal

D = Diámetro de trabajo (entre lánas) expresado en pies.

Wi = Índice de trabajo expresado en KWH/Tc.

Si se quiere operar en sistema métrico, el diámetro de las barras es-
tará expresado en milímetros y la ecuación empleada es la siguiente:

$$R = \left[\frac{F^{0.75}}{160} \sqrt{\frac{d_{wi}}{\% Cs \sqrt{3.281D}}} \right] \times 25.4 \quad (4.35)$$

En donde:

R = Diámetro máximo de las barras en milímetros.

D = Diámetro de trabajo (entre laines) expresado en metros.

d, $\%C_s$, W_i , F, son las mismas de la ecuación anterior.

La carga de los medios de molienda está formada por barras de longitud ligeramente inferior a la longitud interior del molino; también es conveniente utilizar barras de diámetro pequeño que sean comparables con la resistencia de los granos a moler. La eficiencia del trabajo se mejora (multiplicación de las superficies de contacto), al mismo tiempo que la fatiga y el desgaste mecánico del molino son disminuidos.

Generalmente, la carga inicial se forma con barras de distintos diámetros, y al consumirse las de menor diámetro, éstas son sólo sustituidas por barras de diámetro máximo; las delgadas tienden a romperse cuando el desgaste las ha llevado a diámetros muy pequeños y deben retirarse del molino, ya que rotas aún en poco porcentaje, perturban el movimiento en el interior del molino y reducen su eficiencia.

En el Cuadro No. 4.7 se proporcionan algunas cargas en equilibrio para barras que abarcan el rango comprendido entre 5" (125 mm) y 2.5" (65 mm).

Las siguientes cargas son resultado de plantas de operación.

CARGA EN EQUILIBRIO DE BARRAS
PARA MOLIENDA

(Expresada en % peso)

GRANULOMETRIA DE LA CARGA DE BARRAS		TAMAÑO DEL DIAMETRO MAXIMO DE LAS BARRAS ALIMENTADAS (MM-PULG)					
PULGADAS	MM	125-5.0	115-4.5	100-4.0	90-3.5	75-3.0	65-2.5
5.0	125	18.0					
4.5	115	22.0	20.0				
4.0	100	19.0	23.0	20.0			
3.5	90	14.0	20.0	27.0	20.0		
3.0	75	11.0	15.0	21.0	33.0	31.0	
2.5	65	7.0	10.0	15.0	21.0	39.0	34.0
2.0	50	9.0	12.0	17.0	26.0	30.0	66.0
TOTAL		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

CUADRO No. 4.7

4.3.2.2 CALCULO DE LA CARGA DE BARRAS

La carga de los medios molidores se determina a partir de la ecuación

No. 4.36

$$C_w = \frac{\pi D^2}{4} V_p L \frac{F_v}{2000}$$

Como puede observarse es la misma que para la determinación de la carga de bolas (Ecuación No. 4.32), debido a que está basada en las mismas consideraciones. (Ver sección 4.3.1.2)

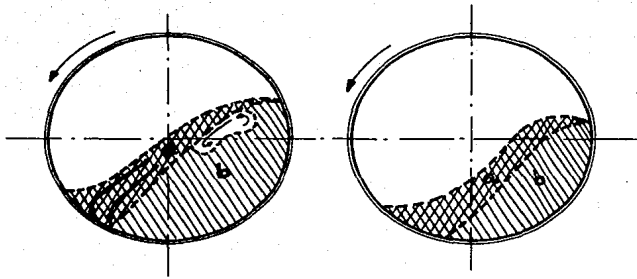


FIGURA No. 4.6 - MOVIMIENTO DE LAS CARGAS SEGUN EL GRADO DE LLENADO.

- a) Carga activa (actúa por impacto y fricción);
- b) Carga compacta (relativamente neutra, arrastrada por el movimiento del molino).

4.3.2.3 CALCULO DE LA DEMANDA DE POTENCIA

Cuando se emplea un molino de barras la demanda requerida para efectuar una reducción de tamaño en las partículas de un mineral, se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$KW_{\text{barras}} = 1.07D^{1/3} (6.3-5.4 Vp)Cs \quad (4.37)$$

En donde:

KW_{barras} = Kilowatts por tonelada corta de barras (KW/Tc)

D = Diámetro del molino (entre linternas) expresado en pies (ft)

Vp = Porcentaje del molino ocupado por la carga, expresado en decimal.

Cs = Porcentaje de la velocidad crítica, expresado en decimal.

Cuando el diámetro del molino está expresado en metros y la carga de barras en toneladas métricas, la ecuación 4.37 se expresa de la siguiente manera:

$$KW_{\text{barras}} = 1.752D^{1/3} (6.3-5.4 Vp)Cs \quad (4.38)$$

En donde:

KW_{barras} = Kilowatts por tonelada métrica de barras (KW/T)

D, V_p, C_s = Se expresan en las mismas unidades que para la ecuación anterior.

Un estudio realizado en plantas de beneficio, determinó que para molinos con diferentes diámetros, que operan bajo las mismas condiciones: por ciento de la velocidad crítica, por ciento del volumen ocupado por la carga, y longitud; la demanda de potencia varía con el diámetro a la 2.33 ($D^{2.33}$) cuando se trata de molinos de barras.

4.3.2.4 MOLINO DE BARRAS EN CIRCUITO ABIERTO

El molino de barras es un quebrador fino, que se utiliza para sustituir la tercera etapa de trituración, puesto que se alimenta con la descarga de la quebradora secundaria reduciendo en un sólo paso a un tamaño más fino para alimentarlo a un molino de bolas.

El molino de barras es conveniente para la granulación fina de todos los materiales duros o semi-duros, secos o húmedos, pero siempre deben ser productos pre-triturados. Son empleados en la mayoría de las ocasiones en moliendas operando en circuito abierto debido a:

- Que da un producto cuya curva granulométrica se acerca sensiblemente a los usos teóricos.
- Ocasiona un mínimo de pérdidas por sobremolienda.

- Da productos cuyo coeficiente de forma equidimensionales es extremadamente favorable; productos formados principalmente con granos redondeados y cúbicos, con un mínimo de elementos planos o alargados.

La siguiente figura corresponde a este circuito.

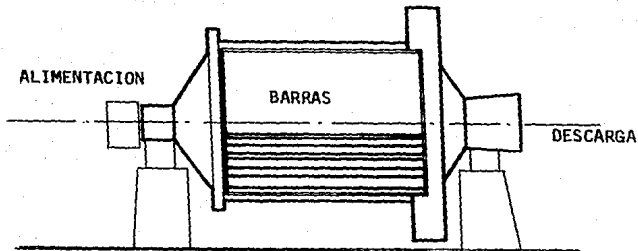


FIGURA No. 4.7 MOLINO DE BARRAS OPERANDO EN HUMEDO EN CIRCUITO ABIERTO.

4.3.2.5 PRINCIPALES APLICACIONES DEL MOLINO DE BARRAS

En las grandes instalaciones en las que se trabaja con materiales duros los molinos son operados económicamente con minerales duros (escala Mohs > 6) hasta de 13 mm (1/2 pulgada).

En lo que se refiere a los productos que se obtienen después de la molienda, se presentan tres posibilidades:

- 1) Granulometría relativamente gruesa: De -5 a +3 mm (4 a 6 mallas) utilizando un molino de barras de doble entrada y salida periférica en medio, operando en circuito abierto.
- 2) Granulometría mediana: De 3 a 1 mm (6 a 16 mallas), utilizando el molino de salida periférica, operando en circuito abierto o bien de 1 a 0.4 mm (16 a 25 mallas), operando en circuito cerrado.
- 3) Granulometría fina: De 0.8 a 0.3 mm (20 a 48 mallas) en molinos con descarga por derrame, y operando en circuito cerrado.

Se puede obtener partículas más finas, pero en este caso, el molino de barras sale de su zona de funcionamiento económico y son preferibles los molinos de bolas.

F.C. Bond señala como límites del coeficiente de reducción económico del molino de barras 1:12 a 1:20 con media óptima de 1.:16.

Entre los campos de aplicación donde el molino de barras puede ser interesante, se mencionan cuatro:

- PREPARACION MECANICA DE LOS MINERALES. Funciona como molino preparador o intermedio.

Cuando la textura de los minerales complejos permite la liberación de algunos elementos ricos desde el estado de premolienda, el molino de barras constituye un preparador óptimo para la concentración gravimétrica.

Cuando el enriquecimiento sólo puede empezar en un tamaño de partícula más fino (concentración por flotación), se impone la molienda en dos etapas y, generalmente, el molino de barras será considerado como el útil ideal para la primera etapa.

- **MOLIENDA DE CARBON Y COQUE.** En este caso, la aplicación importante la ha constituido la molienda fina de desechos de coque o de semi-coque, con el objeto de reincorporarlos en la mezcla a transformar en coque. El molino de barras de descarga periférica permite el tratamiento de estos productos por vía "seca" sin secado previo, ni adición de aire caliente.

- **FABRICACION DE ARENA ARTIFICIAL.** Este molino operado en circuitoabierto es el ideal para la fabricación de arenas artificiales puesto que ocasiona un mínimo de pérdidas por sobre-molienda y da productos formados por granos redondeados y cúbicos; con un mínimo de partículas planas o alargadas.

- **INDUSTRIA DEL CEMENTO.** Los molinos de barras se emplean como molinos preparadores con el objeto de obtener una alimentación más adecuada para los molinos terminales de bolas o cantos rodados; también se emplean bajo la forma de compartimientos de cabeza con

carga de barras en molinos compound y los compartimientos terminales reciben la carga habitual de bolas pequeñas. (Molinos Rod-Peb de -- Allis-Chalmers).

Estas utilizaciones dan resultados favorables en la preparación de - materias primas para el cemento por vía húmeda. Que desaparecen cuando se trabaja por vía seca. El hecho de no utilizar más que la vía-seca y convertir en vía seca las fábricas existentes en vía húmeda,- reduce las posibilidades de utilización de los molinos de barras como los Rod-Pebs.

4.3.2.6 FACTORES QUE DEBEN CONSIDERARSE EN EL DISEÑO DE CIRCUITOS - DE MOLIENDA QUE INCLUYAN MOLINOS DE BARRAS Y BOLAS.

Los factores de consideración durante el diseño son:

- 1) En los circuitos de molienda se requerirán, en ocasiones, varios molinos, los cuales serán función:
 - De las granulometrías procedentes del circuito de trituración.
 - De la posible utilización de un molino de barras como unidad - primaria de molienda.
 - La división de trabajos entre los molinos de bolas y de barras.
 - El número de circuitos paralelos.
 - Disposición de las unidades del proceso dentro del circuito.

- 2) En el caso de los molinos de barras, la disponibilidad operativa es aproximadamente el 95%, debido a la necesidad de parar el molino para cargar las barras y hacer los ajustes necesarios. La longitud máxima práctica de un molino de barras es de aproximadamente 6 metros, ya que a longitudes mayores, comienza la flexión de las barras que conduce a la ruptura prematura de las mismas.
- 3) La relación de longitud al diámetro en el molino de barras no debería de ser menor de 1.33:1, ya que se pueden producir enredos o trabazones entre las barras.
- 4) Bajo condiciones normales el desgaste de las barras, va produciendo una sección elíptica y la ruptura se produce cuando la longitud del eje mayor de la elipse, es de alrededor de 2.5 cm. El desgaste de las barras y su ruptura son también un problema en los molinos de barras de diámetros grandes.
- 5) La molienda en un molino de barras está limitada en su aptitud para transportar el mineral dentro de la masa de las barras. Esto se mejora al adicionar a la alimentación una pequeña cantidad de producto fino procedente de los finos del clasificador aumentando así la viscosidad de la pulpa.
- 6) Los molinos de barras son más eficientes como unidades de molienda gruesa y se deben operar a un medio de alimentación lo más gruesa posible, de forma que la conminución se produzca princi-

palmente en una gama granulométrica pequeña, de alrededor de ---
16,000 a 4,000 micrómetros.

- 7) En los molinos de bolas, la disponibilidad operativa, es alta, -
excede al 99%.

- 8) Si el diámetro en el molino de bolas es mayor de 5 metros, aumen-
ta el consumo de energía por tonelada de mineral a granulometría
constante.

- 9) La dureza de las bolas de molienda tiene que incrementarse a me-
dida que se aumentan los diámetros de los molinos, y tienen que-
ser utilizadas bolas de acero forjado en los molinos de más de -
4.2 m de diámetro.

- 10) Los molinos de descarga por parrilla tienen la ventaja de que --
mantienen una carga más alta de medios de molienda. Estos moli-
nos son esenciales en la molienda con guijarros (debido a su --
densidad), para evitar derrames indebidos de los mismos. Para -
los molinos de bolas con descarga con parrilla, su utilización -
es muy dudosa debido a:
 - Se atascan las parrillas de salida.
 - Se rompen las parrillas.

- 11) Si se utilizan molinos de barras, el número mínimo de circuitos - en la planta, es dependiente del mínimo número de molinos de barras.

CIRCUITOS COMBINADOS (MOLINOS DE BOLAS Y DE BARRAS).

Debido a la eficiencia que presentan los molinos de barras como unidades de molienda gruesa, éstos se emplean como molinos primarios; de esta forma, se proporciona una alimentación mas granular al molino de bolas, el cual realiza el trabajo de una molienda fina que deberá ser la adecuada para llevar a cabo el siguiente proceso.

Es conveniente hacer la aclaración que hay un sin número de arreglos en los circuitos combinados, pero con el fin de ejemplificar alguno, se representa en la Figura No. 4.8, un circuito combinado.

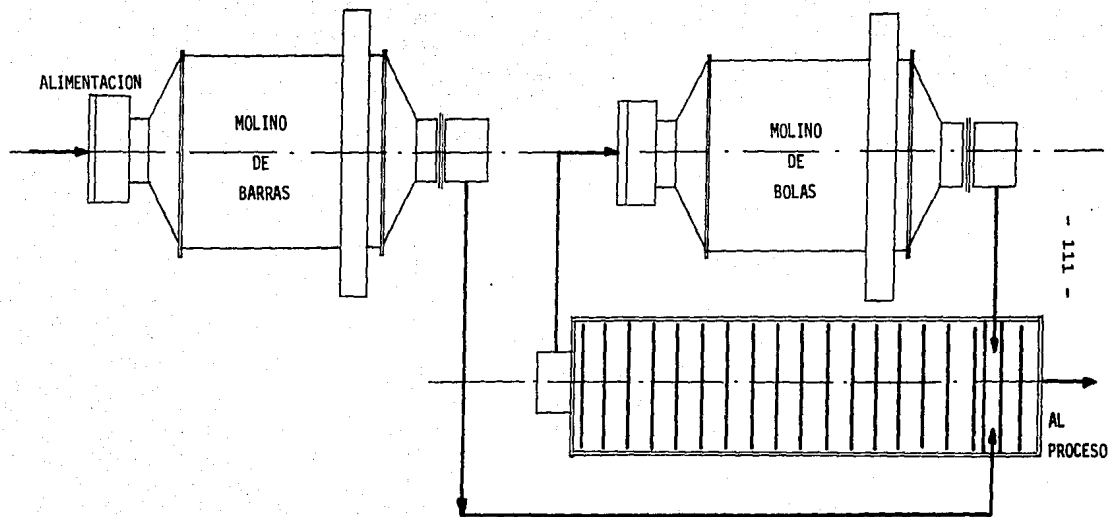


FIGURA No. 4.8 . CIRCUITO DE MOLIENDA COMBINADO EN DOS ETAPAS .

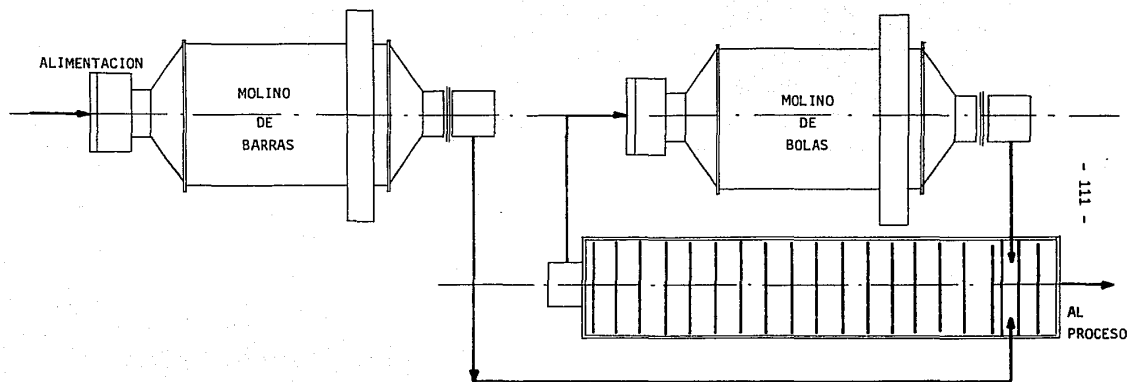


FIGURA No. 4.8 . CIRCUITO DE MOLIENDA COMBINADO EN DOS ETAPAS .

4.3.3 MOLINOS AUTOGENOS

Los molinos autógenos son aquellos en los cuales la fragmentación se efectúa totalmente o al menos principalmente, por percusión y atrición de la materia sobre sí misma.

De los molinos que permiten fragmentar la materia sobre sí misma, se puede concebir tres tipos:

- 1) Los derivados de los molinos de bolas que operan por gravedad --- (caída libre) en el seno de un tambor rotativo de gran diámetro.
- 2) Los que operan únicamente por atrición (frotamiento materia so--- bre materia).
- 3) Los derivados de los molinos de percusión, que trabajan por proyección centrifuga, bajo la acción de un propulsor girando a --- gran velocidad.

4.3.3.1 MOLINOS AUTOGENOS OPERADOS POR VIA HUMEDA

La molienda autógena por vía húmeda se aplica indistintamente a las etapas: Primaria, intermedia o final. Actualmente esta operación - ha recibido un gran número de aplicaciones en el campo de la fragmentación de materias heterogéneas, friables o semiduras tales como hu- llas, escorias metalúrgicas, minerales de níquel, etc.

La circulación normal de la pulpa asegura el arrastre de las partículas gruesas que hacen de medios moledores y su conveniente repartición a todo lo largo del molino por lo cual no hay límite imperativo en la relación de la longitud sobre el diámetro del molino.

En el caso de molienda primaria, la introducción regular de partículas gruesas y la necesidad de grandes alturas de caída suficientes para asegurar una fragmentación rápida de los elementos más resistentes, ha conducido a concebir molinos de gran diámetro, los cuales durante el funcionamiento, consumen con igual coeficiente de llenado alrededor del 40 a 50% de la potencia utilizada por el molino de iguales dimensiones cargado con bolas de acero. En este tipo de molinos operando en húmedo, la entrada del mineral se efectúa generalmente a través del eje del lado opuesto al accionamiento. Este está asegurado por simple o doble grupo motor-reductor engranado a una corona dentada fijada en la prolongación del eje correspondiente. Los diámetros de alimentación son lo suficientemente grandes como para permitir una alimentación directa por canaletas inclinadas. Estas canaletas generalmente son soportadas por un carro que permite retirarlas fácilmente para permitir el acceso al interior del molino. Los blindajes interiores están dotados de barras elevadoras de altura, de espacios y perfiles apropiados.

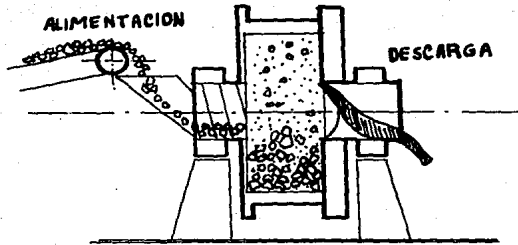


FIGURA No. 4.9 MOLINO AUTOGENO PRIMARIO

El mineral molido es evacuado a través de parrillas colocadas en la periferia de los fondos de salida y subido por brazos elevadores hasta el dispositivo de control alojado en el eje correspondiente.

Unas nervaduras y unos deflectores de forma apropiada orientan la caída de los productos de manera que las partículas ya finas, pero incompletamente molidas, se encuentren siempre en contacto con los fragmentos susceptibles de asegurar su reducción final.

La materia molida, arrastrada a través de parrillas periféricas pasa a un compartimiento de descarga, cuyos flabes la suben hacia el dispositivo central de evacuación.

4.3.3.2 MOLINOS AUTOGENOS OPERADOS POR VIA SECA

La molienda autógena por vía seca, ha sido atributo de las máquinas denominadas molinos primarios, aunque pueden dar productos terminados a partir de una alimentación gruesa y por lo tanto, deberían calificarse como máquinas para la fragmentación integral.

En estos equipos, el tambor rotativo de fondos planos está provisto en la periferia de robustos blindajes con barras de elevación de gran resalte, mientras que los flancos reciben un revestimiento de deflectores anulares destinados a combatir la segregación de la carga, centrando constantemente los fragmentos más gruesos. Igualmente permiten mejorar la subida de los fragmentos gruesos que tienden a afirmarse contra sus salientes.

El material que se va a moler se introduce por una canaleta inclinada a través del eje hueco del lado de la entrada, mientras que las partículas molidas son aspiradas por una tubería de fuerte succión unida al eje de salida. Por lo tanto, la instalación se completa con un circuito de ventilación.

Según los grados de finura deseados, el molino puede funcionar en circuito abierto o en circuito cerrado sobre un selector de aire. Los ciclones colectores pueden disponerse en forma que recojan separadamente distintas categorías de producto molido (aplicaciones de la molienda diferencial de productos heterogéneos).

Generalmente la alimentación se regula automáticamente gracias a un sistema de control electrónico, cuyo funcionamiento se basa en la medida de potencia absorbida por el molino y por la medida de su nivelsonoro. La evacuación del mineral molido por vía neumática necesita la utilización de una potencia de ventilación, tanto más elevada, --- cuanto más gruesa sea la molienda .

De acuerdo a lo anterior en muchas ocasiones el consumo de energía en los circuitos neumáticos, representa el 50% de la energía total de la instalación, o en otros términos, los ventiladores consumen más energía que el molino.

Por esta causa, se han empleado molinos autógenos por vía seca pensando en los viejos molinos de bolas de placas perforadas y parrillas -- perforadas, los cuales descargan por gravedad.

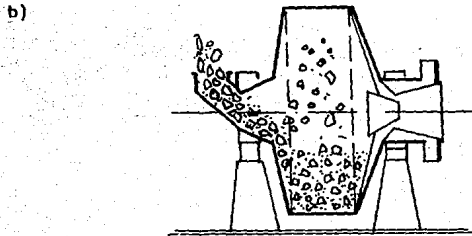
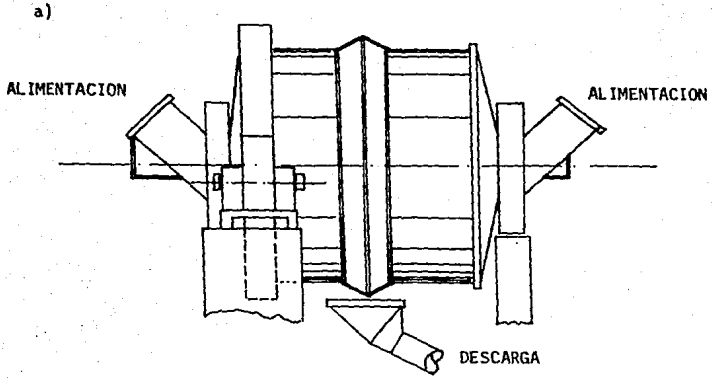


FIGURA No. 4.10 - a) MOLINO AUTOGENO "NORDBERG"
b) MOLINO "CASCADE MILL" DE HARDINGE

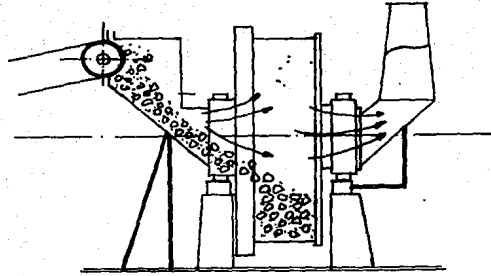


FIGURA No. 4.11 MOLINO AUTOGENO OPERADO EN SECO

En estos molinos, la longitud es de 0.25 a 0.30 del diámetro, la pared cilíndrica es en forma de jaula de ardilla, con barras metálicas en medio de las cuales cae el mineral fino, garantizando el control de producto eliminado. El material grueso es retornado a la zona de molienda por la acción de rotación del molino.

Se mantiene una aspiración de aire a través del eje opuesto a la entrada, pero sólo tiene el fin de asegurar la salida del polvo y consume una potencia muy reducida.

4.3.3.3 MEDIOS DE MOLIENDA EMPLEADOS EN MOLIENDA AUTOGENA.

Al igual que en molienda con molino de bolas, en molienda autógena se mantiene una relación entre la dimensión mínima de los elementos introducidos como materia moledora, y la dimensión máxima de las partículas que se van a moler. Esta relación varía de 7:1 para una molienda intermedia, y de 35:1 en el caso de una molienda integral.

La única particularidad de los molinos que operan con una carga autógena seleccionada, es que la densidad aparente de la carga corresponderá exactamente a la densidad aparente media de los minerales que se tratan; esta densidad puede variar desde 1.5 a 3.0.

La fuerza motriz que puede absorber un molino con un volumen determinado, y por consiguiente su capacidad de producción se puede calcular a partir de la densidad aparente.

En los molinos autógenos primarios, la alimentación en un principio, se efectúa con mineral sin seleccionar. Durante la operación puede llegar a producirse una acumulación de partículas gruesas o demasiado resistentes para ser fragmentadas por la caída de los minerales más gruesos alimentados, entonces la masa unitaria deberá ser lo suficientemente floja para que se pueda llevar a cabo la continuación de la reducción.

Cuando esta dimensión crítica sucede, se ha tenido que recurrir en la mayoría de los casos, a eliminarla añadiendo al molino determinada -

cantidad de bolas de acero de tamaño grueso. Esta molienda semi-autógena, en numerosas ocasiones ha sido la única solución a las dificultades que se presentan.

Otra solución sería extraer en forma continua o intermitente estas partículas de dimensión crítica y molerlas por separado en un molino convencional, o utilizarlos como cuerpos moleadores en un molino-acabador.

En los molinos autógenos primarios, las condiciones de funcionamiento difieren de las de un molino de bolas libres, por las siguientes características:

- a) La carga es más heterogénea en lo que respecta a la granulometría, en la que llegan a alcanzar pesos unitarios de 5 a 10 veces superiores a los de las bolas más gruesas que constituyen las cargas de los molinos de bolas clásicos.
- b) Debido a la rápida eliminación de los elementos terminados, ya sea por vía húmeda o vía seca, el molino autógeno no encierra más que un pequeño porcentaje de los mismos. Por lo tanto, la carga es más granular y menos fluida que en un molino clásico.
- c) La presencia de barras elevadoras de fuerte resalte sobre el blindaje periférico, y de nervaduras radiales o circulares en las dos caras del tambor, aumenta el efecto de elevación de la carga y a la misma velocidad ésta subirá más alto.

- d) Este arrastre está acentuado además por la corta longitud del molino con relación a su diámetro intensificando los efectos de pared.

En lo que respecta a las velocidades óptimas de estos molinos, se ha determinado experimentalmente, que son exactamente del mismo orden - que las correspondientes para los molinos de bolas convencionales es decir, el 75% de la velocidad crítica, en donde el diámetro será el interior medido entre cimas de las barras de elevación. La veloci--dad de operación varía desde 72% hasta 76% de la velocidad crítica de ---- acuerdo a los diámetros de los molinos.

Para los molinos con diámetros inferiores a 3 metros, las veloci--des de operación fluctúan entre 70 y 72% de la velocidad crítica, y en molinos con diámetros superiores a 5 metros, se tienen velocidades hasta de 77% de la crítica. Estas observaciones son válidas tanto - para la vía seca, como para la vía húmeda.

A continuación se mencionan algunas observaciones con respecto a las condiciones de trabajo de un molino semi-autógeno operado en seco - con la adición de una reducida carga de bolas de acero. La mayoría de estas observaciones son aplicables también a la molienda autógena primaria:

- 1) La molienda autógena implica la presencia de una proporción sufi--ciente de gruesos en la materia que se va a moler. La adición - de bolas de acero de grandes diámetros atenúa fuertemente los --

efectos de una ausencia momentánea o permanente de partículas gruesas, el efecto útil será mejor si el mineral contiene estas partículas.

- 2) La influencia nefasta de la humedad del producto es igual que para los molinos de bolas clásicos, es indispensable una adición de gases calientes si el contenido en agua sobrepasa el 2%.
- 3) Por lo general, el grado de llenado del molino más favorable, será el que causa el máximo consumo de fuerza motriz, es decir, el que se acerca al 50% del volumen del molino aunque este valor se ve limitado. Por los diámetros de entrada y salida que impiden sobrepasar un grado de llenado del orden del 34 a 35%, y muy a menudo las cargas en estos molinos se limitan al 20-25%.
- 4) En molinos operados por vía seca, sistemáticamente recurren a la adición de una carga auxiliar de bolas grandes de acero. (Preferentemente bolas de diámetro uniforme de 110 a 150 mm) y puede representar del 2 al 5% del volumen interior del molino, del 10 al 20% del volumen de la carga. Su valor óptimo deberá determinarse experimentalmente para cada mineral.

La carga de bolas permite suplir las irregularidades en la granulometría del producto alimentado, la falta eventual de densidad del citado producto, la insuficiencia de partículas de mineral grueso o la friabilidad importante de éstos. Por el contrario introduce un fac-

tor de desgaste inferior al de los molinos con carga metálica pura, que no es despreciable.

- 5) Aunque la mayoría de los datos indique que las velocidades de rotación de los molinos primarios autógenos pueden alcanzar del 85 al 88% de la velocidad crítica, se ha encontrado que la velocidad óptima sería por lo general del 75% aproximadamente, y menos para los molinos de pequeñas dimensiones.

- 6) La velocidad de flujo de la extracción tiene un importante papel en el funcionamiento del molino, ya que condiciona el tamaño máximo de las partículas extraídas y podrá variar según los grados de finura deseados. La naturaleza del circuito, forma y tamaño de los separadores, sección y perfil de los conductos, eventual presencia de un ventilador de reflujo, presencia o ausencia de reciclajes, etc. ... condicionan el funcionamiento del circuito.

- 7) La forma interna del molino tienen también gran importancia. Las barras de elevación deben tener la altura suficiente y al separación apropiada. Se ha encontrado que el mejor coeficiente de altura sobre la separación debe ser lo más próximo posible a 1:4.

El papel que juegan las barras es supresión de los deslizamientos sobre la pared cilíndrica, aumento de la altura de elevación e impacto sobre los fragmentos gruesos.

- 8) La reducción del mineral en tamaños grandes parece efectuarse en fases alternas: Atricción (el bloque se redondea por desgaste de las aristas), e Impacto (el bloque se rompe en dos o varios elementos) sobre cada uno de los cuales comienza nuevamente el proceso de desgaste-ruptura.
- 9) En el caso de los molinos con carga molidora metálica, se ha visto que la producción es directamente proporcional a $D^{2.6}$, mientras que la fuerza consumida varía con $D^{2.5}$, por lo tanto, a medida que aumenta el diámetro del molino, existe un aumento de eficiencia de $D^{0.1}$.

En el caso de un molino autógeno, por el hecho del predominio de los efectos de impacto, la producción podrá aumentar como $D^{2.82}$, mientras que su consumo de fuerza sería proporcional a $D^{2.62}$, de donde se obtiene ganancia de $D^{0.2}$ con el aumento del diámetro. Si esta ganancia en el rendimiento se midiera KWH por tonelada, alcanzaría de $D^{0.3}$ a $D^{0.35}$, de modo que esto explica la tendencia hacia los diámetros grandes en los molinos autógenos.

4.3.3.4 PRINCIPALES APLICACIONES DE LOS MOLINOS AUTOGENOS.

Entre las aplicaciones de la molienda autógena se encuentra la preparación de minerales, la cual puede llevarse a cabo:

- A) En una máquina única efectuando la totalidad de la reducción deseada (molino integral).

- B) En una máquina primaria realizando a la vez las fases de reducción que normalmente se denominan primaria e intermedia (reducción de 0,1 a 0.3 mm) la reducción final se efectúa en un molino diferente, que puede ser del tipo clásico o, preferentemente, del tipo autógeno.

- C) Una o varias máquinas efectuando las reducciones intermedia y final, por vía autógena, después de que la reducción primaria ha sido efectuada por trituradoras o molinos clásicos.

- D) Una máquina autógena acabadora que opere sobre productos procedentes de trituradoras, molinos intermedios o primarios clásicos. En las mejores condiciones, suministra un máximo de productos granulados formados por granos de tamaño natural.

4.3.3.5 COMPARACION DE LA MOLIENDA AUTOGENA CON LA MOLIENDA CLASICA

- La experiencia ha demostrado que en gran número de casos, la molienda autógena integral aporta una economía de gastos de operación muy notable, bien en forma directa (baja los costos de la tonelada molida), o bien, en forma indirecta (el producto molido está mejor preparado para los pasos posteriores).

- En los molinos autógenos, la economía se dirigirá hacia los gastos de mantenimiento y será más notable en los casos en que las piezas de desgaste metálicas estén gravadas con altos gastos de transporte.
- Las economías en la fuerza motriz consumida son las más aleatorias y en algunos casos, se han revelado negativas.
- Las inversiones son mayores o menores que para una molienda convencional, pero generalmente la diferencia no es decisiva, y los gastos de amortización serán por lo tanto, del mismo orden.
- Los molinos autógenos funcionan por vía seca o por vía húmeda y siempre han sido aplicados después de pruebas piloto, las cuales han determinado su valor económico. En otros casos, por el contrario estas pruebas han sido menos positivas, y han conducido al retorno puro y simple de las operaciones clásicas, preferentemente a una solución intermedia; trituración y molienda primaria clásicas, y el acabado por vía autógena. Esto demuestra que no hay una solución estándar y que toda elección debe estar precedida de profundos estudios.
- La molienda autógena se aplica tanto para los minerales metálicos, como para los no metálicos. Para el caso de los no metálicos puede constituir un buen prelude al enriquecimiento.

También ha podido recibir aplicaciones en el tratamiento de escorias de hornos metalúrgicos (separación de las escorias y el metal residual, y granulación o pulverización de las escorias).

Se han buscado aplicaciones en otras ramas como la preparación de materias primas para fábricas de cemento.

Con la generalización de las instalaciones para fábricas de cemento por vía seca, el molino integral autógeno o semi-autógeno permite -- efectuar a la vez el secado y molienda del producto.

Por tanto, la molienda autógena ha encontrado su lugar en la amplia gama de máquinas de fragmentación, y puede decirse que en los límites de este lugar bien determinado, puede aportar la mejor o una de las mejores soluciones actualmente posibles.

4.4 OTROS METODOS DE REDUCCION DE TAMAÑOS.

Los aparatos de fragmentación se dividen por categorías según la naturaleza de las fuerzas que se aplican:

- Aparatos de compresión alternativa (Quebradoras de quijadas y giratorias) y de compresión continua (Quebradora de rodillos).
- Aparatos de fricción o de frotamiento (Molinos de muelas y molinos vibrantes).

- Aparatos de percusión (Molinos de impacto, molinos de martillos articulados, molinos de tobera).
- Aparatos mixtos que operan por compresión, fricción y percusión - (Molinos de bolas y de barras, molinos autógenos).

En los temas anteriores se ha abarcado con detalle lo concerniente a los molinos mixtos que operan por compresión, fricción y percusión -- por lo tanto, se tratarán únicamente los tres primeros tipos de aparatos de fragmentación.

4.4.1 APARATOS QUE ACTUAN POR COMPRESION.

Estos aparatos se pueden clasificar en máquinas de acción alternativa y máquinas de acción continua.

Las compresiones son del orden de 200 - 300 por minuto. La longitud de movimiento de los elementos móviles es función del módulo de elasticidad de los materiales tratados.

- a) TRITURADORAS DE QUIJADAS. En estas máquinas la reducción se efectúa entre una mandíbula móvil, dispuestas una enfrente de la otra en forma de V; la mandíbula móvil está animada por un movimiento - de oscilación alrededor de un eje horizontal.

Este movimiento es transmitido a partir del eje de mando, directamente o por medio de distintos sistemas de multiplicación, siendo el más clásico por biela y placa articulada. Dos volantes de inercia regularizan el movimiento. La materia a moler es introducida por la parte superior.

El acercamiento de la mandíbula móvil provoca, por compresión, la rotura de los grandes bloques. Su alejamiento permite a los fragmentos descender en la cámara de trituración, en donde son sometidos a una nueva compresión al avanzar la mandíbula. Los productos fragmentados se evacúan a continuación por la abertura inferior.

Los tipos de aparatos que existen son: El tipo Blake, el tipo Dodge y la de alimentación forzada.

El tipo Blake se caracteriza por una mandíbula cuya sección de ---abertura de salida es variable, en éste, la relación de trituración es limitada, del orden de 4:1.

El tipo Dodge se caracteriza por una mandíbula móvil articulada en su parte inferior, y cuya sección de la abertura es más o menos -- constante; en este equipo se pueden alcanzar reducciones del orden de 10:1.

Las quebradoras de alimentación forzada son apropiadas para trituraciones primarias, en donde el tipo de aplicación lo determina la posición de la placa de articulación respecto a la biela porta-mandíbula móvil.

Si esta placa está inclinada hacia adelante y el punto de aplicación se desplaza en la prolongación de la mandíbula, las fricciones sobre el producto son importantes presentando el inconveniente de un desgaste rápido de las mandíbulas.

Las quebradoras de quijadas de laboratorio tienen dimensiones reducidas como 120 X 60 mm; y las industriales empiezan a partir de -- 300 X 150 ó 350 X 225 y llegan hasta 2500 X 1600 ó 2100 X 2100 mm.

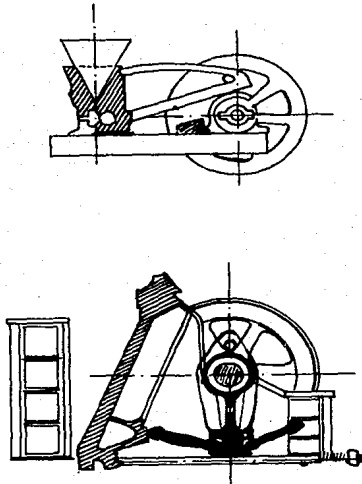


FIGURA No. 4.12 - a) QUEBRADORAS DE QUIJADA TIPO DODGE
b) QUEBRADORAS DE QUIJADA TIPO BLAKE

- b) **TRITURADORES GIRATORIOS.** En estas máquinas la reducción de los materiales a triturar se lleva a cabo por compresión entre una pared cónica fija, y un cuerpo troncocónico montado sobre un eje vertical, movido de manera excéntrica en su base. El aparato puede ser giratorio cónico o de rotación cilíndrica dependiendo del movimiento del eje, pudiendo ser un cono o un cilindro.

El cono móvil se acerca sucesivamente a la pared cóncava fija y después se aleja permitiendo que las partículas descendan por gravedad hacia la parte inferior en donde se someterá a otra nueva compresión.

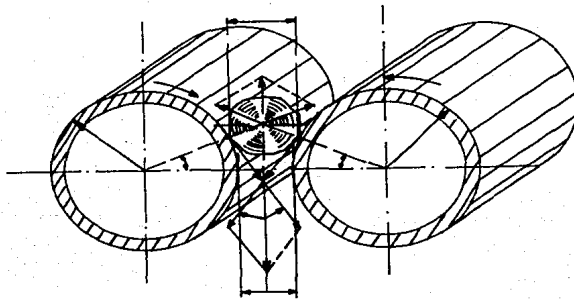
Debido al movimiento mecánico continuo, se obtiene una sucesión ininterrumpida de acciones alternas de presión y expansión.

La diferencia entre una quebradora de quijadas y una giratoria, es la diferencia en las dimensiones de admisión máxima y las capacidades que pueden tener. Una quebradora de quijadas se emplea cuando el tamaño de los minerales a quebrar es importante con relación a la capacidad que se requiere.

Cuando la capacidad es importante frente a las dimensiones de los productos (finos), se recomienda el empleo de una quebradora de cono.

- c) QUEBRADORA DE RODILLO. Este equipo está compuesto de dos cilindros cuyas paredes giran en direcciones opuestas alrededor de sus ejes dispuestos horizontalmente en paralelo. El tamaño del producto molido será el correspondiente a la separación que exista entre los rodillos. Los rodillos pueden ser lisos, acanalados, dentados, de picos o estriados, para permitir una mejor toma del mineral a triturar.

La capacidad es proporcional a la velocidad de los rodillos, porque es necesario conducir los bloques sobre las generatrices de los rodillos a una velocidad cercana a la tangencial de los mismos. La relación de reducción máxima es de 4:1. En estos aparatos se pueden obtener tamaños de partículas del orden de 2mm sin que se produzca exceso de finos, y las dimensiones de las partículas en la alimentación son por lo general menores de 300 mm.



QUEBRADORA DE RODILLOS LISOS

FIGURA No. 4.13

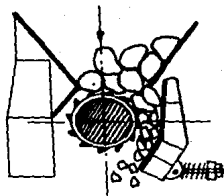


FIGURA No. 4.14 - QUEBRADORA DE CILINDRO -
DENTADO Y MANDIBULA FIJA

4.4.2 APARATOS QUE ACTUAN POR FRICCIÓN O POR FROTAMIENTO

Estas máquinas someten al mineral a esfuerzos de fricción o frotamiento obligándolo a pasar entre dos superficies (pueden ser lisas o rugosas) una de las cuales es fija, y la otra móvil o donde las dos son móviles pero moviéndose a diferentes velocidades. Las máquinas que operan por fricción o frotamiento, actúan en combinación con una acción de compresión, la cual es dada por la gravedad en un molino de muelas.

En los molinos de cilindros estriados, la diferencia de velocidad de un cilindro con respecto al otro, es de 2 a 4 veces.

En los molinos de cuba vibrante, se tiene un cuerpo cilíndrico en donde se tienen los cuerpos de molienda y el mineral que se va a moler.

Este molino está montado en un sistema amortiguante y un mecanismo -- excéntrico lo hace vibrar. Puede emplearse tanto para moliendas gruesas, como para finas y ultrafinas y puede operar ya sea en húmedo o en seco.

Los molinos vibrantes de barras son dos tubos cilíndricos blindados, con una tolva de alimentación y un fondo regulable para la descarga. Los molinos contienen como medios de molienda, barras de acero, y los productos que se obtienen son del rango de 0 a 3mm.

Los molinos vibrantes de bolas se pueden utilizar para moliendas finas o muy finas (de 0 a algunos micrómetros).

En este tipo de equipos, el volumen de los cuerpos de molienda abarca un 90%. En estos molinos existe una combinación de acciones por frotamiento y percusión.

En los molinos centrífugos se combina el frotamiento con la compresión del mineral, el cual permanece en un plato en el cual ruedan varios cilindros redondos, troncocónicos o esféricos de acero y que -- son prensados contra el mineral, ya sea por fuerza centrífuga o por resortes.

Estos molinos se operan en seco y con materiales no abrasivos; el tamaño de alimentación es del orden de 30mm y la descarga de los productos puede ser por medio de una corriente de aire ascendente.

4.4.3 APARATOS DE PERCUSION

Las máquinas operadas por percusión se basan en que el material a tratar está sometido a choques violentos que provocan la fragmentación del mineral. Este efecto puede ser directo, cuando el mineral a tratar se encuentra en reposo, o su desplazamiento es a baja velocidad y se somete a la acción del choque por medio de martillos los cuales se desplazan a grandes velocidades (hasta 150/seg); también puede ser indirecto, cuando los minerales se proyectan a grandes velocidades contra las placas de choque que forman yunques fijos.

En la mayoría de los casos, estas dos acciones se conjugan empleando al mismo tiempo órganos de percusión móviles y placas de choque fijas en las cuales el material recibe el impacto varias veces, hasta su reducción final.

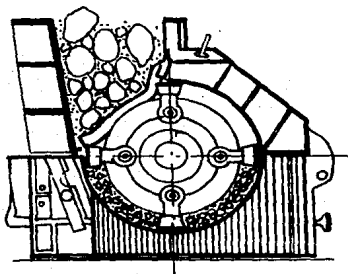


FIGURA No. 4.15 - MOLINO DE MARTILLOS

Estos aparatos tiene aplicación en el quebrado primario de rocas y minerales gruesos, y hasta la pulverización de distintos productos. La

utilización de los mismos es apropiada para cada mineral.

Por lo común se utilizan portadores de martillos de choque girando a gran velocidad alrededor de un eje vertical u horizontal, en el interior de una cámara blindada que tiene su parte inferior cerrada por una parrilla.

Los martillos pueden estar fijos en forma rígida sobre el porta-martillo, o pueden tomar la forma de martillos articulados alrededor de un eje de giro y actúan cada uno de ellos aisladamente.

Las velocidades aumentan dependiendo de la finura de alimentación del mineral, abarcando desde 10 m/seg hasta centenas de m/seg cuando se requiere una molienda ultra-fina.

Los molinos que se emplean con más frecuencia a nivel industrial son: Los molinos de impacto o de choques y los molinos de martillos; también se emplean los molinos por toberas para moliendas finas.

- Los molinos de impacto se componen de un motor provisto de 2 a 6 palas o batidores que proyectan al mineral hacia un blindaje, en donde la principal fuente de ruptura es la energía cinética.

Para una misma velocidad, la capacidad aumenta si el coeficiente de reducción disminuye.

Para una relación de reducción dada, existe una velocidad de rotación óptima.

Para una capacidad constante la relación de reducción aumenta con la velocidad.

La relación de reducción puede alcanzar valores elevados (100/1).

La reducción selectiva es una causa del éxito en este tipo de fragmentación. La diferencia de las propiedades mecánicas de los minerales son bastante empleados en la fragmentación por percusión. Provocando una distribución granulométrica diferente para cada mineral.

- Los molinos de martillos están constituidos por una cámara de percusión delimitada por unos blindajes, en la cual giran los martillos. En la parte interior de la cámara se encuentran comunmente, una parrilla a través de la cual se eliminan las partículas que ya tienen el tamaño requerido. En este tipo de molinos se pueden lograr relaciones de reducción de 20/1 ó 30/1.

La desventaja de estos molinos es que con materiales duros y abrasivos, el desgaste del equipo es considerable y si se trabaja con materiales duros, hay una probabilidad elevada de que la parrilla se atasque.

- Los molinos de tobera o de chorro fluido, trabajan con velocidades superiores a las que se obtienen por medio de martillos. El mine-

ral alimentado es ayudado por el aire comprimido que se le inyecta en la cámara de molienda en la cual por medio del efecto centrífugo, las partículas son quebradas. Las velocidades para moliendas finas son alrededor de 300 m/seg, y más para moliendas ultra-finas.

4.4.4 APARATOS MIXTOS QUE OPERAN POR COMPRESION, FRICCIÓN Y PERCUSION

En esta clase se encuentran los molinos de bolas y de barras que operan en húmedo o en seco y se incluyen también los autógenos; por la gran aplicación que tienen éstos y por el enfoque del presente estudio, estos aparatos han sido descritos y comentados detalladamente en el principio de este capítulo.

EQUIPO UTILIZADO EN LA EXPERIMENTACION

5. EQUIPO UTILIZADO EN LA EXPERIMENTACION

Con el objeto de que las pruebas del presente estudio sean reproducibles, se presentan en esta sección las características de los equipos utilizados, para facilitar las comprobaciones o ampliaciones de algún concepto en específico.

Sólo se mencionarán aquellos equipos e instrumentos que se consideren críticos para el tipo de pruebas que se desarrollan en la experimentación y se presentan de acuerdo a la secuencia de las operaciones.

5.1 TRITURACION

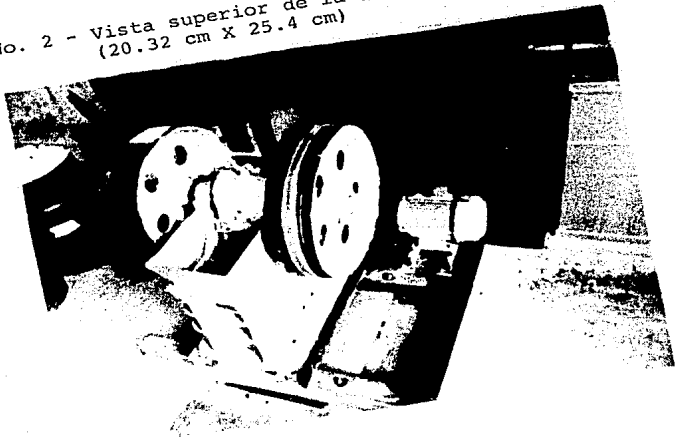
La determinación del Índice de Trabajo en trituración primaria se efectuó en una Quebradora de Quijada (Fotografía No. 1 y 2) con dimensiones 8" X 10" (20.32 cm X 25.4 cm) marca Denver, la cual opera con un motor de 15HP a 220 volts y 21.5 amperes.

Este equipo de transmisión es por medio de poleas y bandas que imparten al volante de la quebradora una velocidad de 360 r.p.m.

FOTOGRAFIA No. 1 - Vista frontal de la Quebradora de Quijada 8" X 10"
(20.32 cm X 25.4 cm)



FOTOGRAFIA No. 2 - Vista superior de la Quebradora Primaria 8" X 10"-
(20.32 cm X 25.4 cm)

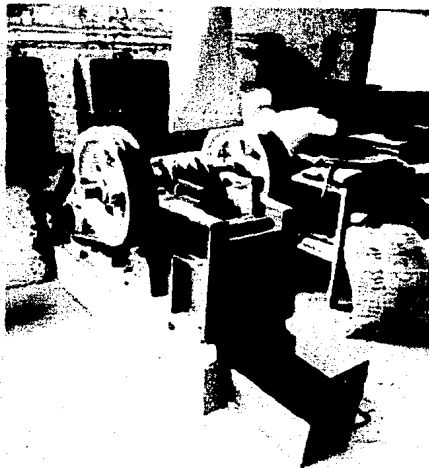


El Índice de Trabajo en trituración secundaria se determinó en dos --
equipos diferentes:

a.) Quebradora de Quijada (Fotografía No.3) cuyas dimensiones son ----
4" X 6" (10.16 cm X 15.24 cm) marca Denver, el equipo opera a 210
volts y 7.7 amperes con un motor de 2HP.

El sistema de transmisión es por medio de poleas y bandas que ---
transmiten al volante de la quebradora una velocidad de 275 r.p.m.

FOTOGRAFIA No. 3 - Quebradora de Quijada 4" X 6" (10.16 cm X 15.24 cm)



b.) Quebradora de Cono (Fotografía No. 4) de 1 ft (30.48 cm) de diámetro, marca Denver, con un motor de 2HP, la máquina opera con --
210 volts y 6.5 amperes.

FOTOGRAFIA No. 4 - Quebradora de Cono empleada en trituration secundaria.



5.2 MOLIENDA

El Índice de Trabajo en molienda se realizó en un molino de bolas tipo Bond (Fotografía No. 5), marca Bico-Braun de dimensiones estándar- 12" X 12" (30.48 cm X 30.48 cm) con blindaje liso y una puerta de - - 4" X 8" (10.16 cm X 20.32 cm) que se emplea para cargar las bolas y - el mineral. El motor requerido es de 1HP para trabajar con 210 volts y 3.6 amperes, proporcionando al molino una velocidad de 70 r.p.m. -- (91% de la velocidad crítica).

FOTOGRAFIA No. 5 - Molino tipo Bond 12" X 12" (30.48 cm X 30.48 cm)



Las pruebas de molienda directa se efectuaron en un molino tipo USBM- (Fotografía No. 6) con dimensiones 8" X 8" (20.32 cm X 20.32 cm), de blindaje liso, el cual requiere un motor de 1HP, 110 volts y 8.5 amperes.

La velocidad de operación para este equipo es de 70.4 r.p.m. (75% de la velocidad crítica).

FOTOGRAFIA No. 6 - Molino con carga de bolas para molienda directa.



5.3 MEDIOS DE MOLIENDA

Las cargas de bolas empleadas fueron en algunos casos gradientes, y en otros carga de un sólo tamaño; a continuación se indican los casos.

La determinación del Índice de Trabajo se efectuó con una carga de -- 20 149.4 g cuyo gradiente corresponde al Cuadro No. 5.1 .

TAMAÑO DE BOLA		N° DE BOLAS	PESO %	% ACUM. (-)
PULGADAS	MILÍMETROS			
1 7/16	36.83	43	43.71	100.00
1 3/6	29.72	67	35.78	56.29
1	25.40	10	3.33	20.51
3/4	19.10	71	10.07	17.18
5/8	15.49	94	7.11	7.11
TOTAL		285	100.00	

CUADRO No. 5.1

Las pruebas de molienda directa se realizaron con el siguiente gra--- diente de bolas, el cual corresponde a 12 213.8 g. (En el capítulo co rrespondiente a la Experimentación se mencionan los cálculos de este gradiente).

TAMAÑO DE BOLA		N° DE BOLAS	PESO %	% ACUM. (-)
PULGADAS	MILIMETROS			
1 1/4	31.75	31	32.99	100.00
1 1/8	28.58	31	24.18	67.01
1	25.40	31	17.04	42.83
7/8	22.23	31	11.44	25.79
3/4	19.05	31	7.17	14.35
5/8	15.88	54	7.18	7.18
TOTAL		209	100.00	

CUADRO No. 5.2

Las pruebas que se realizaron con cargas diferentes a la anterior se mencionan en el punto adecuado y las cargas correspondientes se indican a continuación:

TAMAÑO DE BOLA EMPLEADO		CARGA DE BOLAS GRAMOS
PULGADAS	MILIMETROS	
7/8	22.23	12 205
1 1/8	28.58	12 193
1 1/4	31.75	12 194

CUADRO No. 5.3

5.4 ANALISIS GRANULOMETRICOS

Los análisis granulométricos se realizaron desde la etapa de trituración hasta la de molienda (Fotografía No. 7). Por lo tanto, se mencionan a continuación las características de las mallas empleadas en el estudio.

MALLA N°	A B E R T U R A	
	PULGADAS	MICROMETROS
8"	8	203 200
7"	7	177 800
6"	6	152 400
5"	5	127 000
4"	4	101 600
3"	3	76 200
2"	2	50 800
1"	1	26 600
3/4"	3/4	18 800
1/2"	1/2	13 300
3/8"	3/8	9 400
1/4"	1/4	6 700
6	0.131	3 327
8	0.093	2 367
10	0.065	1 651
14	0.046	1 168
20	0.033	833
30	0.023	595
35	0.016	417
50	0.012	297
70	0.008	210
100	0.0058	147
150	0.0041	104
200	0.0029	74
250	0.0024	61
325	0.0017	43
400	0.0015	38

CUADRO No. 5.4

FOTOGRAFIA No. 7 - Determinación de la granulometría de un producto -
de molienda



EXPERIMENTACION

6. EXPERIMENTACION

Con el objeto de complementar el presente estudio, es necesario incluir alguna información que pueda servir de referencia y facilite la interpretación de los resultados obtenidos.

Por lo tanto, de una manera superficial se mencionará parte del estudio de caracterización efectuado a la muestra con la cual se realizó la investigación.

También se incluyen datos y resultados de las determinaciones de Índice de Trabajo obtenidos en trituración y molienda.

Finalmente, se presentan las variables consideradas para la realización del estudio, así como el resultado obtenido en cada caso.

6.1 DETERMINACION MINERALOGICA

El estudio de análisis cualitativo espectrográfico se le realizó a la muestra con el objeto de conocer su composición química elemental, la cual se puede apreciar en el Cuadro No. 6.1

PROPORCION ESTIMADA	E L E M E N T O S
Mayor de 10.0 %	Si
Entre 1.0 y 10.0 %	Al, Fe, Ca, Mg, K y Na
Entre 0.1 y 1.0 %	Mo, Ti, Cu, Ba y Sr
Entre 0.01 y 0.1 %	Pb, V, Zr, Mn
Menor de 0.01 %	Cr, y Ag

CUADRO No. 6.1

Con la finalidad de conocer los compuestos minerales, se realizó un estudio por Difracción de Rayos "X". Las especies identificadas se reportan a continuación:

PROPORCION ESTIMADA	ESPECIE MINERAL
M a y o r	C u a r z o
Mediana	Feldespatos y Mica
M e n o r	Molibdenita, Clorita y Magnetita.
Pequeña	P i r i t a

CUADRO No. 6.2

Los elementos presentes en cantidades significativas fueron analizados químicamente, los resultados se observan en el Cuadro No. 6.3

ELEMENTO O COMPUESTO	%
Cu	0.28
Mo	0.80
SiO ₂	67.12
Al ₂ O ₃	11.57
Fe	3.20
CaCO ₃	1.80
CaO	1.98
MgO	1.05
K ₂ O	5.54
Na ₂ O	1.75

CUADRO No. 6.3

A partir de los estudios anteriores, se pudo llegar a la siguiente re construcción mineralógica (Cuadro No. 6.4).

ESPECIE MINERAL	%
Molibdenita	1.33
Calcopirita	0.81
P i r i t a	0.30
Magnetita	2.00
Feldespatos	45.36
C u a r z o	32.29
M i c a	4.08
C l o r i t a	2.91
C a l c i t a	1.80
C a o l i n	5.37
O t r o s	---
	100.00

CUADRO No. 6.4

Cabe mencionar que esta información es dada únicamente con la finalidad de complementar el estudio.

6.2 INDICE DE TRABAJO EN TRITURACION Y MOLIENDA

6.2.1 TRITURACION PRIMARIA

La prueba se realizó con material a -8" (-20.32 cm) en la alimentación y con una descarga de -2" (-5.08 cm).

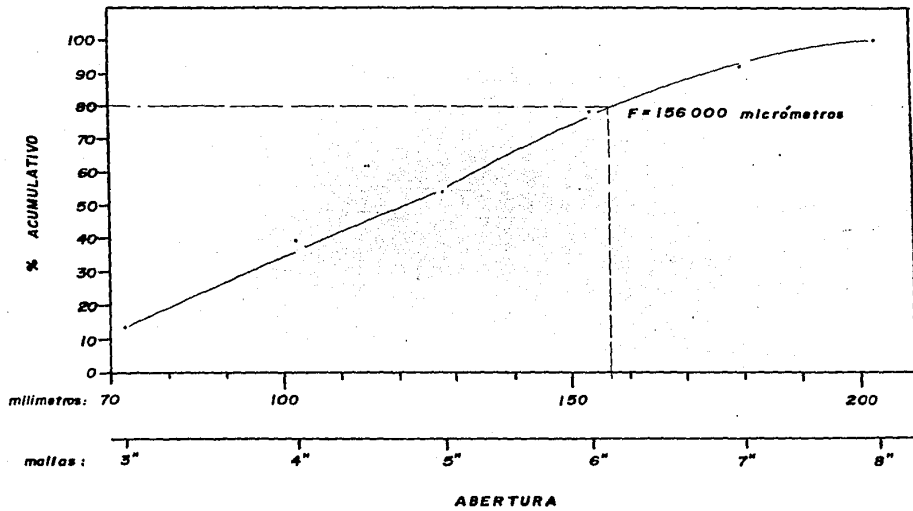
A continuación se encuentran los análisis granulométricos correspondientes a esta prueba:

GRANULOMETRIA DE ALIMENTACION EN TRITURACION PRIMARIA

PRODUCTO	TAMAÑO MM	PESO %	% ACUM (-)
-8"+7"	-203.2	7.7	100.00
-7"+6"	-177.8	14.2	92.3
-6"+5"	-152.4	24.4	78.1
-5"+4"	-127.0	14.4	53.7
-4"+3"	-101.6	25.9	39.3
-3"	- 76.2	13.4	13.4
		100.0	

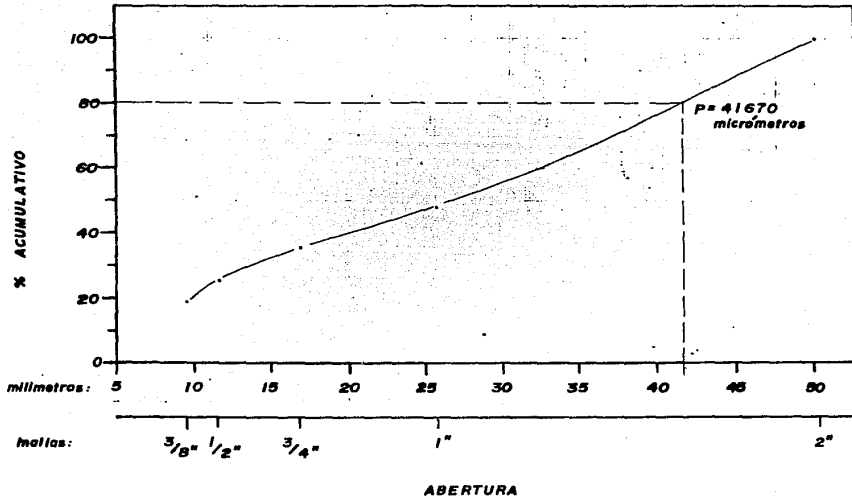
CUADRO No. 6.5

ALIMENTACION A TRITURACION PRIMARIA
(QUEBRADORA DE QUINADAS)



121

DESCARGA DE TRITURACION PRIMARIA
(QUEBRADORA DE QUIJADAS)



GRANULOMETRIA DE LA DESCARGA EN TRITURACION PRIMARIA

PRODUCTO	TAMAÑO MM	PESO %	% ACUM. (-)
-2" +1"	-50.8	52.0	100.0
-1" +3/4"	-26.6	13.3	48.0
-3/4"+1/2"	-18.8	9.5	34.7
-1/2"+3/8"	-13.3	6.8	25.2
-3/8"	- 9.4	18.4	18.4
		100.0	

CUADRO No. 6.6

Las gráficas No. 6.1 y 6.2, corresponden a los análisis granulométricos anteriores.

6.2.2 TRITURACION SECUNDARIA

Esta determinación se llevó a cabo con dos diferentes equipos:

- a) TRITURADORA DE QUIJADA. Los cuadros siguientes, y las Gráficas - No. 6.3 y 6.4, resumen la información de las granulometrías en esta determinación.

GRANULOMETRIA DE ALIMENTACION EN TRITURACION
SECUNDARIA (QUEBRADORA DE QUIJADA)

PRODUCTO	TAMAÑO MM	PESO %	% ACUM. (-)
-2" +1+	-50.8	63.7	100.0
-1" +3/4"	-26.6	16.3	36.3
-3/4"+1/2	-18.8	11.7	20.0
-1/2"+3/8"	-13.3	8.3	8.3
		100.0	

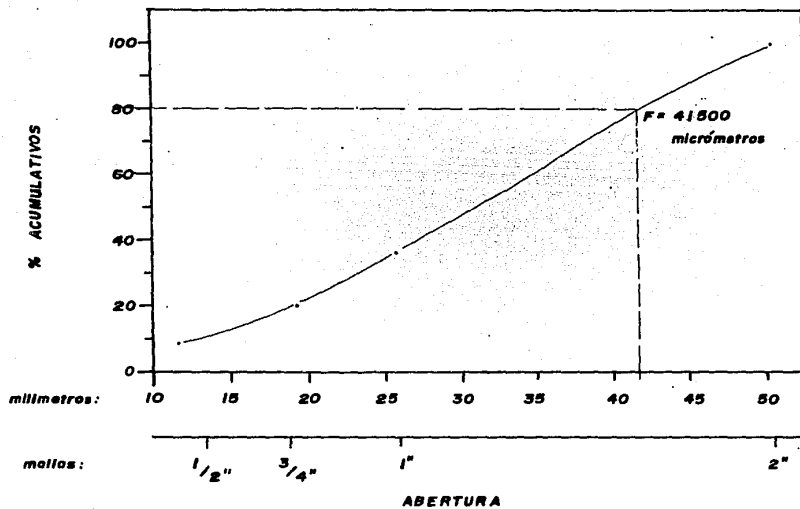
CUADRO No. 6.7

GRANULOMETRIA DE LA DESCARGA EN TRITURACION
SECUNDARIA (QUEBRADORA DE QUIJADA)

PRODUCTO	TAMAÑO MM	PESO %	% ACUM. (-)
-3/4"+1/2"	- 18.8	13.0	100.0
-1/2"+3/8"	- 13.3	33.9	87.0
-3/8"+1/4"	- 9.4	18.0	53.1
-1/4"+6 m	- 6.7	11.3	35.1
-6 m +10m	- 3.3	8.9	23.8
-10m	- 1.6	14.9	14.9
		100.0	

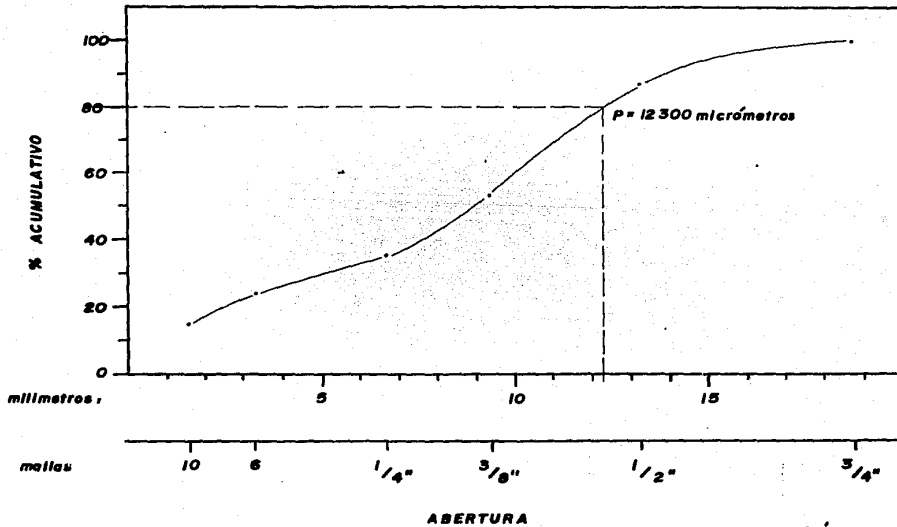
CUADRO No. 6.8

ALIMENTACION A TRITURACION SECUNDARIA
(QUEBRADORA DE QUIJADAS)



Gráfica — 6.3

**DESCARGA DE TRITURACION SECUNDARIA
(QUEBRADORA DE QUIJADAS)**



Gráfica — 6.4

- b) QUEBRADORA DE CONO. Los Cuadros No. 6.9 y 6.10, y las Gráficas - No. 6.5 y 6.6, son los correspondientes a esta determinación.

GRANULOMETRIA DE ALIMENTACION EN TRITURACION SECUNDARIA
(QUEBRADORA DE CONO)

PRODUCTO	TAMAÑO MM	PESO %	% ACUM. (-)
-2" +1"	- 50.8	61.8	100.0
-1" +3/4	- 26.6	11.6	38.2
-3/4+1/2"	- 18.8	17.2	26.6
-1/2"+3/8"	- 13.3	9.4	9.4
		100.0	

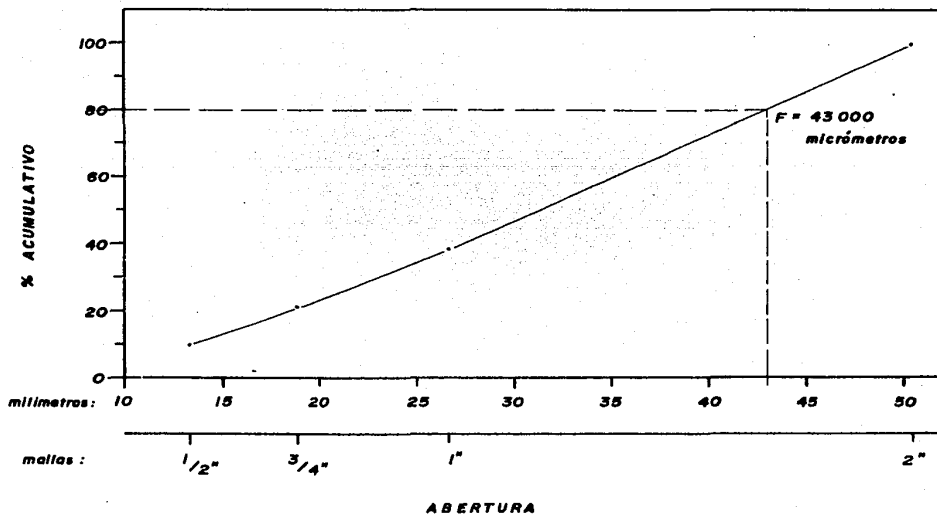
CUADRO No. 6.9

GRANULOMETRIA DE DESCARGA EN TRITURACION SECUNDARIA
(QUEBRADORA DE CONO)

PRODUCTO	TAMAÑO MM	PESO %	% ACUM. (-)
-1/2"+3/8"	- 13.3	8.7	100.0
-3/8"+1/4"	- 9.4	26.1	91.3
-1/4"+6 m	- 6.7	33.0	65.2
-6 m +10m	- 3.3	13.7	32.2
-10m	- 1.6	18.5	18.5
		100.0	

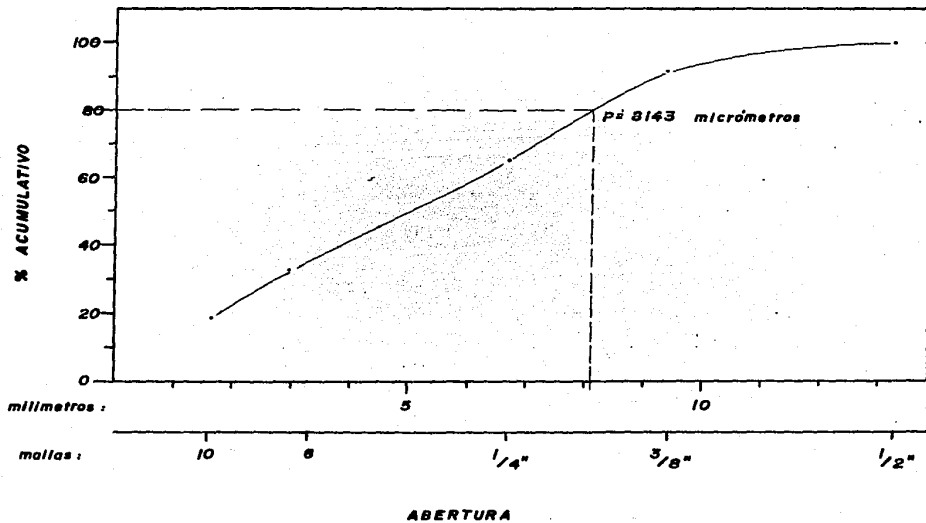
CUADRO No. 6.10

ALIMENTACION A TRITURACION SECUNDARIA
(QUEBRADORA DE CONO)



Gráfica — 6.5

DESCARGA DE TRITURACION SECUNDARIA
(QUEBRADORA DE CONO)



Gráfica — 6.6

NOTA: Los datos de tamaños expresados en pulgadas, representan el no minal de la malla y el valor en milímetros es la abertura de la misma.

Los datos obtenidos durante la determinación, son empleados para determinar el Índice de Trabajo (W_i) en trituración, mediante el empleo de la fórmula siguiente:

$$W_i = W \left[\frac{\sqrt{RT}}{\sqrt{RT} - 1} \right] \sqrt{\frac{P}{100}} \quad (6.1)$$

En la cual:

W_i = Índice de Trabajo en KWH/T

RT = Relación de Trituración

P = Tamaño al cual pasa el 80% de las partículas en la descarga (micrómetros)

W = Potencia requerida por el mineral (KWH/T)

En el siguiente cuadro, se resumen los resultados obtenidos en las -- operaciones efectuadas; se puede observar la tendencia que siguen los valores de Índice de Trabajo con respecto a la relación de tritura--- ción.

Es conveniente mencionar que los valores de F y P , tamaños en la alimentación y la descarga, son los correspondientes al tamaño al cual -- pasa el 80% del material.

CUADRO RESUMEN DE TRITURACION

CONCEPTO	TRITURACION		
	PRIMARIA	SECUNDARIA	
	Q.Q.	Q.Q.	Q.C.
I (vacío) amperes	12.0	6.0	3.8
I (con carga) amperes	21.5	7.77	6.47
Voltaje volts	210.0	210.0	210.0
Tiempo segundos	103.0	178.6	191.5
Carga Kilogramos	226.1	41.70	41.53
Alimentación micrómetros (F)	156 000	43.500	43 000
Descarga micrómetros (P)	43 000	12 300	8 143
Relación de trituración	3.63	3.53	5.28
Capacidad T/H	7.91	0.840	0.781
Indice de Trabajo Wt KWH/T	19.18	18.12	19.89
Potencia requerida por el mineral KWH/T	0.439	0.765	1.245

CUADRO No. 6.11

6.2.3 MOLIENDA.

La determinación de Índice de Trabajo en molienda se efectuó mediante la técnica de F.C Bond, la operación fue en seco en un molino de bolas y manteniendo un circuito cerrado hasta establecer una carga circulante de aproximadamente 250%.

Los Cuadros No. 6.12 y 6.14, y las Gráficas No. 6.7 a 6.9, reportan las granulometrías de la alimentación y descarga de las pruebas realizadas.

Este valor de Índice de Trabajo se determinó para dos tamaños del mineral en la descarga (-70 y -150 mallas).

GRANULOMETRIA DE ALIMENTACION A MOLIENDA BOND

PRODUCTO (MALLAS)	TAMANO MICROMETROS	PESO %	% ACUM. (-)
-6 +8	-3327	26.0	100.0
-8 +10	-2367	10.4	74.0
-10 +14	-1651	12.7	63.6
-14 +20	-1410	13.6	50.9
-20 +30	- 833	6.7	37.3
-30 +50	- 595	8.3	30.6
-50 +70	- 297	4.0	22.3
-70 +150	- 210	5.0	18.3
-150	- 104	13.3	13.3
		100.0	

CUADRO No. 6.12

GRANULOMETRIA DE DESCARGA EN MOLIENDA BOND
(-70 MALLAS)

PRODUCTO	TAMANO MICROMETROS	PESO %	% ACUM. (-)
-70 +100	- 210	28.1	100.0
-100+150	- 149	12.4	71.9
-150+200	- 104	8.5	59.5
-200+230	- 74	4.6	51.0
-230+235	- 63	14.4	46.4
-325	- 43	32.0	32.0
		100.0	

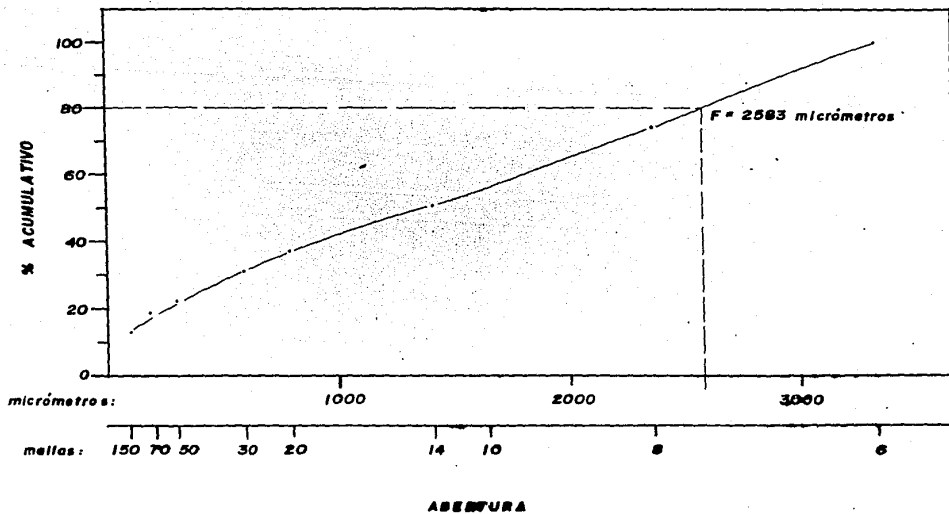
CUADRO No. 6.13

GRANULOMETRIA DE DESCARGA EN MOLIENDA BOND
(-150 MALLAS)

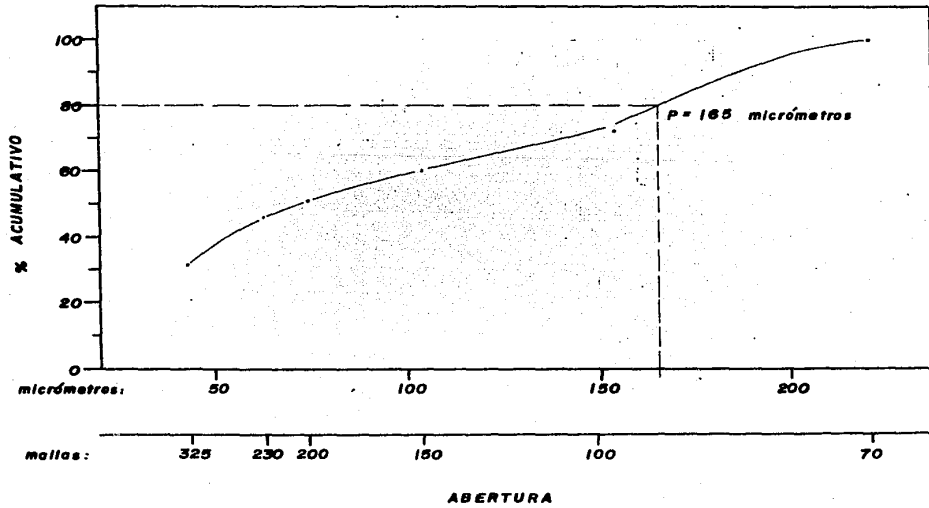
PRODUCTO	TAMANO MICROMETROS	PESO %	% ACUM. (-)
-150+200	-104	15.3	100.0
-200+230	- 74	15.5	84.7
-230+325	- 63	13.4	69.2
-325	- 43	55.8	55.8
		100.0	

CUADRO No. 6.14

ALIMENTACION A MOLIENDA BOND (-6 mallas)

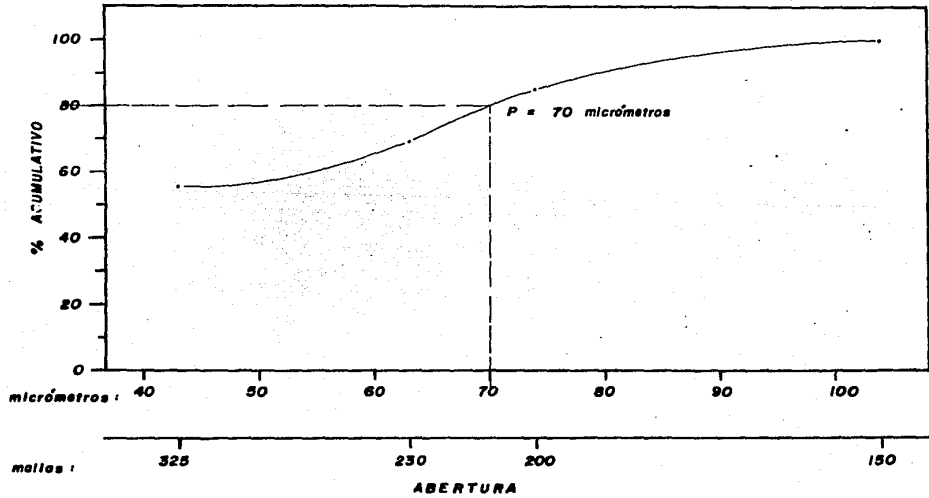


DESCARGA DE MOLIENDA BOND (~ 70 mallas)



Gráfica — 6.8

DESCARGA DE MOLIENDA BOND (- 150 mallas)



HFI

A partir de los datos obtenidos, el Índice de Trabajo (Wi) puede ser determinado mediante la aplicación de la siguiente fórmula empírica(*):

$$W_i = \frac{44.5}{(P_i)^{0.23} (Gbp)^{0.82} \left[\frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right]} \quad (6.2)$$

Los resultados correspondientes a molienda, se resumen en el Cuadro No. 6.15.

CUADRO RESUMEN DE MOLIENDA

MOLIENDA MALLAS	GRAMOS POR REVOLUCION (Gbp)	% CARGA CIRCULANTE	VALOR EN MICRAS			W _i KWH/T
			P _i	F	P	
- 70.	1.341	252.4	210	2583	166	19.41
-150	0.995	250.0	104	2583	70	16.90

CUADRO No. 6.15

(*) Ver inciso 4.2.1 para la identificación de las literales.

El valor de Wi está dado en KWH/Tc; por tanto, es necesario efectuar la conversión a toneladas métricas.

Los valores obtenidos para el Índice de Trabajo a moliendas gruesas - probablemente se deben a la característica del mineral, que contiene una gran cantidad de micas que se presentan como láminas y tienen una gran tenacidad para fracturarse.

6.3 VARIACION DE LOS PARAMETROS ESTANDAR EN PRUEBAS DE LABORATORIO.

Las pruebas realizadas en el presente estudio, muestran la tendencia que presentan los resultados al variar los parámetros de operación.

Con el objeto de que las pruebas y resultados sean comparativos entre sí, se varió únicamente un parámetro en cada serie y posteriormente se muestra la gráfica que contiene todos los datos correspondientes a la misma.

Conforme al desarrollo del trabajo, se irán mencionando las consideraciones tomadas para cada serie, así como un breve resumen de las etapas en estudio.

Este estudio se inicia con el cálculo de la carga y gradiente de bolas necesario para moler el mineral desde el tamaño de alimentación - (14 mallas, -1168 micrómetros) en molienda directa.

Para calcular la carga de bolas necesarias, se emplea la siguiente ecuación:

$$C_{\text{bolas}} = V_m \cdot \% V_m \text{ ocupado} \cdot d_{\text{bolas}} \cdot \% \text{ ocupado por bolas} \quad (6.3)$$

En donde:

V_m = Volumen del molino (litros)

$\% V_m \text{ ocupado}$ = Volumen del molino ocupado por los medios moledores y la pulpa.

d_{bolas} = Densidad de los cuerpos moledores (Kilogramos/litro)

$\% \text{ ocupado por bolas}$ = Volumen real ocupado por los medios moledores - (60%)

C_{bolas} = Carga de los medios moledores (Kilogramos)

Las dimensiones del molino se determinaron directamente, obteniendo: para el diámetro 19.6 cm, y para la longitud 19.2.; con las cuales se puede calcular su volumen (5.793 litros).

Para iniciar las pruebas se tomó un 45% del volumen del molino ocupado, de este volumen el 60% corresponde al empleado por las bolas, y el resto es ocupado por la pulpa.

También se determinó la densidad real de los balines de acero empleados como medios moledores, la cual fue de 7.808 Kg/l.

De acuerdo a los datos anteriores se tiene:

$$C_{\text{bolas}} = (5.793) (0.45) (7.808) (0.60)$$

$$C_{\text{bolas}} = 12.213 \text{ Kg.}$$

Antes de calcular el gradiente de bolas, se debe determinar el tamaño máximo de las mismas. Este cálculo se puede efectuar de dos formas :

- a) Tomando en cuenta únicamente el tamaño máximo de partícula a molar, por medio de la siguiente expresión empírica:

$$D_1 = D_2^2 \quad (6.4)$$

En donde:

D_1 = Diámetro máximo de las partículas, expresado en milímetros.

D_2 = Diámetro de las bolas, expresado en pulgadas.

Si se parte de que $D_1 = 1.168$ mm, se obtiene que $D_2 = 1.08$ in ---
(27.4 mm)

- b) A partir de la siguiente ecuación:

$$B = \sqrt{\frac{F}{K} \left[\frac{d_{min} W_i}{\% V_c \sqrt{D}} \right]^{1/3}} \quad (6.5)$$

Los datos considerados en este caso, se mencionan en la siguiente lista:

C O N C E P T O	CLAVE	D A T O
Tamaño de alimentación	F	947 micrómetros
Factor para molino de bolas	K	350
Densidad del mineral	d_{min}	2.65 Kg/l
Índice de Trabajo	W_i	19.00 KWH/T
Fracción de la velocidad crítica empleada	$\% V_c$	0.75
Diámetro del molino	D	0.6430 ft

CUADRO No. 6.16

Sustituyendo estos valores en la ecuación anterior, se obtiene -- que B = 1.55 pulgadas (39.4 mm).

Los diámetros de las bolas calculadas por los dos métodos difieren -- por media pulgada; por lo tanto, se consideró un tamaño intermedio pa -- ra proceder al cálculo del gradiente de bolas, La bola de tamaño má -- ximo utilizada en el presente estudio, deberá tener un diámetro de -- 1.25 pulgadas (31.71 mm).

La siguiente ecuación, permite calcular la distribución de pesos en -- los diferentes tamaños de las bolas:

$$Y = \left[\frac{X}{B} \right]^{3.8} \quad (6.6)$$

En donde:

Y = Porcentaje acumulativo en peso de la carga de bolas, expresado en -- decimal.

X = Diámetro de las bolas (fracción de la carga de bolas), expresado -- en mm, o pulgadas.

B = Diámetro de las bolas de tamaño máximo, expresado en mm, o pulga -- das.

Esta fórmula combinada con la carga de bolas y los pesos unitarios co -- rrespondientes a los distintos tamaños de las mismas, permiten llegar a la determinación del número de bolas necesario en cada fracción.

Debido a que el número de bolas es ajustado al próximo entero, la carga de las mismas difiere ligeramente de la calculada.

GRADIENTE DE BOLAS EMPLEADO EN MOLIENTA DIRECTA, CON UN MINERAL ALIMENTADO A -14 MALAS
(-1168 MICROMETROS)

TAMANO DE BOLAS		PESO %		PESO CALCULADO	PESO UNITARIO	N° DE BOLAS		PESO AJUSTADO
BULGADAS	MILIMETROS	ACUMULATIVO	PESO %	GRAMOS	GRAMOS	CALCULADO	AJUSTADO	GRAMOS
1 1/4	31.75	100.00	32.99	4029.0	130.5	30.87	31	4045.5
1 1/8	28.58	67.01	24.18	2953.0	95.2	31.00	31	2951.2
1	25.40	42.83	17.04	2081.0	66.9	31.10	31	2073.9
7/8	22.23	25.79	11.44	1397.0	44.8	31.20	31	1388.8
3/4	19.05	14.35	7.17	876.0	28.2	31.10	31	874.2
5/8	15.88	7.18	7.18	877.0	16.3	53.80	54	880.2
TOTAL			100.0	12213.0			209	12213.8

CUADRO No. 6.17

La granulometría del material empleado para la alimentación a molienda, se presenta en el Cuadro No. 6.18, y en la Gráfica No. 6.10. En el momento en que se cambie el tamaño de alimentación se hará una anotación.

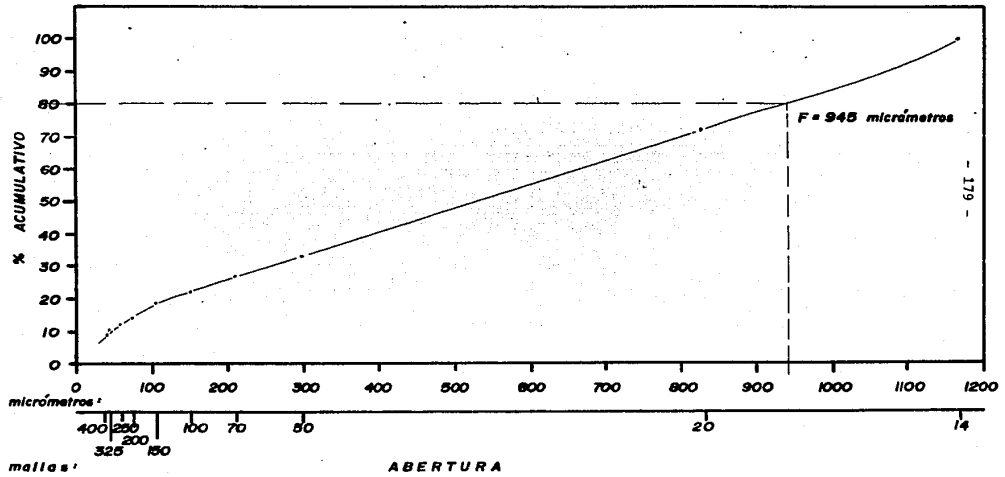
GRANULOMETRIA DEL MINERAL EN LA ALIMENTACION
(-14 MALLAS, -1168 MICROMETROS)

PRODUCTO	TAMAÑO MICROMETROS	PESO %	% ACUM. (-)
-14 +20	1168	28.60	100.00
-20 +50	833	38.40	71.40
-50 +70	297	6.38	33.00
-70 +100	210	4.74	26.62
-100+150	147	3.62	21.88
-150+200	104	4.56	18.26
-200+250	74	1.70	13.70
-250+325	61	2.19	12.00
-325+400	43	1.04	9.81
-400	38	8.77	8.77
TOTAL		100.00	

CUADRO No. 6.18

Los datos anteriores son considerados como los iniciales para el desarrollo del estudio, a partir de ellos, se realizan las variaciones de los parámetros, con la finalidad de conocer el comportamiento que presenta el mineral al efectuar cada modificación.

GRANULOMETRIA DEL MINERAL EN LA ALIMENTACION



Gráfica - 6.10

Una de las medidas tomadas para hacer notar la tendencia de los resultados, es calcular las capacidades de molienda en las diferentes fracciones de cada prueba, las gráficas de estos valores permiten hacer - las comparaciones entre ellas.

Las variables se mencionan a continuación, de acuerdo a la secuencia-utilizada.

- 1) Variación de dilución agua:mineral
- 2) Variación de la velocidad de operación
- 3) Variación de la carga en la alimentación
- 4) Variación del tiempo de molienda
- 5) Variación del tamaño de partícula en la alimentación
- 6) Variación del tamaño de bola empleado para la molienda

6.3.1 VARIACION DE DILUCION

El objetivo de esta serie, es encontrar una relación óptima de agua--mineral con la cual se obtengan idóneos resultados de molienda.

La ventaja o desventaja de la modificación de este parámetro, es medida por los gramos netos producidos por minuto, para lo cual es necesario conocer las granulometrías de descarga de cada prueba.

Los parámetros controlados en esta serie se enuncian a continuación y posteriormente, se presentan los resultados obtenidos.

C O N C E P T O	D A T O
Carga de bolas	12,213.8 g
Dilución agua : mineral	Variable
Velocidad de operación	74 rpm (79 % Cs)
Carga de mineral	1000 g
Tiempo de molienda	10 minutos

CUADRO No. 6.19

Por el gran parecido que presenta la familia de curvas graficadas y - la dificultad de su evaluación, se unieron los puntos correspondien-- tes a cada malla (tamaño de partícula dado), facilitando así la visua lización de la tendencia de los valores.

La gráfica que contiene los resultados de los porcentos . en peso ne-- tos producidos por minuto, indica cómo para una dilución de 0.6:1 se obtienen mejores resultados, por lo tanto, este dato se fijará para - las siguientes etapas del estudio.

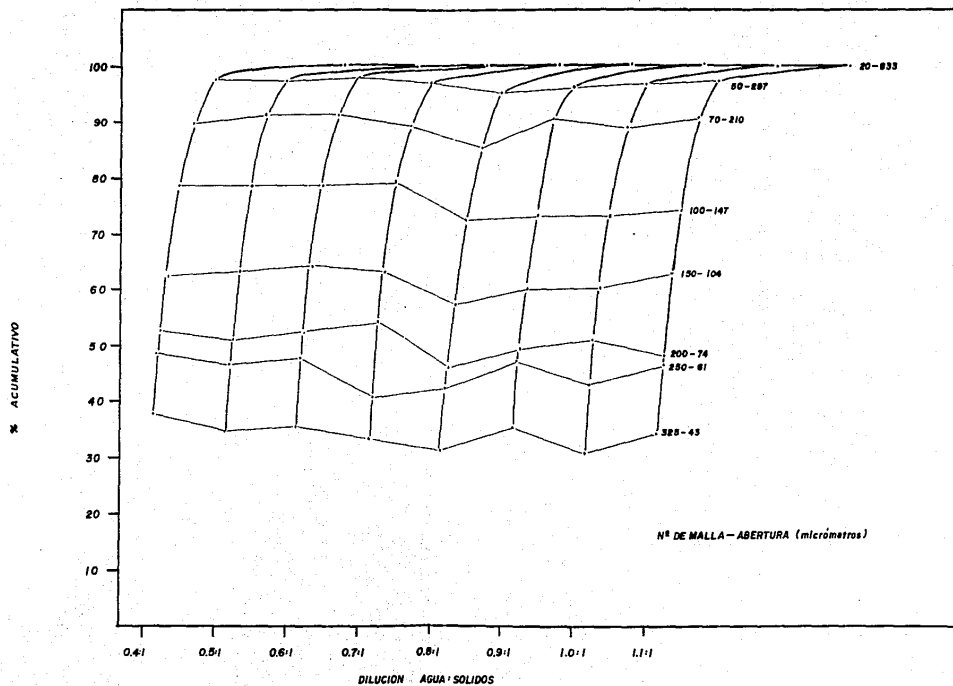
Esta dilución encontrada debe permitir que la pulpa tenga un tiempo - de residencia adecuado en el molino y no debe ser tan alta que, debi- do a la alta velocidad del flujo de la pulpa, disminuya la capacidad- del equipo, ni tan baja que no tenga fluidez dentro de los intersti-- cios de las bolas, disminuyendo así el efecto de la molienda, debido- a el efecto amortiguante de la pulpa.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LAS DESCARGAS DE LAS FUEZZAS CORRESPONDIENTES A LA SERIE : VARIACION DE DIAMCRO

DIAMCRO (MILIMETROS)		0.4 : 1		0.5 : 1		0.6 : 1		0.7 : 1		0.8 : 1		0.9 : 1		1.0 : 1		1.1 : 1	
DIAMCRO	MICROMETROS	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)
-14 +20	1160	0.08	100.00	0.08	100.00	0.07	100.00	0.08	100.00	0.09	100.00	0.09	100.00	0.08	100.00	0.05	100.00
-20 +50	833	2.43	99.91	2.60	99.92	2.50	99.92	2.77	99.92	5.05	95.91	3.15	99.91	3.64	99.92	2.79	99.95
-50 +70	297	8.07	97.46	6.33	97.32	6.33	97.15	8.24	97.15	9.55	94.86	6.24	96.76	7.77	96.26	6.56	97.16
-70 +100	210	10.95	89.41	12.50	90.09	12.48	88.91	9.60	88.91	12.76	85.31	17.52	90.52	15.12	88.51	16.39	90.60
-100+150	147	16.37	76.46	15.47	76.41	14.78	79.11	16.07	79.11	15.50	72.55	13.25	73.00	13.30	73.39	11.61	74.21
-150+200	104	9.52	61.89	12.12	62.94	11.82	63.04	9.17	63.04	10.86	57.05	10.66	59.75	9.62	60.09	14.47	62.40
-200+250	74	3.83	52.37	4.16	50.82	4.41	53.07	13.48	53.87	4.14	46.19	2.23	49.07	7.75	50.47	1.81	47.93
-250+325	61	10.92	46.54	17.26	46.66	12.27	40.39	7.29	40.39	10.90	42.05	11.82	46.84	12.30	42.72	12.42	46.12
-325	43	37.62	37.62	34.40	34.40	35.34	33.10	33.10	33.10	31.15	31.15	35.02	35.02	30.42	30.42	33.70	33.70
TOTAL		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00	

CUADRO NO. 6.20

GRANULOMETRIA DE LAS DESCARGAS EN LA SERIE : VARIACION DE DILUCION

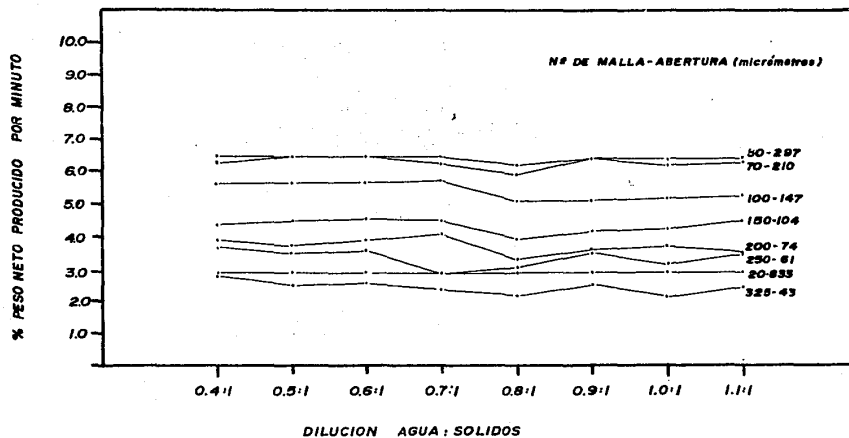


PESOS NETOS PRODUCIDOS EN LAS PRUEBAS CORRESPONDIENTES A LA SERIE :
VARIACION DE DILUCION

PRODUCTO	TAMAÑO MICROMETOS	PORCIENTO EN PESO NETO PRODUCIDO POR MINUTO								
		D I L U C I O N	0.4:1	0.5:1	0.6:1	0.7:1	0.8:1	0.9:1	1.0:1	1.1:1
-14 +20	1168		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-20 +50	833		2.851	2.852	2.853	2.852	2.851	2.851	2.852	2.855
-50 +70	297		6.448	6.432	6.443	6.415	6.186	6.376	6.328	6.416
-70 +100	210		6.279	6.437	6.448	6.229	5.869	6.390	6.189	6.398
-100+150	147		5.658	5.653	5.674	5.723	5.067	5.112	5.151	5.233
-150+200	104		4.363	4.468	4.558	4.478	3.879	4.149	4.183	4.414
-200+250	74		3.867	3.712	3.832	4.017	3.249	3.547	3.677	3.423
-250+325	61		3.654	3.466	3.561	2.839	3.005	3.484	3.072	3.412
-325	43		2.781	2.459	2.553	2.329	2.134	2.521	2.061	2.389

CUADRO No. 6.21

% PESOS NETOS PRODUCIDOS POR MINUTO EN LA SERIE : VARIACION DE DILUACION



- 185 -

2

6.3.2 VARIACION DE LA VELOCIDAD DE OPERACION

El valor obtenido en la serie variación de la dilución (0.6:1), es constante en la presente etapa.

La finalidad de variar la velocidad de operación es conocer la relación que existe entre ésta y la capacidad del molino; esta relación se puede determinar a partir de los análisis granulométricos de los productos de cada prueba.

Enseguida se presentan los parámetros controlados en esta serie y las velocidades consideradas como variables.

CONCEPTO	DATO
Carga de bolas	12,213.8 g
Dilución agua : mineral	0.6:1
Velocidad de operación	Variable
Carga de mineral	1000 g
Tiempo de molienda	10 minutos

CUADRO No. 6.22

VELOCIDADES DE OPERACION EMPLEADAS

FRACCION DE LA VELOCIDAD CRITICA (%)	VELOCIDAD DE TRABAJO (RPM)
50	47
55	51.6
60	56.3
65	61.0
70	65.7
75	70.4
79	74.0
85	80.0
90	84.5
95	89.2
100	93.8
105	98.5
110	103.2

CUADRO No. 6.23

Las Gráficas No. 6.13 y 6.14, y los Cuadros No. 6.24 y 6.25, permiten observar los resultados obtenidos en esta serie y se deduce que a mayor velocidad se obtiene una mayor capacidad de molienda.

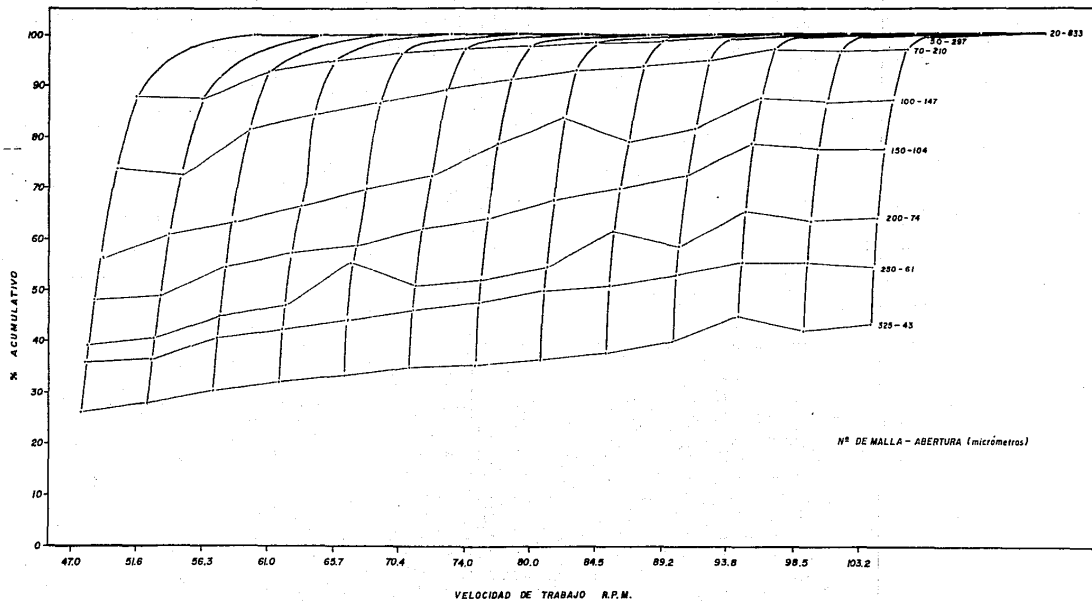
Esta alta velocidad que provoca un aumento en la capacidad, produce un mayor desgaste de los medios molidores e incrementa la demanda de energía del molino así como sus costos de mantenimiento. Una velocidad baja reduce la capacidad y el desgaste de las bolas, siempre y cuando no se aleje del 70% de la velocidad crítica.

Por lo tanto, para provocar una eficiencia estándar, la cual está en función de la velocidad relativa de la caída de las bolas a su punto de impacto deberá operarse con una velocidad de trabajo correspondiente al 75% de la velocidad crítica.

ANÁLISIS GRAMIMÉTRICO DE LA RESCUEGA DE LAS PRUEBAS CORRESPONDIENTES A LA SERIE: VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN

VELOCIDAD DE OPERACIÓN	47 RPM		51.6 RPM		56.3 RPM		61.0 RPM		65.7 RPM		70.4 RPM		74 RPM		80 RPM		84.5 RPM		89.2 RPM		93.2 RPM		98.5 RPM		103.2 RPM			
	FRECUENCIA	% ACUM. (-)	FRECUENCIA	% ACUM. (-)	FRECUENCIA	% ACUM. (-)	FRECUENCIA	% ACUM. (-)	FRECUENCIA	% ACUM. (-)	FRECUENCIA	% ACUM. (-)	FRECUENCIA	% ACUM. (-)	FRECUENCIA	% ACUM. (-)	FRECUENCIA	% ACUM. (-)	FRECUENCIA	% ACUM. (-)	FRECUENCIA	% ACUM. (-)	FRECUENCIA	% ACUM. (-)	FRECUENCIA	% ACUM. (-)		
-20 +50	813	12.27	100.00	12.61	100.00	7.25	100.00	5.65	100.00	3.86	100.00	3.14	100.00	2.57	100.00	1.57	100.00	1.21	100.00	1.00	100.00	0.52	100.00	0.53	100.00	0.54	100.00	
-50 +70	297	13.93	87.73	15.03	87.39	11.19	92.75	10.72	94.95	9.59	96.14	7.83	96.86	6.33	97.43	5.34	98.43	4.91	98.69	4.15	99.00	2.45	98.48	2.69	100.00	0.47	2.44	99.46
-70 +100	219	17.40	73.09	11.26	72.26	17.92	81.56	17.56	84.23	16.65	86.56	17.94	89.63	12.40	91.10	9.63	93.09	14.70	93.78	13.43	94.83	9.56	97.63	10.01	96.78	10.07	97.02	
-100+150	147	7.69	56.40	12.24	69.58	8.92	63.64	5.46	66.67	11.19	69.51	9.79	71.79	14.78	78.62	16.00	83.48	9.39	79.08	6.31	81.43	8.74	87.47	9.16	86.77	9.43	86.95	
-150+200	104	4.47	48.71	8.62	48.74	9.98	54.72	16.29	57.21	3.21	58.72	11.11	62.09	11.82	63.84	12.06	67.40	8.14	69.69	13.71	72.12	13.30	78.73	13.96	77.61	13.53	77.52	
-200+250	74	3.17	38.24	4.09	40.72	4.19	44.84	4.31	46.92	11.13	55.41	4.62	59.89	4.41	52.00	4.99	54.42	10.56	61.63	5.45	58.41	10.03	65.43	8.26	63.63	9.61	63.99	
-250+325	61	9.91	36.10	8.62	36.63	16.18	40.65	10.29	42.61	10.84	44.28	11.52	46.27	12.27	47.61	13.39	49.52	13.59	50.99	12.96	52.96	10.62	55.40	13.27	55.39	10.78	54.38	
-325	43	26.19	26.19	28.01	28.01	30.47	30.47	32.32	32.32	33.44	33.44	34.75	34.75	35.34	35.34	36.53	36.53	37.40	37.40	40.00	40.00	44.78	44.78	42.12	42.12	43.60	43.60	
TOTAL		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00

GRANULOMETRIAS DE LAS DESCARGAS EN LA SERIE : VARIACION EN LA VELOCIDAD DE TRABAJO



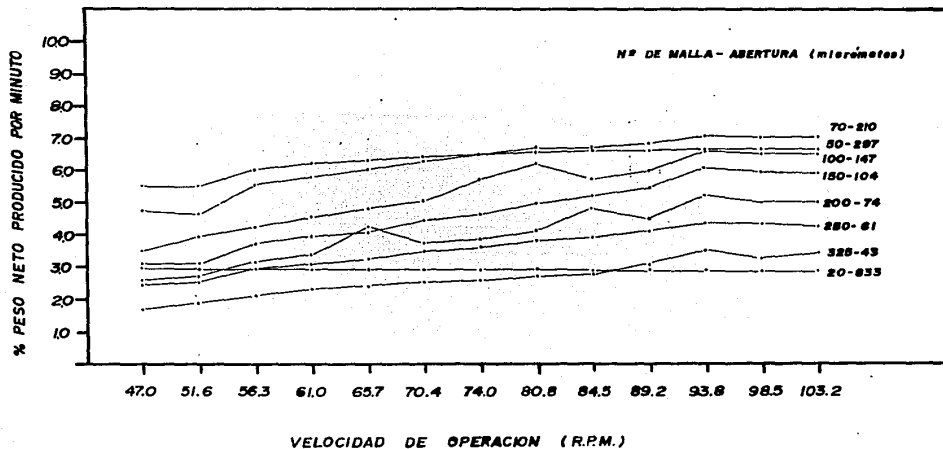
PESOS NETOS PRODUCIDOS EN LAS PRUEBAS CORRESPONDIENTES A LA SERIE:
 VARIACION DE LA VELOCIDAD DE OPERACION.

PRODUCTO	TAMANO	PORCIENTO EN PESO NETO PRODUCIDO POR MINUTO												
	MICROMETROS	47.0	51.6	56.3	61.0	65.7	70.4	74.0	80.8	84.5	89.2	93.8	98.5	103.2
VELOCIDAD DE OPERACION RPM														
-20 +50	833	2.860	2.860	2.660	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860
-50 +70	297	5.473	5.439	5.975	6.195	6.314	6.386	6.443	6.543	6.569	6.600	6.648	6.647	6.646
-70 +100	210	4.718	4.494	5.494	5.761	5.994	6.241	6.448	6.647	6.716	6.823	7.041	7.016	7.040
-100+150	147	3.452	3.910	4.176	4.479	4.803	4.991	5.674	6.160	5.720	5.955	6.559	6.489	6.507
-150+200	104	3.045	3.048	3.646	3.895	4.046	4.374	4.558	4.922	5.143	5.386	6.047	5.935	5.926
-200+250	74	2.554	2.702	3.114	3.322	4.171	3.719	3.832	4.072	4.785	4.471	5.173	4.995	5.029
-250+325	61	2.410	2.463	2.865	3.061	3.228	3.427	3.561	3.792	3.899	4.096	4.340	4.339	4.238
-325	43	1.638	1.820	2.066	2.251	2.363	2.494	2.553	2.672	2.759	3.019	3.497	3.231	3.379

CUADRO No. 6.25

- 10 -

% PESOS NETOS PRODUCIDOS POR MINUTO EN LA SERIE : VARIACION DE LA VELOCIDAD DE TRABAJO



Gráfica — 6.14

6.3.3 VARIACION DE LA CARGA EN LA ALIMENTACION

Esta serie tiene la finalidad de encontrar el grado de llenado de los espacios huecos que presentan las bolas, con el cual se eleve la capacidad del proceso. Para ésto, es necesario hacer las pruebas con cargas de mineral ligeras (que no llenen los huecos), y con cargas elevadas (que excedan este volumen).

Los parámetros constantes de esta serie se mencionan a continuación:

C O N C E P T O	D A T O
Carga de bolas	12,213.8 g
Dilución agua : mineral	0.6:1
Velocidad de operación	70.4 rpm (75% Vc)
Carga del mineral	Variable
Tiempo de molienda	10 minutos

CUADRO No. 6.26

El Cuadro No. 6.28, y la Gráfica No. 6.15 corresponden a la serie en cuestión. Se tiene que el volumen de los huecos que presentan las bolas es de 1046 centímetros cúbicos, los cuales deberán estar ocupados con la pulpa para moler.

A partir de la densidad del material $d_{min} = 2.65$ es conveniente calcular el volumen correspondiente a distintas cargas de mineral, para la dilución de trabajo 0.6:1 .

CARGA DE MINERAL (GRAMOS)	VOLUMEN DE LA PULPA (CC)
500	489
600	586
700	684
800	782
900	880
1000	977
1100	1075
1200	1173
1300	1271
1400	1368

CUADRO No. 6.27

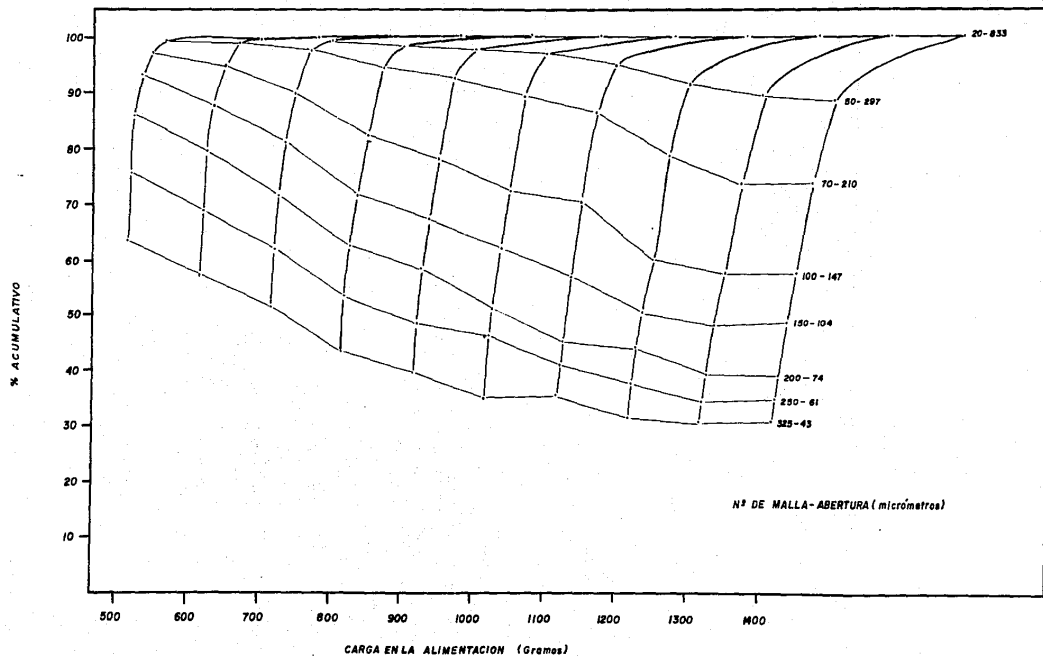
Conviene aclarar que estos valores varían de acuerdo al material del que se trate, ya que es una función de la densidad, y por lo tanto, deberá ser calculado para cada caso.

Los resultados de estas operaciones se reportan en los Cuadros No. 6.28 6.29 y las Gráficas 6.15 y 6.16, en los cuales se puede observar un exceso de finos y de gruesos en los extremos de las gráficas, estos valores no son convenientes puesto que se está reflejando un exceso de lamas que incrementa el consumo de reactivos en la siguiente etapa del proceso de beneficio y un exceso de gruesos que puede significar una falta de liberación de los materiales valiosos.

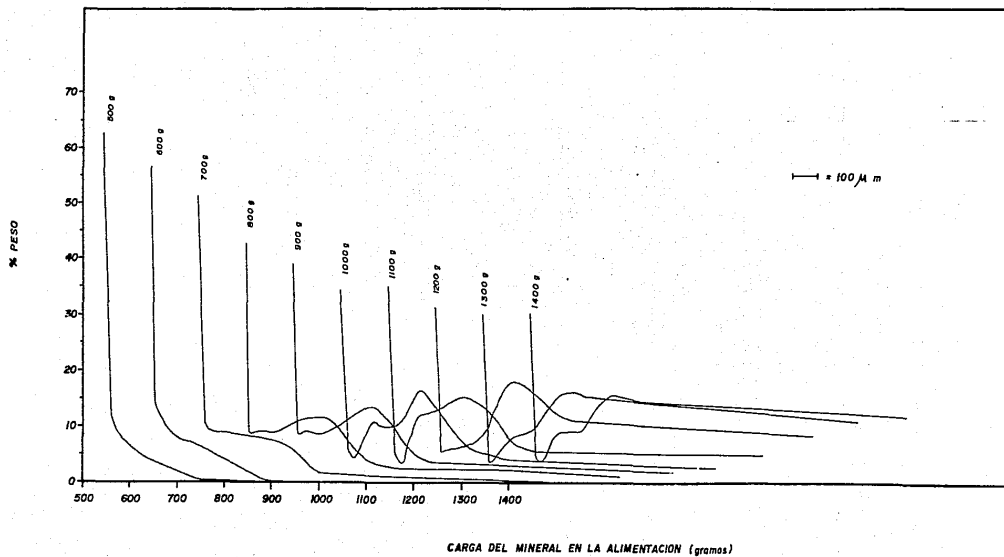
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA DESCARGA DE LAS PRUEBAS CORRESPONDIENTES A LA SERIE : VARIACION DE LA CARGA EN LA ALIMENTACION

ALIMENTACION		500 g		600 g		700 g		800 g		900 g		1000 g		1100 g		1200 g		1300 g		1400 g		
PRODUCTO	TAMANO MICROMETROS	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	
-20 +50	833	0.18	100.00	0.33	100.00	0.59	100.00	1.59	100.00	2.29	100.00	3.14	100.00	5.17	100.00	8.61	100.00	11.23	100.00	11.85	100.00	
-50 +70	297	0.43	99.82	0.87	99.67	1.84	99.41	4.12	98.41	5.39	97.71	7.83	96.86	8.56	94.83	12.98	91.39	15.09	88.77	14.55	88.15	
-70 +100	210	2.33	99.39	4.27	98.80	8.01	97.57	12.03	94.29	14.26	92.32	17.24	89.03	15.98	96.27	18.78	78.41	16.34	73.68	16.05	73.60	
-100+150	147	4.24	97.06	7.22	94.53	8.63	89.56	10.66	82.26	10.95	78.06	9.79	71.79	13.35	70.29	9.09	59.63	9.23	57.34	9.16	57.55	
-150+200	104	6.80	92.82	7.91	87.31	9.36	80.93	9.24	71.60	8.86	67.11	11.11	62.00	12.10	56.94	6.63	50.54	6.87	48.11	9.48	48.39	
-200+250	74	10.45	86.02	10.81	79.40	9.49	71.57	9.65	62.36	9.97	58.25	4.62	50.89	3.81	44.84	6.29	43.91	5.05	39.24	4.24	38.91	
-250+325	61	12.22	75.57	11.80	68.59	10.40	62.08	9.17	52.71	8.72	48.28	11.52	46.27	5.53	41.03	6.16	37.62	3.70	34.19	4.05	34.67	
-325	43	63.35	63.35	56.79	56.79	51.68	51.68	43.54	43.54	39.56	39.56	34.75	34.75	35.50	35.50	31.46	31.46	30.39	30.49	30.62	30.62	
TOTAL		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00

GRANULOMETRIAS DE LAS DESCARGAS EN LA SERIE: VARIACION DE LA CARGA EN LA ALIMENTACION



DISTRIBUCION DE PESOS DE LAS DESCARGAS EN LA SERIE : VARIACION DE LA CARGA EN LA ALIMENTACION

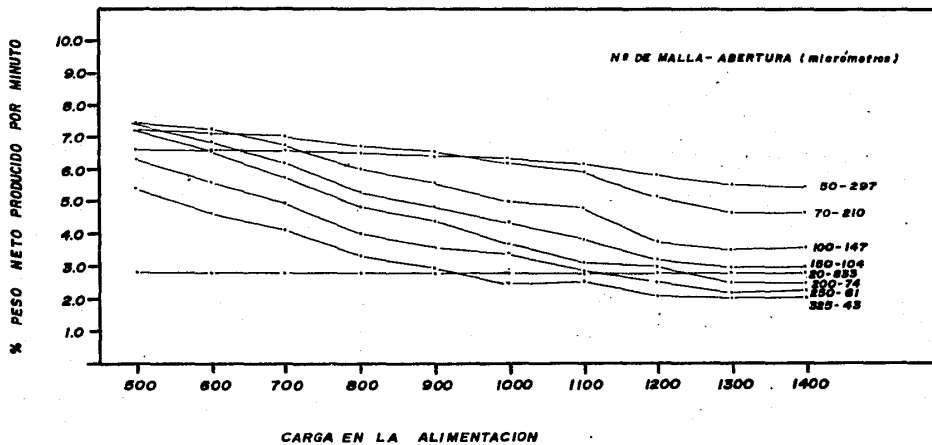


PESOS NETOS PRODUCIDOS EN LAS PRUEBAS CORRESPONDIENTES A LA SERIE :
 VARIACION DE LA CARGA EN LA ALIMENTACION

PRODUCTO	TAMANO MICROMETROS	PORCIENTO EN PESO NETO PRODUCIDO POR MINUTO										
		CARGA DE MINERAL	500 g	600 g	700 g	800 g	900 g	1000 g	1100 g	1200 g	1300 g	1400 g
-20 +50	833		2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860
-50 +70	297		6.682	6.667	6.641	6.541	6.471	6.386	6.183	5.839	5.577	5.515
-70 +100	210		7.277	7.218	7.095	6.767	6.570	6.241	5.965	5.179	4.706	4.698
-100+150	147		7.518	7.265	6.768	6.038	5.618	4.991	4.841	3.775	3.546	3.567
-150+200	104		7.456	6.905	6.267	5.334	4.885	4.374	3.868	3.228	2.985	3.013
-200+250	74		7.232	6.570	5.787	4.866	4.455	3.719	3.114	3.021	2.554	2.521
-250+325	61		6.357	5.659	5.008	4.071	3.628	3.427	2.903	2.562	2.219	2.267
-325	43		5.354	4.698	4.187	3.373	2.975	2.494	2.569	2.165	2.068	2.081

CUADRO No. 6.29

% PESOS NETOS PRODUCIDOS POR MINUTO EN LA SERIE : VARIACION DE LA CARGA EN LA ALIMENTACION



Gráfica — 6.16

191

Por lo tanto, a partir de la Gráfica No. 6.17, se selecciona la correspondiente a 1100 g que es la que se apega más a una campana de gauss - en donde la distribución del material tiende a la normal.

Finalmente, se tiene que esta carga corresponde a un volumen de 1075 - cc, el cual es en 29 cc superior al volumen dejado por los huecos.

A partir de este valor, se procede a la realización de las siguientes pruebas.

6.3.4 VARIACION DEL TIEMPO DE MOLIENDA.

El tiempo de molienda varió en esta serie con la finalidad de determinar el valor óptimo, para obtener un producto que siga una distribución normal.

Este parámetro es determinado a partir de las pruebas realizadas bajo las siguientes condiciones de operación:

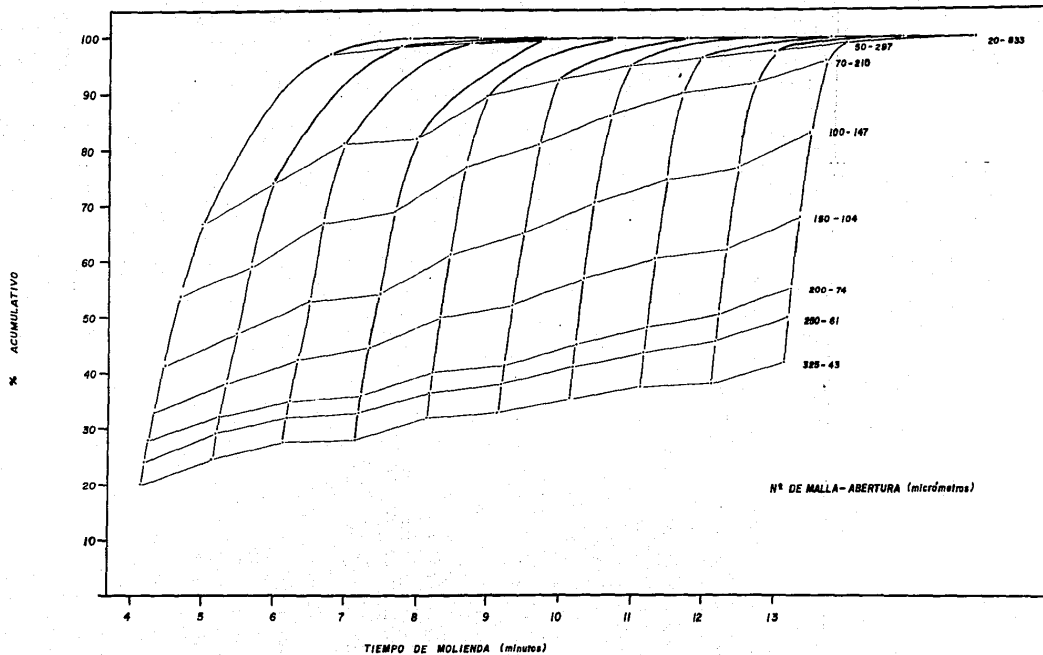
C O N C E P T O	D A T O
Carga de Bolas	12 213.8 g
Dilución agua : mineral	0.6 : 1
Velocidad de operación	70.4 rpm (75% Vc)
Carga de mineral	1100 gr
Tiempo de molienda	Variable

Cuadro No. 6.30

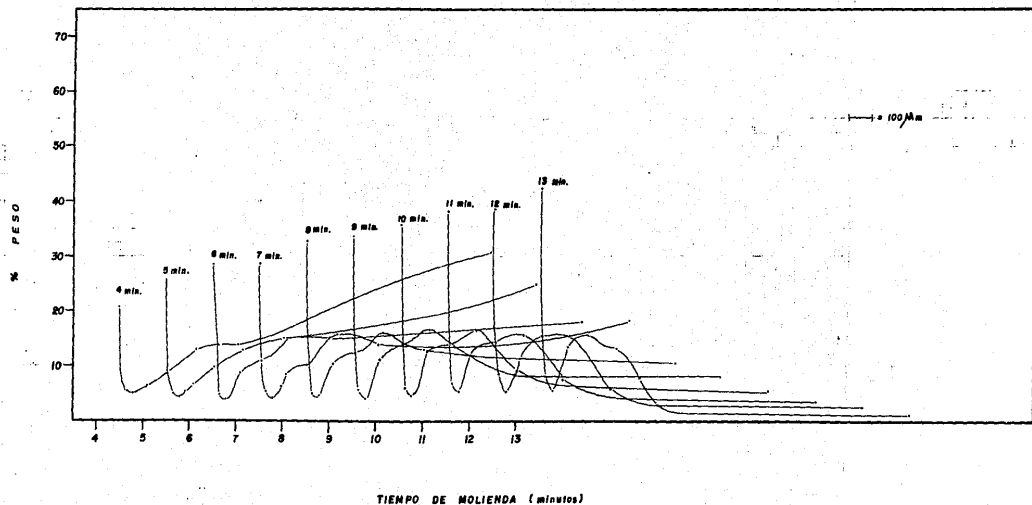
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA DESCARGA DE LAS PRUEBAS CORRESPONDIENTES A LA SERIE VARIACION DEL TIEMPO DE MOLIENDA

TIEMPO DE MOLIENDA	4 MINUTOS		5 MINUTOS		6 MINUTOS		7 MINUTOS		8 MINUTOS		9 MINUTOS		10 MINUTOS		11 MINUTOS		12 MINUTOS		13 MINUTOS			
	PRODUCTO	NICKMETROS	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)		
-14 +20	1168	2.93	100.00	1.51	100.00	0.75	100.00															
-20 +50	833	30.53	97.07	24.67	98.49	17.72	99.25	17.81	100.00	10.57	100.00	7.65	100.00	5.17	100.00	3.37	100.00	2.47	100.00	1.14	100.00	
-50 +70	297	13.04	66.54	14.56	73.82	14.33	81.53	13.23	82.19	12.54	89.43	11.33	92.35	8.56	94.83	6.84	96.63	5.69	97.53	2.67	98.86	
-70 +100	210	12.10	53.50	12.00	59.26	14.42	67.20	15.13	68.86	15.63	76.89	16.15	81.02	15.98	86.27	15.21	89.79	15.09	91.84	12.78	96.19	
-100+150	147	7.75	41.40	8.98	47.26	10.18	52.78	9.43	53.73	11.41	61.26	12.94	64.87	13.35	70.29	14.16	74.58	14.99	76.75	15.16	83.41	
-150+200	104	5.58	33.65	6.14	38.28	7.82	42.60	8.02	44.30	9.66	49.85	10.48	51.93	12.10	56.94	12.17	60.42	11.10	61.76	13.26	88.25	
-200+250	74	3.78	28.07	3.31	32.14	3.02	34.78	3.44	36.28	3.60	40.19	3.31	41.45	3.81	44.84	4.66	48.25	4.93	50.66	5.20	54.99	
-250+325	61	4.44	24.29	4.16	28.83	4.05	31.76	4.65	32.84	4.40	36.59	5.09	38.14	5.53	41.03	6.23	43.59	7.87	45.73	7.63	49.79	
-325	43	19.85	19.85	24.67	24.67	27.71	27.71	28.19	28.19	32.19	32.19	33.05	33.05	35.50	35.50	37.36	37.36	37.86	37.86	42.16	42.16	
TOTAL		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00

GRANULOMETRIAS DE LAS DESCARGAS EN LA SERIE: VARIACION DEL TIEMPO DE MOLIENDA.



DISTRIBUCION DE PESOS DE LAS DESCARGAS EN LA SERIE: VARIACION DEL TIEMPO DE MOLIENDA



PESOS NETOS PRODUCIDOS EN LAS PRUEBAS CORRESPONDIENTES A LA SERIE : VARIACION DEL TIEMPO DE MOLIENDA

PRODUCTO	TAMANO MICROMETROS	PORCIENTO EN PESO NETO PRODUCIDO POR MINUTO									
		TIEMPO DE MOLIENDA	4 MIN.	5 MIN.	6 MIN.	7 MIN.	8 MIN.	9 MIN.	10 MIN.	11 MIN.	12 MIN.
-20 +50	833	6.418	5.418	4.642	4.086	3.575	3.178	2.860	2.600	2.383	2.200
-50 + 70	297	8.385	8.164	8.088	7.027	7.054	6.594	6.183	5.785	5.378	5.066
-70 +100	210	6.720	6.528	6.763	6.034	6.284	6.044	5.965	5.743	5.435	5.352
-100+150	147	4.880	5.076	5.150	4.550	4.923	4.777	4.841	4.791	4.573	4.733
-150+200	104	3.848	4.004	4.057	3.720	3.949	3.741	3.868	3.833	3.625	3.845
-200+250	74	3.593	3.688	3.513	3.226	3.311	3.083	3.114	3.141	3.080	3.176
-250+325	61	3.073	3.366	3.293	2.977	3.074	2.904	2.903	2.872	2.811	2.907
-325	42	2.510	2.972	2.983	2.626	2.797	2.582	2.569	2.504	2.338	2.488

CUADRO No. 632

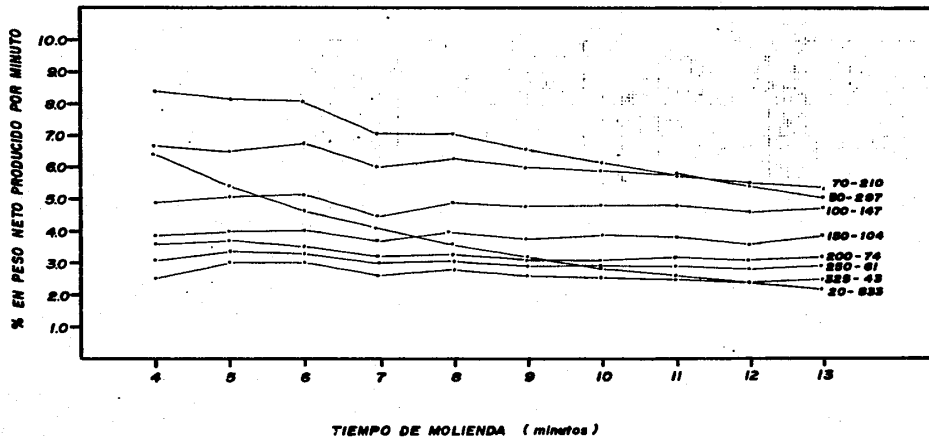
Los cuadros siguientes contienen los gramos netos obtenidos al variar el tiempo de 4 a 13 minutos.

Al observar la Gráfica No. 6.18, se tiene que el aumentar el tiempo - de molienda, la fragmentación del mineral es más difícil, por lo tanto, los gramos netos producidos decrecen y se mantienen casi constantes.

Estos resultados se reflejan en la Gráfica No. 6.19, en la cual se observan los pesos correspondientes a cada fracción de mineral para un tiempo dado; es fácil notar la producción de finos en función del tiempo y las variaciones de la curva con el mismo.

Por lo tanto, además de considerar los gramos netos producidos, se debe tomar en cuenta la granulometría del producto, de lo cual se llega a seleccionar un tiempo de 6 minutos de molienda como óptimo (en este caso particular).

% PESOS NETOS PRODUCIDOS POR MINUTO EN LA SERIE : VARIACION DEL TIEMPO DE MOLIENDA



205

6.3.5 VARIACION DEL TAMAÑO DE PARTICULA EN LA ALIMENTACION

El objeto de variar el tamaño de partícula, es determinar qué tamaño de mineral en la alimentación, es más idóneo para producir un material que siga una distribución normal en las condiciones mantenidas durante la operación.

Las pruebas se realizaron bajo las siguientes condiciones:

C O N C E P T O	D A T O
Carga de bolas	12 213 g
Dilución agua : mineral	0.6 : 1
Velocidad de operación	70.4 rpm (75% Vc)
Carga de mineral	1100 g
Tiempo de molienda	6 minutos
Tamaño del mineral en - la alimentación	Variable

CUADRO No. 6.33

Los resultados obtenidos se graficaron por separado y posteriormente se integraron las curvas en una misma grafica, en la cual se observa que cuando el mineral se alimenta en tamaños gruesos se obtienen pocas variaciones en la distribución de pesos en los productos y que entre 10 y 14 mallas (1651 y 1168 micrómetros) existe un cambio brusco para mantenerse nuevamente constante después de este tamaño. Lo anterior puede confirmarse en la Gráfica No. 6.31,

en donde el por ciento en peso neto producido durante la operación, se incrementa para el mineral alimentado a 14 mallas (1168 micróme---tros).

La Gráfica No. 6.32 de las distribuciones de peso, muestra las variaciones de estos valores en las curvas que se desplazan ya sea hacia - la parte fina, o gruesa del material.

Finalmente se observa que cuando se alimenta mineral a -14 mallas --- (-1168 micrómetros), se obtienen mejores resultados en las condicio nes empleadas que cuando se usa otro tamaño.

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA ALIMENTACION A MOLIENDA
A -6 MALLAS

PRODUCTO	TAMAÑO MICROMETROS	PESO %	% ACUM (-)
-6 +10	3327	16.62	100.00
-10 +14	1651	20.92	83.38
-14 +20	1168	21.13	62.46
-20 +50	833	20.10	41.33
-50 +70	297	3.48	21.23
-70 +100	210	3.49	17.75
-100+150	147	2.46	14.26
-150+200	104	1.64	11.80
-200+250	74	1.03	10.16
-250+325	61	1.13	9.13
-325	43	8.00	8.00
TOTAL		100.00	

CUADRO No. 6.34

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA DESCARGA
DE MOLIENDA A -6 MALLAS

PRODUCTO	TAMANOS MICROMETROS	PESO %	% ACUM. (-)
-6 +10	3327	1.58	100.00
-10 +14	1651	4.29	98.42
-14 +20	1168	6.99	94.13
-20 +50	833	21.02	87.14
-50 +70	297	9.60	66.12
-70 +100	210	10.62	56.52
-100+150	147	7.74	45.90
-150+200	104	5.73	38.16
-200+250	74	3.82	32.43
-250+325	61	3.40	28.61
-325	43	25.21	25.21
TOTAL		100.00	

CUADRO No. 6.35

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA ALIMENTACION
A MOLIENDA A -8 MALLAS

PRODUCTO	TAMANOS MICROMETROS	PESO %	% ACUM. (-)
-8 +10	2362	17.89	100.00
-10 +14	1651	20.97	82.11
-14 +20	1168	19.94	61.14
-20 +50	833	20.15	41.20
-50 +70	297	3.91	21.05
-70 +100	210	3.70	17.14
-100+150	147	2.26	13.44
-150+200	104	1.85	11.18
-200+250	74	1.52	9.33
-250+325	61	1.44	7.81
- 325	43	6.37	6.37
TOTAL		100.00	

CUADRO No. 6.36

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA DESCARGA DE MOLINDA
A -8 MALLAS

PRODUCTO	TAMAÑO		% ACUM. (-)
	MICROMETROS	PESO %	
- 8 +10	2362	1.12	100.00
-10 +14	1651	3.16	98.88
-14 +20	1168	5.58	95.72
-20 +50	833	20.37	90.14
-50 +70	297	10.14	69.77
-70 +100	210	12.28	59.63
-100+150	147	2.28	47.45
-150+200	104	4.37	39.07
-200+250	74	4.19	34.70
-250+325	61	3.91	30.51
-325	43	26.60	26.60
TOTAL		100.00	

CUADRO No. 6.37

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA ALIMENTACION A
MOLINDA A -10 MALLAS

PRODUCTO	TAMAÑO		% ACUM. (-)
	MICROMETROS	PESO %	
-10 +14	1651	16.80	100.00
-14 +20	1168	26.56	83.20
-20 +50	833	27.39	56.64
-50 +70	297	5.60	29.25
-70 +100	210	4.77	23.65
-100+150	147	3.53	18.88
-150+200	104	2.28	15.35
-200+250	74	1.66	13.07
-250+325	61	2.70	11.41
-325	43	8.71	8.71
TOTAL		100.00	

CUADRO No. 6.38

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA DESCARGA DE MOLIENDA
A -10 MALLAS

PRODUCTO	TAMANO		% ACUM. (-)
	MICROMETROS	PESO %	
-10 +20	1651	4.75	100.00
-20 +50	833	22.60	95.25
-50 +70	297	12.44	72.65
-70 +100	210	12.44	60.21
-100+150	147	8.45	47.77
-150+200	104	5.98	39.32
-200+250	74	4.27	33.34
-250+325	61	5.61	29.07
-325	43	23.46	23.46
TOTAL		100.00	

CUADRO No. 6.39

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA ALIMENTACION A
MOLIENDA A -14 MALLAS

PRODUCTO	TAMANO		% ACUM. (-)
	MICROMETROS	PESO %	
-14 +20	1168	28.60	100.00
-20 +50	833	38.40	71.40
-50 +70	297	6.38	33.00
-70 +100	210	4.74	26.62
-100+150	147	3.62	21.88
-150+200	104	4.56	18.26
-200+250	74	1.70	13.70
-250+325	61	2.19	12.00
-325	43	9.81	9.81
TOTAL		100.00	

CUADRO No. 6.40

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA DESCARGA DE MOLIENDA
A -14 MALLAS

PRODUCTO	TAMAÑO		% ACUM. (-)
	MICROMETROS	PESO %	
-20 +50	833	5.17	100.00
-50 +70	297	8.56	94.83
-70 +100	210	15.98	86.27
-100+150	147	13.35	70.29
-150+200	104	12.10	56.94
-200+250	74	3.81	44.84
-250+325	61	5.53	41.03
-325	43	35.50	35.50
TOTAL		100.00	

CUADRO No. 6.41

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA ALIMENTACION A MOLIENDA
A -20 MALLAS

PRODUCTO	TAMAÑO		% ACUM. (-)
	MICROMETROS	PESO %	
-20 .+35	833	9.44	100.00
-35 .+50	417	22.43	90.56
-50 +70	297	15.25	68.13
-70 +100	210	10.98	52.88
-100+150	147	9.34	41.90
-150+200	104	3.28	32.56
-200+250	74	4.92	29.28
-250+325	61	4.03	24.36
-325	43	20.33	20.33
TOTAL		100.00	

CUADRO No. 6.42

- 212 -
ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA DESCARGA DE MOLINENDA
A -20 MALLAS

PRODUCTO	TAMANO	PESO %	% ACUM. (-)
	MICROMETROS		
-20 +35	833	0.40	100.00
-35 +50	417	1.97	99.60
-50 +70	297	8.21	97.63
-70 +100	210	15.33	89.42
-100+150	147	8.46	74.09
-150+200	104	13.35	65.63
-200+250	74	7.96	52.28
-250+325	61	6.81	44.32
-325	43	37.51	37.51
TOTAL		100.00	

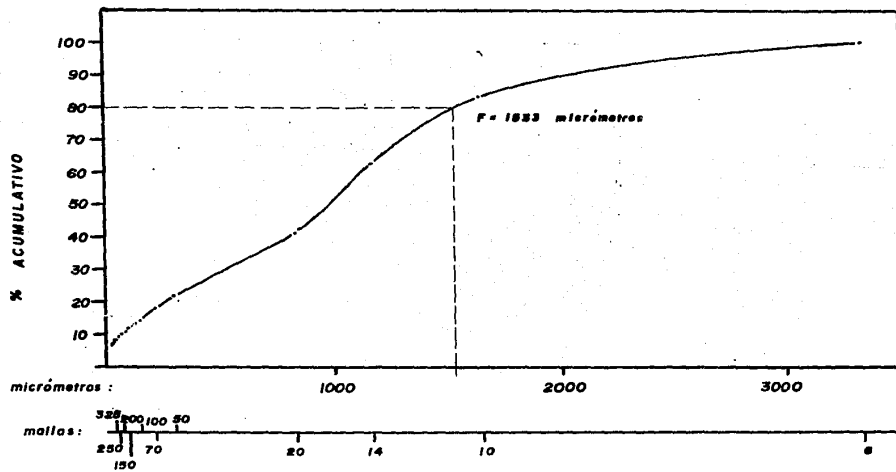
CUADRO No. 6.43

PESOS NETOS PRODUCIDOS EN LAS PRUEBAS CORRESPONDIENTES A LA SERIE :
VARIACION DEL TAMANO DE PARTICULA EN LA ALIMENTACION

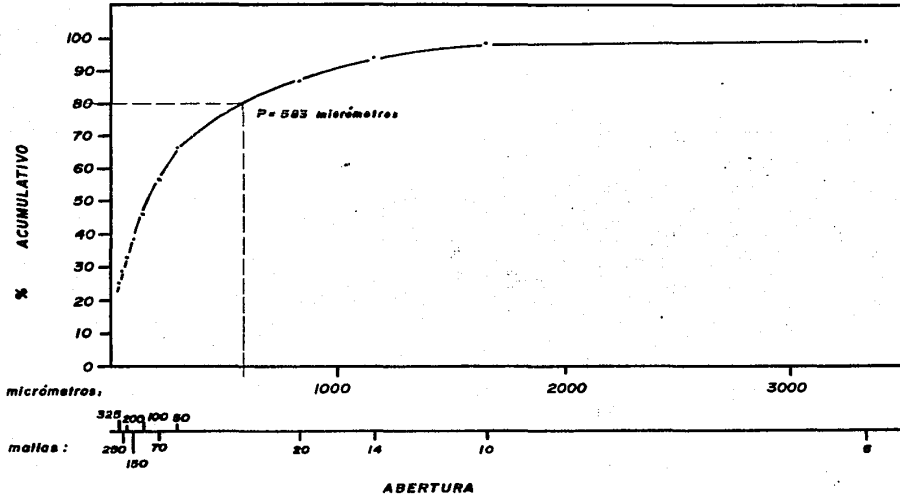
PRODUCTO	TAMANO	PORCINEITO EN PESO NETO PRODUCIDO POR MINUTO				
	MICROMETROS	-6 MALLAS	-8 MALLAS	-10 MALLAS	-14 MALLAS	-20 MALLAS
TAMANO DE ALIMENTACION						
-10 +14	1651	2.507	2.745			
-14 +20	1168	5.278	5.763			
-20 +50	833	7.635	8.157	6.435	4.767	
-50 +70	297	7.482	8.120	7.233	10.305	4.917
-70 +100	210	6.462	7.082	6.093	9.942	6.090
-100+150	147	5.273	5.652	4.815	8.068	5.365
-150+200	104	4.393	4.648	3.995	6.447	5.512
-200+250	74	3.712	4.228	3.378	5.190	3.833
-250+325	61	3.247	3.783	3.943	4.838	3.327
-325	43	2.868	3.372	2.458	4.282	2.863

CUADRO No. 6.44

GRANULOMETRIA DE LA ALIMENTACION A MOLIENDA (-6 mallas)

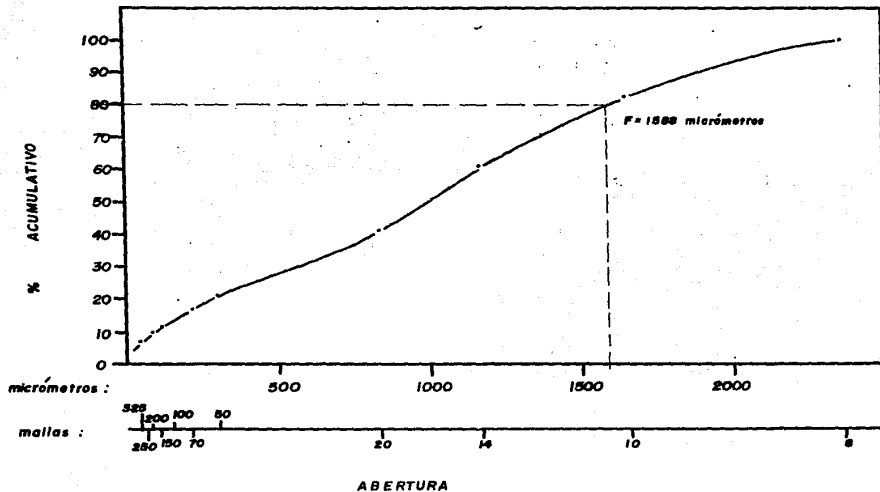


GRANULOMETRIA DE LA DESCARGA DE MOLIENDA (-6 mallas)



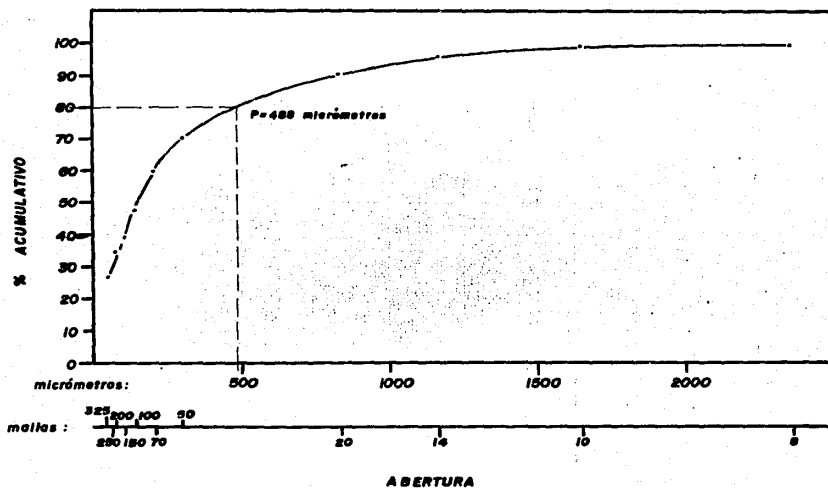
214

GRANULOMETRIA DE LA ALIMENTACION A: MOLIENDA (-8 mallas)



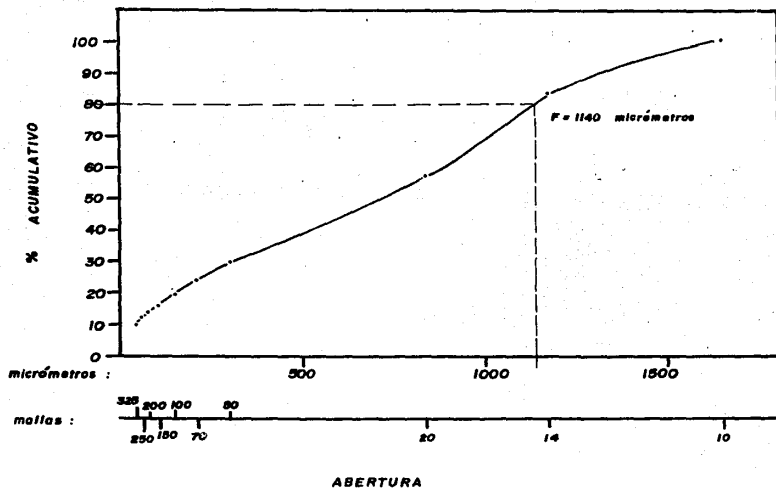
3/1

GRANULOMETRIA DE LA DESCARGA DE MOLIENDA (-8 mallas)



716

GRANULOMETRIA DE LA ALIMENTACION A MOLIENDA (- 10 mallas)

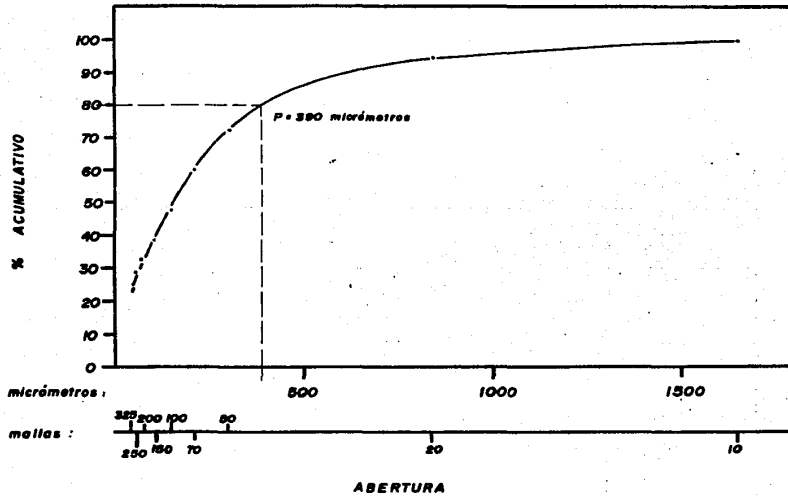


- 217 -

Gráfica — 6.25

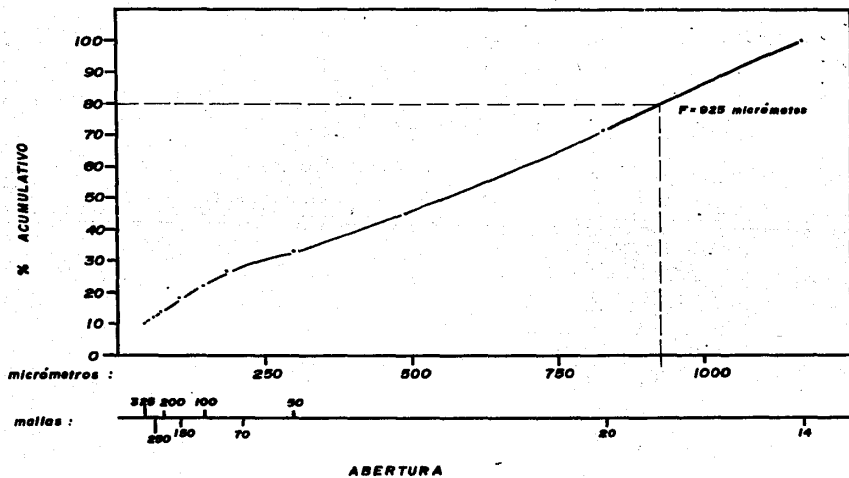
813

GRANULOMETRIA DE LA DESCARGA DE MOLIENDA (-10 mallas)

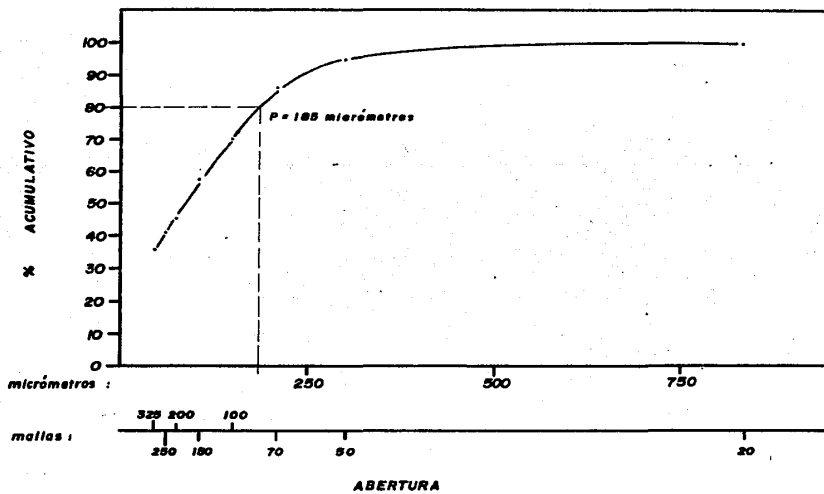


PIC

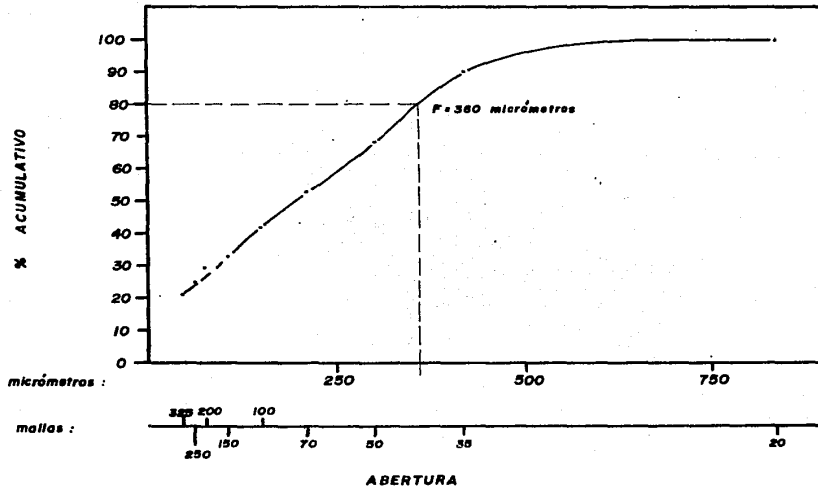
GRANULOMETRIA DE LA ALIMENTACION A MOLIENDA (-14 mallas)



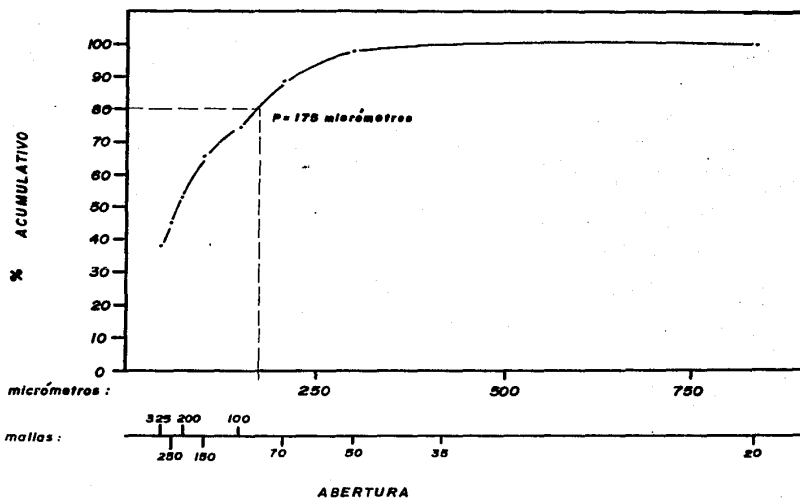
GRANULOMETRIA DE LA DESCARGA DE MOLIENDA (-14 mallas)



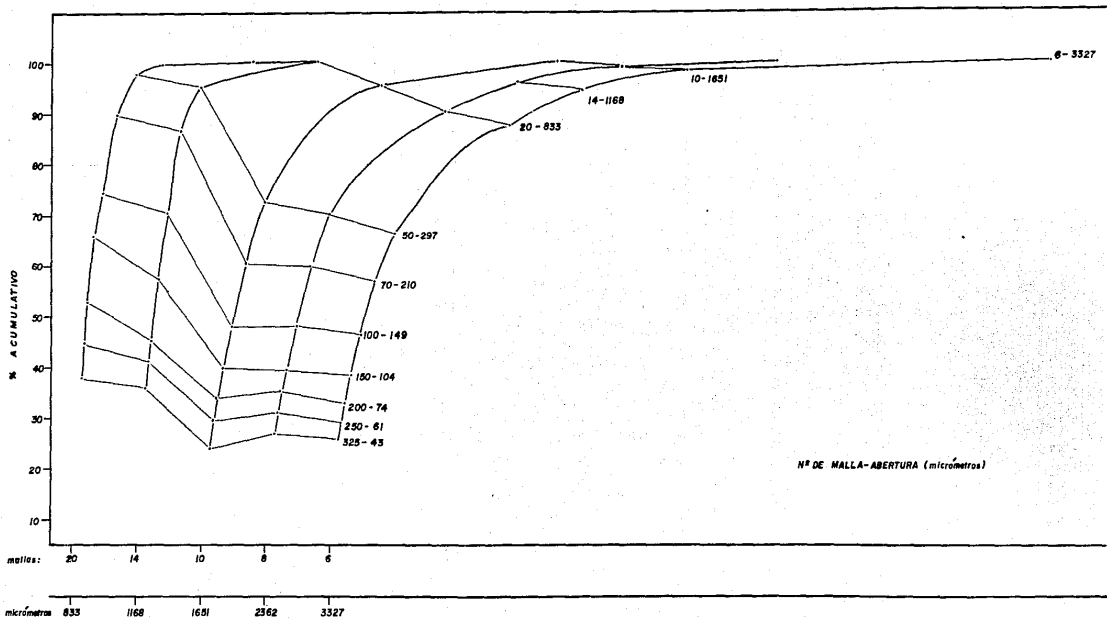
GRANULOMETRIA DE LA ALIMENTACION A MOLIENDA (-20 mallas)



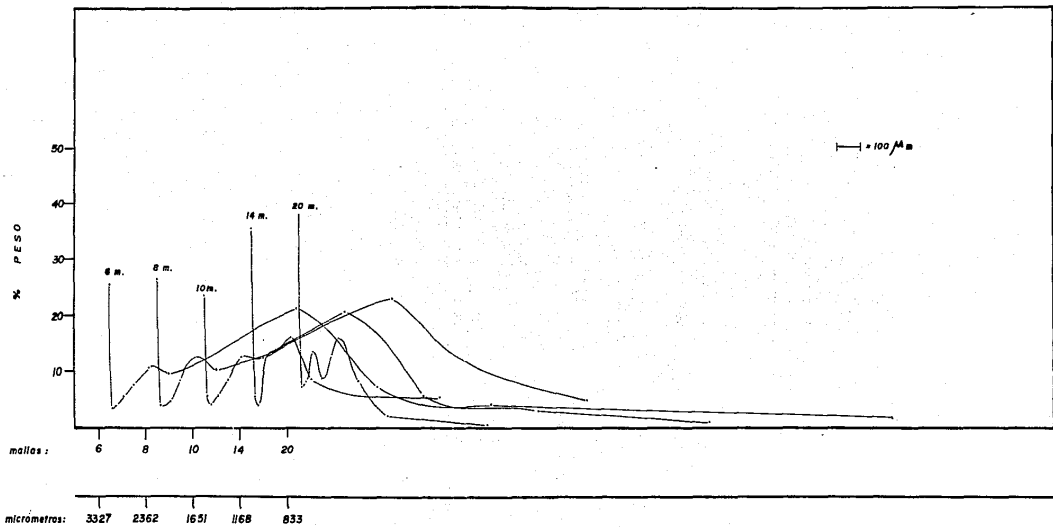
GRANULOMETRIA DE LA DESCARGA DE MOLIENDA (- 20 mallas)



GRANULOMETRIAS DE LAS DESCARGAS EN LA SERIE: VARIACION DEL TAMAÑO DE PARTICULA EN LA ALIMENTACION

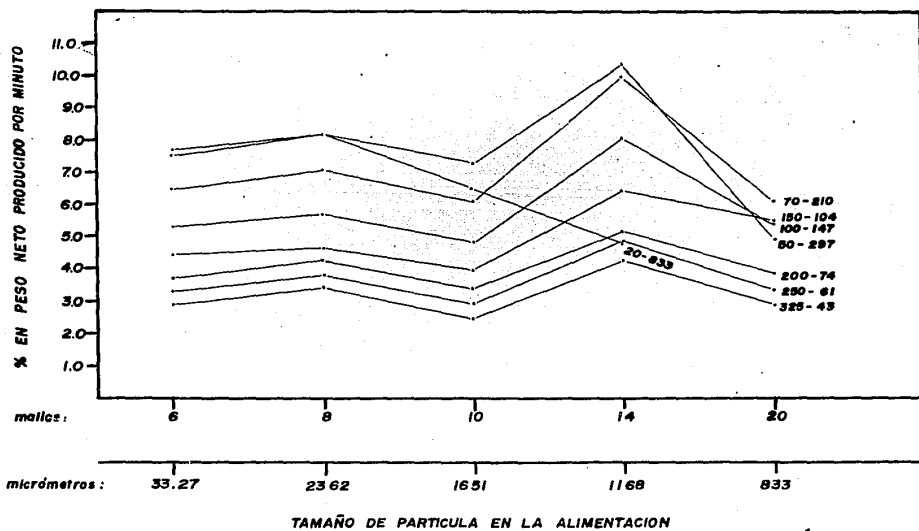


DISTRIBUCION DE PESOS DE LAS DESCARGAS EN LA SERIE: VARIACION DEL TAMAÑO DE PARTICULA EN LA ALIMENTACION



TAMAÑO DE PARTICULA EN LA ALIMENTACION

% PESOS NETOS PRODUCIDOS POR MINUTO EN LA SERIE : VARIACION DEL TAMAÑO DE PARTICULA EN LA ALIMENTACION



6.3.6 VARIACION DEL TAMAÑO DE BOLA EMPLEADO EN MOLIENDA.

El objetivo de estas pruebas es analizar el efecto que causa el empleo de bolas de un mismo tamaño en molienda, para lo cual se cambió el gradiente calculado por una carga que consiste en bolas de un sólo tamaño, respetando únicamente el peso de la carga.

En esta serie, las condiciones de operación que se mantuvieron constantes se indican en el siguiente cuadro:

C O N C E P T O	D A T O
Carga de bolas	Variable en la serie
Dilución agua : mineral	0.6 : 1
Velocidad de operación	70.4 rpm (75% Vc)
Carga de mineral	1100 g
Tiempo de molienda	10 minutos
Tamaño del mineral en - la alimentación	-14 mallas (1168 -- micrómetros)
Tamaño de bola empleado	Variable en la serie

CUADRO No. 6.45

A causa de los pesos individuales de las bolas en tamaños grandes, la carga de bolas no pudo ser ajustada exactamente a la calculada (12 - 213 g) por lo tanto, sólo se aproximó a la misma, los pesos en cada prueba se anotan a continuación:

DIAMETRO DE BOLA EMPLEADO		CARGA DE BOLAS GRAMOS
PULGADAS	MILIMETROS	
7/8"	22.23	12 205
1 1/8"	28.58	12 193
1 1/4"	31.75	12 194

CUADRO No. 6.46

Las Gráficas No. 6.34, 6.35 y 6.36, indican que si el tamaño de bolas empleado decrece, hay un ligero incremento en la producción de mineral fino, y las partículas gruesas no son alteradas notoriamente.

Con el objeto de comparar los resultados obtenidos con el correspondiente al gradiente de bolas calculado inicialmente, (C.B.) se graficaron los pesos netos producidos en ambos casos; la gráfica que contiene estos datos indica que la variación es pequeña e incluso en algunos puntos los valores son menores.

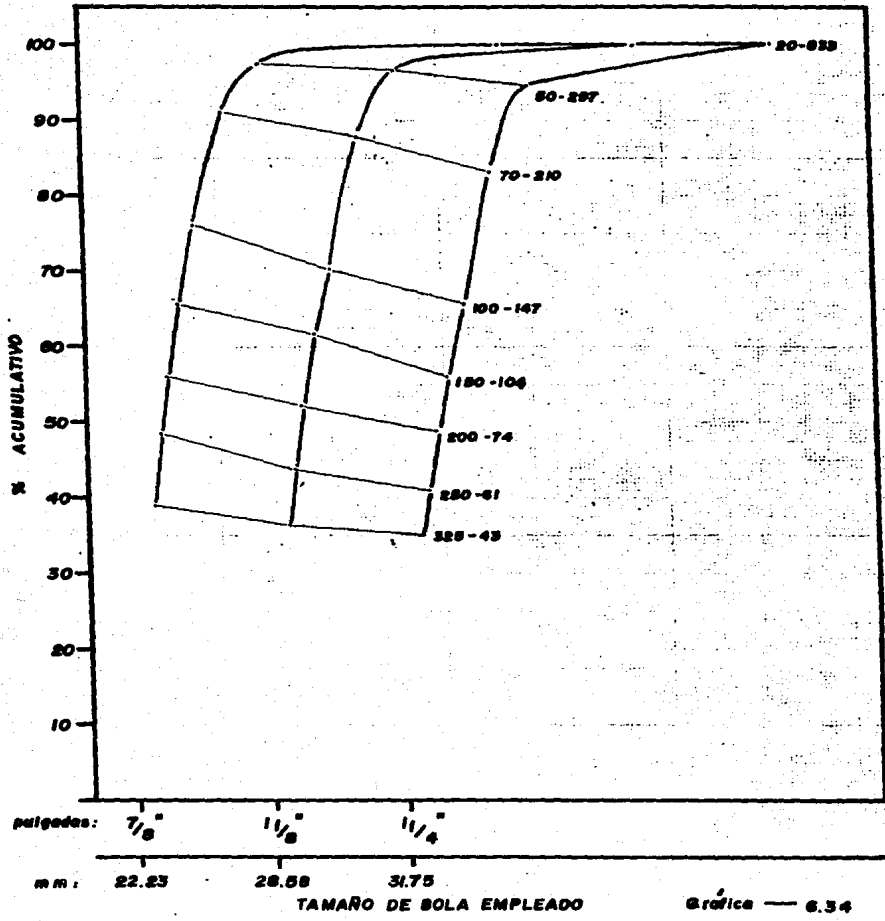
TAMANO DE BOLA		7/8" -		1 1/8" -		1 1/4" -	
PRODUCTO	MICROMETROS	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)	PESO %	% ACUM. (-)
-20 +50	833	2.70	100.00	3.24	100.00	5.34	100.00
-50 +70	297	6.24	97.30	9.08	96.76	11.73	94.66
-70 +100	210	15.13	91.06	17.66	87.68	17.50	82.93
-100+150	147	10.54	75.93	8.44	70.02	9.31	65.43
-150+200	104	9.49	65.39	9.42	61.58	7.42	56.12
-200+250	74	7.39	55.90	8.51	52.16	7.62	48.70
-250+325	61	9.53	48.51	7.41	43.65	6.19	41.08
-325	43	38.98	38.98	36.24	36.24	34.89	34.89
TOTAL		100.00		100.00		100.00	

CUADRO No. 6.47

PRODUCTO	TAMANO	PORCIENTO EN PESO NETO PRODUCIDO POR MINUTO			
	MICROMETROS	7/8" - 22.23	1 1/8" - 28.58	1 1/4" - 31.75	C.B.
TAMANO DE BOLA (in-min)					
-20 + 50	833	2.860	2.860	2.850	2.860
-50 + 70	297	6.430	6.376	6.166	6.183
-70 +100	210	6.444	6.106	5.631	5.965
-100+150	147	5.405	4.814	4.355	4.841
-150+200	104	4.713	4.332	3.786	3.868
-200+250	74	4.220	3.846	3.500	3.114
-250+325	61	3.651	3.165	2.908	2.903
-325	43	2.917	2.643	2.508	2.569

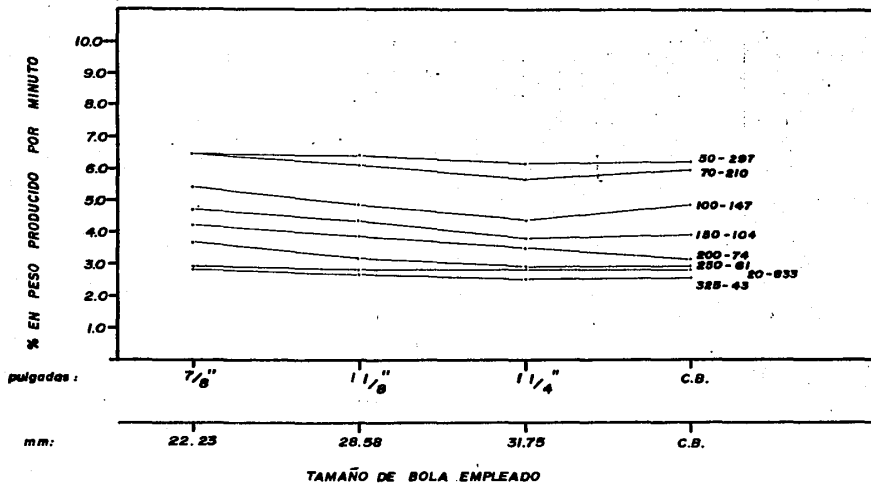
CUADRO No. 6.48

GRANULOMETRIAS DE LAS DESCARGAS EN LA SERIE, VARIACION DEL TAMAÑO DE BOLA EMPLEADO EN MOLIENDA



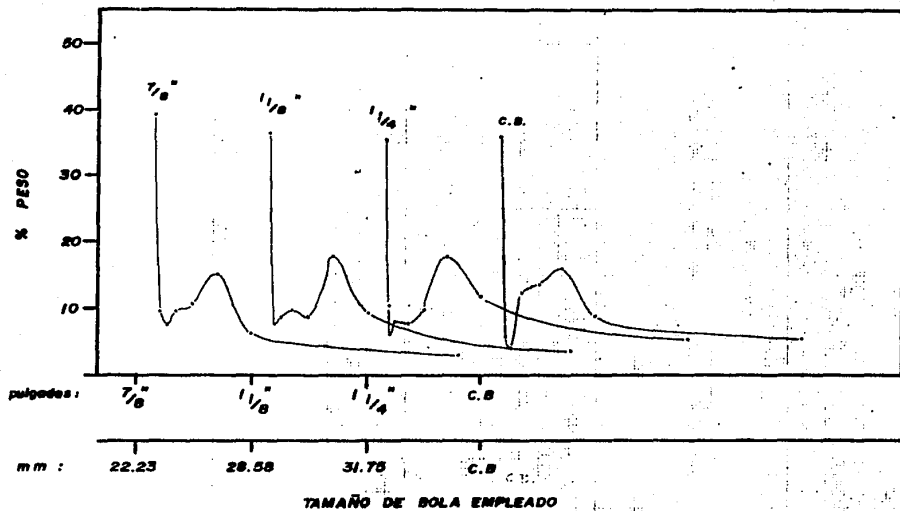
TAMAÑO DE BOLA EMPLEADO

% PESOS NETOS PRODUCIDOS POR MINUTO EN LA SERIE . VARIACION DEL TAMAÑO DE BOLA EMPLEADO EN MOLIENDA



Grafica — 6.35

DISTRIBUCION DE PESOS DE LAS DESCARGAS EN LA SERIE: VARIACION DEL TAMAÑO DE BOLA EMPLEADO EN MOLIENDA



023

Finalmente, la Gráfica No. 6.36 que presenta las distribuciones de los pesos, muestra cómo se desplazan las curvas hacia los productos-gruesos en las pruebas realizadas con un sólo tamaño de bola y en el caso de la carga con el gradiente calculado, se observa una mejor -- distribución de los pesos.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

7. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

La finalidad de este capítulo es concluir los resultados obtenidos durante la experimentación y establecer algunas ideas que permitan optimizar el proceso de molienda.

Los parámetros estudiados en la experimentación influyen en el consumo de energía, acero y revestimientos de los equipos por lo que se trata de precisar el efecto de cada uno de ellos en el proceso.

La interacción de estos factores se refleja en la disminución de la capacidad, mal aprovechamiento de la energía consumida y elevados desgastes de los medios de molienda.

Para facilitar la interpretación de los resultados, se presentan todas las curvas correspondientes a cada serie en una sola gráfica y se unen los puntos equivalentes a los tamaños de partícula empleados en la determinación granulométrica del mineral.

La unión de las curvas permite detectar con facilidad la tendencia del mineral con la variación de los parámetros, así mismo se localizan fácilmente aquellos datos que se encuentran alejados del comportamiento del material.

La distorsión de los puntos puede ser el resultado de:

- Una proporción mayor de partículas gruesas en el mineral alimenta-

do, debido a una segregación en el material o un error en el muestreo.

- Un error en la determinación de la granulometría del producto.
- Error en la determinación del peso de las fracciones del producto.
- Pérdidas del material al ser transferido del molino al recipiente.

También se presentan los valores de los gramos netos producidos por minuto durante la molienda: este dato da una idea de las capacidades obtenidas en las pruebas y sirve para determinar la tendencia del comportamiento del material.

A continuación se analizan con detalle los parámetros estudiados, la secuencia empleada en la experimentación es tomada como base para el desarrollo del capítulo.

1.) DILUCION

En el proceso de molienda húmeda existe una dilución denominada "Dilución óptima", fuera de la cual la eficiencia de molienda disminuye -- claramente.

Si se analiza la serie correspondiente, se tiene que cuando la dilución de la pulpa es baja, la elevada concentración de sólidos dificulta que exista un buen flujo dentro de los intersticios de las bolas. Si la fluidez es mayor pero siempre se trata de tener una pulpa lo -- más densa posible se incrementa la proporción de sólidos susceptibles de ser molidos, esto sucede cuando los intersticios entre las bolas -- se encuentran completamente llenos.

En estas condiciones la absorción de potencia y el trabajo útil de molienda son máximos.

Por otro lado, una dilución alta provoca que el tiempo de residencia de la pulpa en el molino se reduzca aumentando en la descarga la segregación de material grueso, la molienda en este caso no es efectiva.

Las diluciones elevadas impiden la formación de una película alrededor de las bolas y entre ellas y el cuerpo del molino; esto produce el efecto llamado "lavado" de los cuerpos molidores, en este caso sólo se produce un desgaste de acero sin trabajo útil de molienda y la potencia se disipa como energía calorífica.

El rango estudiado para las diluciones de pulpa fue de 0.4:1 a 1.1:1; y en las gráficas se observa una dilución de 0.6:1 los valores de los pesos netos producidos por minuto son mayores que para el resto de las diluciones.

Con respecto a los resultados de esta serie se puede observar que una dilución baja o una elevada no mejoran la eficiencia en la operación; por tanto, se tomó el valor de 0.6:1 como óptimo para el mineral empleado.

Como consecuencia de lo anterior se recomienda hacer una evaluación de la eficiencia del proceso de molienda para determinar el porcentaje de sólidos adecuado o la dilución óptima para cada mineral en particular y conocido este valor mantenerlo durante la operación.

2.) VELOCIDAD DE OPERACION

El efecto que tiene este factor sobre la molienda es muy sencillo de establecer, como se observa en los resultados obtenidos, para una velocidad baja el escaso movimiento de los cuerpos moledores proporciona un grado de molienda bajo y la eficiencia disminuye.

Por lo tanto, si se busca elevar la eficiencia en la operación es necesario incrementar la velocidad. Es conveniente que no se eleve demasiado porque entonces se incrementaría el desgaste de los medios de molienda y la demanda de energía.

Las Gráficas No. 6.13 y 6.14 indican claramente el incremento en la producción de gramos netos con el aumento de la velocidad, ésto significa también una elevada producción de partículas finas en el material. Una elevada cantidad de material fino significa altos consumos de reactivos en flotación.

Si la velocidad está por debajo del 70% de la velocidad crítica, la molienda se produce en menor escala y la liberación que se alcanza no es suficiente para el proceso de concentración.

De acuerdo a lo anterior, se debe seleccionar una velocidad con la cual se obtenga una máxima eficiencia y capacidad y menor consumo de las bolas.

La Gráfica No. 6.14 permite observar que los pesos netos producidos - se incrementan en proporción directa con la velocidad. El rango estudiado es de 47 a 103 rpm, es decir de 50 a 110 por ciento de la velocidad crítica.

La eficiencia máxima medida por la velocidad relativa de caída de la bola a su punto de impacto, se obtiene cuando la velocidad del molino corresponda al 75% de la velocidad crítica, esto es cuando las bolas suben hasta un punto aproximado a los 45° sobre la horizontal y el ángulo de radio correspondiente al punto de despeque de la pared circular con la horizontal es de 36°.

Por lo anterior, la velocidad considerada en esta serie fue la correspondiente al 75% de la velocidad crítica (70.4 rpm).

3.) CARGA DE MINERAL

El volumen de la pulpa no debe exceder el volumen de los huecos que - existen entre las bolas, esta es una regla que siempre se debe considerar. Por lo tanto, el volumen de materia presente en el molino es una función de la carga de bolas.

Anteriormente, se mencionó que un molino es una máquina que opera -- con un consumo constante de potencia sin importar si el molino trabaja a plena capacidad o a mínima capacidad.

En las pruebas realizadas se obtienen valores mayores de los gramos netos producidos cuando se trabaja con cargas pequeñas de mineral, esto no es conveniente a nivel industrial porque reduce la capacidad del equipo y por lo tanto, la de la planta.

Para la determinación de la carga óptima se recurrió a la gráfica de las distribuciones en peso de las descargas de las pruebas; en esta selección se pretende tomar aquel material que presente una distribución normal y que cubra el espacio dejado por los huecos de las bolas.

La Gráfica No. 6.16 muestra como los pesos netos producidos por minuto varían inversamente proporcionales a la carga de material alimentado. Las variaciones en la carga alimentada cubrieron el rango desde 500 hasta 1400 g.

La Gráfica No. 6.17 en la cual se representan las distribuciones de pesos permite determinar que con una carga de 1100 g. de material se obtiene un producto cuya distribución granulométrica es semejante a la normal.

En resumen se puede decir que la carga óptima es aquella con la cual se puedan llenar los intersticios de las bolas, ya que si la carga es superior, existirán partículas con una baja probabilidad de ser molidas produciendo finalmente un material con una gran proporción de partículas gruesas.

4.) TIEMPO DE MOLIENDA.

Este factor es determinante en la operación, debido a que si los tiempos de residencia de la pulpa dentro del equipo son pequeños, no se tendrá un material con la granulometría deseada.

La selección del valor óptimo del tiempo de molienda se realiza con la ayuda de las gráficas de las capacidades y las distribuciones de pesos de las descargas, para obtener un producto con una granulometría que se apegue a la distribución normal.

La capacidad y la granulometría en la descarga son dos factores que se encuentran ligados estrechamente con el tiempo de molienda, ya que si el producto que se busca debe ser fino, el tiempo de molienda se incrementa y decrece la capacidad. De forma análoga, si la descarga es a tamaños gruesos, el tiempo necesario para producirla se reduce y la capacidad aumenta. Por lo tanto, es conveniente establecer el tamaño de partícula que se desea en la descarga para determinar el tiempo de molienda que lo produzca.

Las Gráficas Nos. 6.18 y 6.19 representan el porcentaje acumulado y los pesos netos producidos respectivamente en función del tiempo de molienda para un rango de 4 a 13 minutos.

El porcentaje acumulado es directamente proporcional al tiempo de molienda, por el contrario el peso neto producido en función del tiempo

muestra una proporcionalidad inversa a partir de los 6 minutos de molienda.

Al alcanzar los 6 minutos de molienda la capacidad disminuye al aumentar el tiempo, debido a que el material presenta mayor resistencia a la conminución como una consecuencia de que el tamaño de las partículas se está acercando al tamaño natural de grano.

5.) TAMAÑO DE PARTICULA EN LA ALIMENTACION.

Debido a que todos los minerales son diferentes, el comportamiento de los mismos varía para cada uno de ellos. Es por eso que el tamaño de las partículas en la alimentación es una función de una serie de factores como son: La densidad del mineral, el índice de trabajo del mismo, el tamaño máximo de las bolas en el molino, etc.

La Gráfica No. 6.31 indica que cuando la alimentación tiene un tamaño de partícula mayor que el calculado para ser molido por el diámetro máximo de bola, se produce una molienda deficiente en las fracciones gruesas.

Por lo tanto entre las mallas 10 y 14 existe un decremento notable en el porcentaje acumulativo producido.

También se presenta una disminución en la capacidad de la malla 20 como resultado de la cercanía que existe entre el tamaño de la partícula y el tamaño natural de grano para este material en particular.

Las condiciones de operación que se mantuvieron en el trabajo experimental, indican que el tamaño óptimo para el mineral en la alimentación es a 14 mallas (1168 micrómetros).

El valor calculado debe ser mantenido durante la operación para evitar que se produzca un material cuya granulometría no sea la recomendable de emplear en el paso posterior del proceso de beneficio.

6.) TAMAÑO DE BOLAS

El tamaño de las bolas es un factor importante debido a que es el que determina la granulometría de la descarga. Si se tiene una carga de bolas de tamaños grandes, se produce una buena molienda para las mallas gruesas y una cantidad elevada de finos, que provocan problemas en los procesos posteriores.

Para cargas de bolas de tamaño menor, la molienda que se realiza no es eficiente para las partículas gruesas, causando problemas en los equipos empleados en el circuito; en este caso se incrementa el desgaste de los repuestos en los equipos auxiliares.

En la Gráfica No. 6.34 se observa que cuando se tiene una carga con tamaños menores de bola hay mayor producción de finos.

Por otro lado se aprecia que no existe una diferencia significativa en el peso neto producido cuando se trabaja con un gradiente de bolas

o con una carga de bolas de un mismo tamaño, esto posiblemente se debe al tiempo reducido de molienda con lo cual no se pudo observar una diferencia significativa.

Sin embargo las cargas de bolas en molienda deben estar apegadas a un gradiente que se forma durante la operación, ya que a nivel industrial el tamaño consumido se repone con bolas de diámetro máximo y nunca opera un molino con bolas de un mismo tamaño.

Los gradientes de bolas presentan la ventaja de aumentar el número de puntos de contacto para la realización de la molienda.

De acuerdo al análisis anterior, no debe permitirse que las bolas empleadas tengan tamaños diferentes a los necesarios para la operación, estas diferencias son la causa de grandes problemas que perjudican el proceso.

7.) VOLUMEN DE LA CARGA MOLEDORA

La carga moledora es un parámetro que está en función del diámetro de la boca de descarga del molino, cuando la descarga del mismo es por derrame. Si la descarga se realiza de otra forma, puede llegar a ocupar valores superiores.

Debe evitarse que la carga moledora sobre-pase el 50% del volumen in terno del molino debido a que la eficiencia de la operación empieza a disminuir.

Por lo tanto, si se desea optimizar el circuito de molienda, se debe determinar la carga de bolas óptima y mantenerla constante durante la operación.

**CALCULO DE EQUIPOS INDUSTRIALES BASADOS EN DATOS EXPERIMENTALES A
NIVEL LABORATORIOS**

8. CALCULO DE EQUIPOS INDUSTRIALES BASADOS EN DATOS EXPERIMENTALES A NIVEL LABORATORIO.

La conminución de los minerales es generalmente una preparación de los mismos para el siguiente proceso; esta es una fase de fragmentación fina, la cual requiere de elevadas inversiones. Debido a que la molienda clásica se lleva a cabo por una combinación de impacto, atrición y abrasión para obtener un producto de tamaño de grano específico, el consumo de medios molidores es considerable, por lo cual en ocasiones se emplean molinos de guijarros o autógenos.

La capacidad de los molinos también es importante, puesto que en algunas ocasiones ésta llega a determinar la capacidad en las plantas de beneficio.

La capacidad es un parámetro que se ve afectado por distintos factores que intervienen durante la operación, y que son determinantes para los resultados finales.

A partir de los datos obtenidos en el laboratorio, es posible calcular los equipos a nivel industrial, así como los más apropiados para el tipo de resultados requeridos.

Algunos de los factores que intervienen en el diseño de éstos equipos, han sido analizados con anterioridad (Inciso 4.1.5), por lo que se mencionarán únicamente los más indispensables con el objeto de facilitar la secuencia de cálculos, el resto será estudiado con detalle.

FACTORES QUE AFECTAN LA OPERACION DE MOLIENDA:

- Velocidad del molino
- Factor de corrección por tamaño de bolas
- Demanda de potencia para mover los medios de molienda
- Carga de los medios de molienda
- Tamaño máximo de bolas o barras
- Potencia necesaria para moler el mineral desde un tamaño de alimentación F, hasta un tamaño de descarga P (factores de eficiencia)
- Potencia real consumida por el molino
- Demanda de potencia del molino para mover la carga de los medios de molienda
- Capacidad

Estos factores pueden ser calculados o corregidos para diferentes condiciones de operación. Los cálculos pueden efectuarse por medio de -- las siguientes expresiones:

- VELOCIDAD DEL MOLINO. La velocidad del molino en la cual se obtienen los óptimos resultados se le denomina velocidad crítica (Cs) y se determina a partir de la ecuación No. 8.1. Generalmente la velocidad de trabajo es alrededor del 75% de la velocidad crítica.

$$C_s = \frac{42.305}{\sqrt{D}} \quad (8.1)$$

En donde:

D : Diámetro interno del molino (entre lanas) expresado en metros

Cs : Velocidad crítica del molino expresada en r.p.m.

Si el diámetro del molino estuviera expresado en pies, la ecuación anterior cambiaría a la ecuación No. 8.2

$$Cs = \frac{76.63}{\sqrt{D}} \quad (8.2)$$

- FACTOR DE CORRECCION POR TAMAÑO DE BOLAS. Si el tamaño máximo de bolas es menor de 1/80 a 1/100 del diámetro del molino, el tamaño del riñón aumenta causando una disminución en el consumo de energía. Por el contrario, con bolas de diámetro mayor, aumenta el consumo de energía.

Para facilitar el cálculo, las ecuaciones 8.3 a 8.6 se expresan de tal forma que su resultado se adicione algebraicamente al valor de las ecuaciones 8.7 y 8.8 para la determinación total de demanda de potencia.

Cuando los molinos empleados tienen diámetros internos de trabajo diferentes de 8 ft (244 cm. valor nominal con el cual se han realizado todos los cálculos de los molinos) es necesario hacer la corrección de acuerdo a:

Diámetros mayores de 8 ft (244 cm) y menores de 10 ft (305 cm).

$$S_s = 1.102 \left[\frac{\left[\frac{B}{2.54} \right] - 1.8}{2} \right] \quad (8.3)$$

Diámetros superiores a 10 ft (305 cm)

$$S_s = 1.102 \left[\frac{B - 12.5 D}{50.8} \right] \quad (8.4)$$

En donde:

S_s = Factor de corrección por tamaño de bolas, expresado en kilowatts por tonelada métrica de bolas (KW/T de bolas)

B = Diámetro de la bola de tamaño máximo, expresado en milímetros (mm).

D = Diámetro interno del molino (entrelainas) expresado en metros (m).

Si los datos que se tienen están expresados en otras unidades, las ecuaciones anteriores son modificadas por las siguientes:

Diámetros mayores de 8 ft (244 cm) y menores de 10 ft (305 cm):

$$S_s = \frac{B - 1.8}{2} \quad (8.5)$$

Diámetros mayores de 10 ft (305 cm):

$$S_s = \frac{B - \left[\frac{3D}{20} \right]}{2} \quad (8.6)$$

En donde:

Ss = Factor de corrección por tamaño de bolas, expresado en kilo---
watts por tonelada corta de bolas (KW/Tc de bolas)

B = Diámetro de la bola de tamaño máximo, expresado en pulgadas -
(in)

D = Diámetro interno del molino (entre laines) expresado en pies-
(ft)

- DEMANDA DE POTENCIA PARA MOVER LOS MEDIOS DE MOLIENDA. La potencia requerida por el molino puede calcularse a partir de las siguientes ecuaciones:

$$KW_{bolas} = 4.879 D^{0.3} (3.2 - 3Vp) Cs \left[1 - \frac{0.1}{2(9 - 10Cs)} \right] + Ss \quad (8.7)$$

$$KW_{bolas} = 3.1 D^{0.3} (3.2 - 3Vp) Cs \left[1 - \frac{0.1}{2(9 - 10Cs)} \right] + Ss \quad (8.8)$$

$$KW_{barras} = 1.752 D^{1/3} (6.3 - 5.4 Vp) Cs \quad (8.9)$$

$$KW_{barras} = 1.07 D^{1/3} (6.3 - 5.4 Vp) Cs \quad (8.10)$$

En donde:

KW_{bolas} = Demanda de potencia, expresada en kilowatts por tonelada métrica de bolas (KW/T de bolas), o kilowatts por tonelada corta de bolas (KW/Tc de bolas).

KW_{barras} = Demanda de potencia, expresada en kilowatts por tonelada métrica de barras (KW/T de barras), o kilowatts por tonelada corta de barras (KW/Tc de barras).

V_p = Fracción del volumen del molino ocupado por la carga de bolas o de barras, expresada en decimal.

C_s = Fracción de la velocidad crítica con la que opera el molino, expresada en decimal.

S_s = Factor de corrección por el tamaño de bolas, expresado en kilowatts por tonelada métrica de bolas (KW/T de bolas), o kilowatts por tonelada corta de bolas (KW/tc de bolas).

D = Diámetro interno del molino (entre laines) expresado en metros (m), o en pies (ft).

- CARGA DE LOS MEDIOS DE MOLIENDA. La carga de los medios de molienda (bolas, barras u otro tipo de material) es calculada por medio de las ecuaciones:

$$C_w = 2.5 \times 10^{-7} \pi D^2 L V_p P_v \quad (8.11)$$

$$C_w = \frac{\pi}{4} D^2 L V_p \frac{P_v}{2000} \quad (8.12)$$

En donde:

- Cw = Es el peso de los medios moledores, se expresa en toneladas cortas (Tc) cuando se emplea la ecuación 8.12, y en toneladas métricas (T) cuando se emplea la ecuación 8.11 .
- D = Diámetro interno del volumen del molino (entre laines), expresado en metros (m) cuando se emplea la ecuación 8.11, y en pies (ft), cuando se emplea la ecuación 8.12 .
- L = Es la longitud de las barras cuando el molino es de barras, y es la longitud interna del molino (entre laines) si se trata de otro tipo de medios moledores, y se expresa en pies (ft), cuando se emplea la ecuación 8.12, y en metros (m) cuando se emplea la ecuación 8.11 .
- Vp = Es la fracción del volumen del molino ocupada por la carga moledora, expresada en decimal.
- Pv = Peso volumétrico de los medios moledores, expresado en kilogramos por decímetro cúbico (Kg/dm^3) cuando se usa la ecuación 8.11, y en libras por pie cúbico (lb/ft^3) cuando se emplea la ecuación 8.12 .

Este valor obtenido de la carga de bolas, es importante en el cálculo del consumo total de energía durante la operación.

Si las laines del molino están desgastadas, el consumo de energía se ve afectado por un 6% adicional..

- TAMAÑO MÁXIMO DE BOLA O BARRAS. El tamaño máximo de los medios molidores puede ser calculado a partir de las siguientes ecuaciones:

$$B = \left[\sqrt{\frac{F}{K}} \sqrt[3]{\frac{d Wi}{Cs \sqrt{3.281D}}} \right] 25.4 \quad (8.13)$$

$$B = \left[\sqrt{\frac{F}{K}} \sqrt[3]{\frac{d Wi}{Cs \sqrt{D}}} \right] \quad (8.14)$$

$$R = \left[\frac{F^{0.75}}{160} \sqrt{\frac{d Wi}{Cs \sqrt{5.261 D}}} \right] 25.4 \quad (8.15)$$

$$R = \left[\frac{F^{0.75}}{160} \sqrt{\frac{d Wi}{Cs \sqrt{D}}} \right] \quad (8.16)$$

Las ecuaciones 8.13 y 8.14, corresponden al cálculo de las bolas y la 8.15 y la 8.16, al cálculo de las barras, en las cuales:

B = Diámetro máximo de bola, expresado en milímetros (mm) cuando se emplea la ecuación 8.13, y en pulgadas (pulg.) cuando se emplea la ecuación 8.14.

- R = Diámetro máximo de las barras, expresado en milímetros (mm) - cuando se emplea la ecuación 8.15, y en pulgadas (pulg.) cuando se emplea la ecuación 8.16 .
- F = Tamaño de las partículas expresada en micrómetros (μm), a través del cual, pasa el 80% de la alimentación.
- d = Densidad del mineral expresada en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3).
- Wi = Índice de trabajo del mineral expresado en kilowatts-hora por tonelada corta (KWH/Tc).
- Cs = Fracción de la velocidad crítica del molino, expresada en decimal.
- D = Diámetro interno del molino (entre lanas) expresado en metros (m) para las ecuaciones 8.13 y 8.15, y en pies (ft) para las ecuaciones 8.14 y 8.16.
- K = Factor empleado únicamente para los molinos de bolas y depende de las condiciones de operación del mismo.

MOLIENDA	CIRCUITO Y TIPO DE MOLINO	K
HUMEDA	Cerrado - derrame	350
	Abierto - derrame	350
	Cerrado - diafragma	330
	Abierto - diafragma	330
S E C A	Cerrado - diafragma	335
	Abierto - diafragma	335

CUADRO No. 8.1

- POTENCIA NECESARIA PARA MOLER EL MINERAL DESDE UN TAMAÑO DE ALIMENTACION F, HASTA UN TAMAÑO DE DESCARGA P. La potencia necesaria para producir una molienda deseada, es afectada por ocho factores de eficiencia. La ecuación básica para este cálculo es la ecuación - No. 8.17, desarrollada por Fred C. Bond.

$$W = \frac{10 W_i}{\sqrt{F}} - \frac{10 W_i}{\sqrt{P}} \quad (8.17)$$

En donde:

W = Potencia necesaria expresada en kilowatts-hora por tonelada-corta (KWH/Tc)

W_i = Índice de trabajo del mineral, expresado en kilowatts-hora por tonelada corta (KWH/Tc)

F y P = Tamaño de las partículas expresado en micrómetros (μm) a través del cual pasa el 80% de la alimentación y la descarga, respectivamente.

El valor de la potencia necesaria (W) debe ser multiplicado por cada uno de los factores que afecten el proceso de molienda (no necesariamente todos afectan).

El resultado obtenido es el consumo real de energía necesaria para la molienda.

FACTORES DE EFICIENCIA QUE AFECTAN EL CONSUMO DE POTENCIA.

- a) EF_1 Es aplicable para molindas que se llevan a cabo en seco. Para un mismo rango de trabajo (molienda), la operación en seco requiere 1.3 veces o más de la potencia para una molienda en húmedo.
- b) EF_2 Se aplica a molinos de bolas que operan en circuito abierto. En este caso la potencia extra requerida en un circuito abierto comparada con la de un circuito cerrado, es una función del grado de molienda que se requiere en el producto. Este factor se tabula a continuación:

FACTOR DE INEFICIENCIA PARA UN
CIRCUITO ABIERTO

TAMANO DE PARTICULA EN LA DESCARGA % QUE PASA LA -- MALLA DE REFERENCIA	FACTOR DE INEFICIENCIA
50	1.035
60	1.05
70	1.10
80	1.20
90	1.40
92	1.46
95	1.57
98	1.70

CUADRO No. 8.2

- c) EF_3 Factor de diámetro. La base empleada para el cálculo de los molinos y las deducciones de las fórmulas, es un molino de 8 ft (244 cm) de diámetro interno (entre laines).

El factor de diámetro puede ser calculado a partir de las siguientes ecuaciones:

$$EF_3 = \left[\frac{2.44}{D} \right] 0.2 \quad (8.18)$$

$$EF_3 = \left[\frac{8}{D} \right] 0.2 \quad (8.19)$$

En donde:

- D - Es el diámetro interno, está expresado en metros (m) para la ecuación 8.19, y en pies (ft) para la ecuación -- 8.18.

La siguiente tabla muestra los factores de ineficiencia por el diámetro para diversas medidas en molinos comunes.

FACTOR DE DIAMETROS

DIAMETRO DEL MOLINO				FACTOR DE DIAMETRO
ENTRE CORAZA		ENTRE LAINAS		
ft	m	ft	m	
3.0	0.914	2.6	0.79	1.25
3.281	1.0	2.88	0.88	1.23
4.0	1.22	3.6	1.10	1.17
5.0	1.52	4.6	1.40	1.12
6.0	1.83	5.6	1.71	1.075
6.562	2.0	5.96	1.82	1.06
7.0	2.13	6.5	1.98	1.042
8.0	2.44	7.5	2.29	1.014
8.5	2.59	8.0	2.44	1.00
9.0	2.74	8.5	2.59	0.992
9.5	2.90	9.0	2.74	0.977
9.843	3.0	9.34	2.85	0.970
10.0	3.05	9.5	2.90	0.966
10.5	3.20	10.0	3.05	0.956
11.0	3.35	10.5	3.20	0.948
11.5	3.51	11.0	3.35	0.939
12.0	3.66	11.5	3.51	0.931
12.5	3.81	12.0	3.66	0.923
13.0	3.96	12.5	3.81	0.914
13.124	4.00	12.62	3.85	0.914

CUADRO No. 8.3

- d) EF_4 Este factor se aplica cuando hay un exceso de tamaño de partícula en la alimentación. Aplica para molinos operados con bolas o con barras. Este factor es función del índice de trabajo y de la relación de trituración, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$EF_4 = \frac{RT + [Wi-7] \left[\frac{F-Fo}{Fo} \right]}{RT} \quad (8.20)$$

En donde:

RT - Relación de trituración la cual está dada por

$$RT = \frac{F}{P} \quad (8.21)$$

Fo - Tamaño óptimo de alimentación; varía de acuerdo al tipo de medios molidores que se emplean.

MOLIENDA CON BOLAS

$$Fo = 4000 \sqrt{\frac{13}{Wi}} \quad (8.22)$$

MOLIENDA EN BARRAS

$$Fo = 16,000 \sqrt{\frac{13}{Wi}} \quad (8.23)$$

FyP - Tamaños de las partículas expresados en micrómetros (μm) a través del cual pasa el 80% de la alimentación y descarga, respectivamente.

Wi - Índice de trabajo del mineral expresado en kilowatts-hora por tonelada corta (KWH/Tc)

- e) EF_5 Se aplica a molinos de bolas que producen moliendas más finas de 75 micrómetros (menos de 200 mallas). Este factor se calcula a partir de la ecuación No. 8.24

$$EF_5 = \frac{P + 10.3}{1.45 P} \quad (8.24)$$

En donde:

P - Es el tamaño de descarga expresado en micrómetros (μm) -
por el cual pasa el 80% del material.

- f) EF_6 Se aplica a molinos de barras cuya relación de trituración es muy baja o muy alta. Este factor puede ser calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$EF_6 = 1 + \frac{(RT - RTo)^2}{150} \quad (8.25)$$

En donde:

$$RTo = 8 + \frac{5L}{D} \quad (8.26)$$

En la cual:

RT = Relación de trituración.

RTo = Relación de trituración ideal.

D = Diámetro interno del molino (entre lánas), expresado -
en metros (m) o en pies (ft)

L = Longitud de las barras expresado en metros (m) o pies -
(ft).

Si $RT = RTo \pm 2$, este factor no se aplica a la operación. Este factor se emplea para relaciones de trituración bajas, y su aplicación cuando esta relación es alta no siempre es necesaria pero debe emplearse para la selección del tamaño del molino, siempre que el índice de trabajo en molino de barras sea superior a 7.

- g) EF_7 Este factor se aplica en molinos con baja relación de trituración; se usa cuando RT es menor de 6 (generalmente en remolienda) y se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$EF_7 = \frac{2(RT-1.35) + 0.26}{2(RT - 1.35)} \quad (8.27)$$

En donde:

RT = Relación de trituración.

- h) EF_8 Factor para molinos de barras. Este factor no ha sido determinado definitivamente, por lo que al seleccionar los molinos de barras basados en la demanda de energía de las pruebas de molienda, se recomienda el siguiente procedimiento:

1.- Cuando se calcula la potencia para un molino único se usa: El factor de ineficiencia de 1.4 si la alimentación proviene de un circuito de trituración abierta y de 1.2 cuando viene de un circuito de trituración cerrada.

- 2.- Cuando se calcula la potencia del molino de barras para un circuito mixto (barras - bolas), no se tiene ningún mejoramiento en el desempeño del molino de bolas, debido a la recepción de la carga del molino de barras.

Si la alimentación al circuito proviene de una operación de trituración abierta, se debe emplear un factor de ineficiencia de 1.2 en la potencia calculada, ésto es únicamente para el caso de la molienda con barras.

Si la alimentación del molino de barras fuera consistentemente del mismo tamaño, como las producidas por circuitos de trituración cerrados, no se debe considerar ningún factor de ineficiencia.

- POTENCIA REAL CONSUMIDA POR EL MOLINO.

Este valor se obtiene a partir de la potencia necesaria - requerida por el molino y corregida por aquellos factores que intervienen en la eficiencia de la operación para producir una determinada cantidad de material a un tamaño de partícula dado.

El cálculo puede efectuarse de acuerdo a:

$$HP = W \times EF_1 \times EF_2 \times EF_3 \times EF_4 \times EF_5 \times EF_6 \times EF_7 \times EF_8 \times 1.341 \times T$$

(8.28)

En donde:

- HP = Potencia real consumida por el molino, expresada en caballos de fuerza (HP)
- W = Potencia necesaria expresada en kilowatts-hora por tonelada corta (KWH/Tc)
- E_{Fn} = Factor de corrección; cuando alguno no aplica en la operación su valor es igual a 1.
- T = Capacidad del molino, expresada en toneladas cortas por hora (Tc/H)
- 1.341 = Factor de conversión de kilowatts a caballos de fuerza.

- DEMANDA DE POTENCIA DEL MOLINO PARA MOVER LA CARGA DE LOS MEDIOS DE MOLIENDA.

Este cálculo es función de la demanda de potencia necesaria para mover los medios moledores; su determinación se puede efectuar empleando la siguiente ecuación:

$$KW = KWb \times Cw \quad (8.29)$$

En donde:

- KW = Demanda de potencia del molino, expresada en kilowatts (KW)
- KWb = Demanda de potencia para mover los cuerpos moledores expresada en kilowatts por tonelada corta de bolas o de barras (KW/Tc).

Cw = Peso de los medios molidores, expresado en toneladas cortas (Tc)

- CAPACIDAD.

A partir de la ecuación No. 8.28; obtenida para el cálculo de la potencia real consumida por el molino, y de la ecuación No. 8.29, correspondiente a la demanda de potencia del mismo, se calcula su capacidad.

$$KW = W \times EFn \times T \quad (8.30)$$

$$KW = KWb \times Cw \quad (8.31)$$

Por tanto:

$$T = \frac{KWb \times Cw}{W \times EFn} \quad (8.32)$$

En donde:

T = Capacidad del molino en toneladas cortas (Tc)

EFn = Factores de corrección.

Las ecuaciones establecidas hasta el momento son suficientes para efectuar el cálculo de los equipos a nivel industrial. - Para realizar los cálculos se deben establecer las condiciones en las que va a trabajar el equipo, así como tipo de circuito, tamaño de partícula que se requiere, etc. A partir de los parámetros de operación y de algunos resultados interme--

dios se deduce el tipo de factores que afectan la eficiencia del proceso; por tal motivo los resultados deben ser re-evaluados con su correspondiente factor de corrección. En este capítulo se realizan algunos cálculos de equipos industriales, para lo cual se consideró que todos los parámetros de operación permanecen constantes y únicamente varió uno de ellos. - Los cálculos realizados indican claramente la tendencia que siguen los parámetros tales como: Capacidad, demanda de potencia requerida para mover el equipo y la carga moledora y otros.

A continuación se presentan en forma de cuadro:

- Las condiciones de operación tomadas como base para el cálculo.
- Los resultados intermedios obtenidos, que influyen en los cálculos posteriores.
- Los resultados finales.

Debido a la gran aplicación que tienen los molinos de bolas, como los de barras, los cálculos se realizaron para los dos tipos de equipos, pretendiendo abarcar todos los factores susceptibles de variar en una operación común.

Finalmente, con el objeto de facilitar la interpretación de los resultados, éstos fueron graficados en cada uno de los casos; las gráficas indican claramente la tendencia de los valores.

res al cambiar el parámetro en estudio, con lo que se puede predecir en determinado momento el valor de algún concepto en específico.

Los parámetros estudiados en este capítulo se presentan en la siguiente lista:

- Diámetro del molino
- Longitud del molino
- Fracción del volumen del molino ocupado
- Fracción de la velocidad crítica del molino empleada
- Tamaño del mineral en la descarga
- Tamaño del mineral en la alimentación
- Densidad del mineral
- Índice de trabajo
- Relación de trituración
- Tipo de operación, circuito y descarga en el molino.

"VARIACION DE LA CAPACIDAD, CARGA DE BOLAS, DEMANDA DE POTENCIA DEL MOLINO Y DEMANDA DE POTENCIA PARA MOVER LAS BOLAS EN FUNCION
DIAMETRO DEL MOLINO.

DIAMETRO DEL MOLINO	D	m - Ft	1.4288- 6.00	2.1336- 7.00	2.4384- 8.00	2.7432- 9.00	3.0480- 10.00	3.3528- 11.00
Longitud del molino	L	m - Ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fración del volumen del molino ocupado	V ₀	%	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Fración de la velocidad crítica empleada	FC ₀	%	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Diámetro adrión de bola	B	mm - in	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0
Peso volumétrico de las bolas	P _v	Kg/cm ³ - lb/ft ³	4.16 - 260.00	4.16 - 260.00	4.16 - 260.00	4.16 - 260.00	4.16 - 260.00	4.16 - 260.00
Tamaño de partícula en la descarga	F	micrómetros	200	200	200	200	200	200
Tamaño de partícula en la alimentación	F	micrómetros	9.400	9.400	9.400	9.400	9.400	9.400
Factor para molino de bolas	K	-	350	350	350	350	350	350
Densidad del mineral	d	g/cm ³	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Índice de trabajo	W _I	KWH/T-KWH/ST	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00
Factor de corrección por tamaño de bolas	S ₀	KWH/T-KWH/ST	0.00	0.00	0.00	0.00	0.600	0.425
Demanda de potencia para mover las bolas	K ₀	KWH/T-KWH/ST	9.092 - 8.254	9.523 - 8.645	9.912 - 8.998	10.930 - 9.922	11.230 - 10.221	11.374 - 10.325
Carga de bolas	C _v	T - ST	8.343 - 10.292	12.716 - 14.008	16.610 - 18.297	21.032 - 23.157	25.952 - 28.588	31.402 - 34.592
Demanda de potencia del molino	K _v	KW - HP	84.951 - 113.919	121.00 - 162.398	164.637 - 220.778	229.757 - 308.104	292.206 - 391.851	357.172 - 478.968
Tamaño de bolas (calculado)	B	mm - in	69.3 - 2.73	67.8 - 2.67	66.3 - 2.61	65.0 - 2.56	63.8 - 2.51	62.7 - 2.47
Velocidad crítica	C ₀	r.p.m.	31.28	38.96	47.09	55.54	64.23	73.10
Potencia requerida por el mineral	W	KWH/T-KWH/ST	6.653 - 6.04	6.653 - 6.04	6.653 - 6.04	6.653 - 6.04	6.653 - 6.04	6.653 - 6.04
Tamaño óptimo de alimentación	F ₀	micrómetros	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7
Relación de trituración	RT	-	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0
Factor de corrección por el diámetro	EF ₃	-	1.0392	1.0371	1.000	0.9767	0.9564	0.9383
Demanda corregida de potencia	K _{0c}	KWH/T-KWH/ST	7.5244- 6.8306	7.2960- 6.8232	7.1037- 6.4387	6.9384- 6.2986	6.7926- 6.1672	6.6554- 6.0508
C a p a c i d a d	T	T/d - ST/d	270.957 - 298.48	396.355 - 438.82	566.229 - 612.73	794.733 - 875.46	1032.283 - 1136.14	1286.05 - 1416.69

Tipo de operación - Manda
C i r c u i t o - cerrado
D e s c a r g a - derrame
Medios de molino - bolas de acero

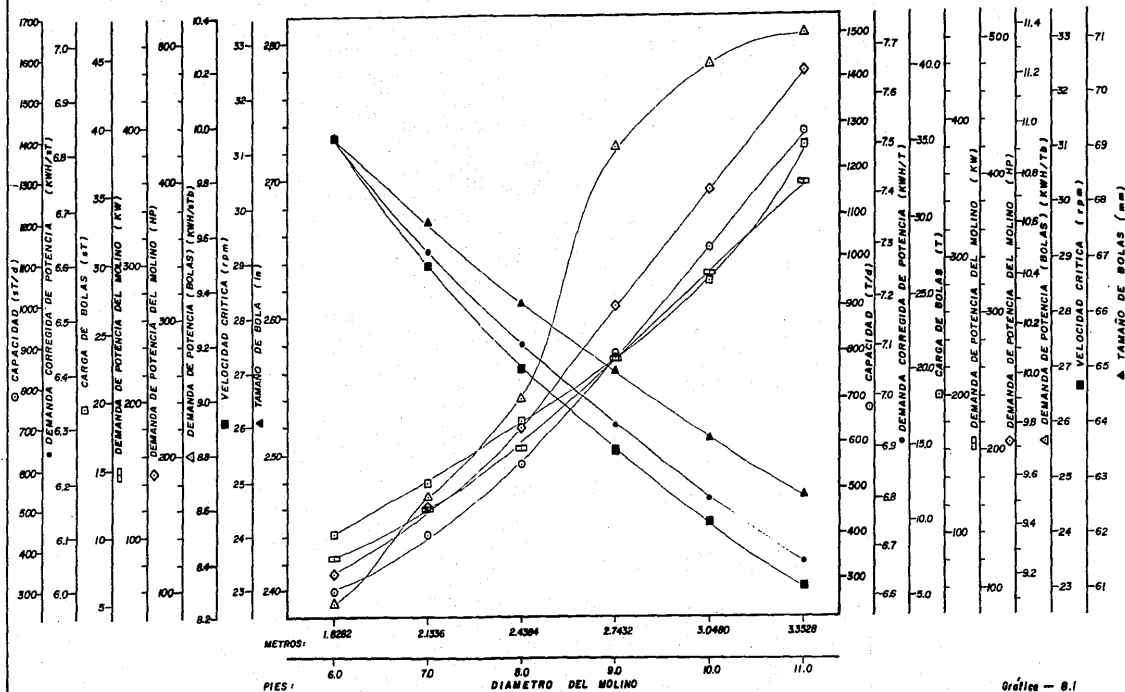
"VARIACION DE LA CAPACIDAD, CARGA DE BOLAS, DEMANDA DE POTENCIA DEL MOLINO Y DEMANDA DE POTENCIA PARA MOVER LAS BOLAS EN FUNCION

DIAMETRO DEL MOLINO.

DIAMETRO DEL MOLINO	D	m - ft	1.6288- 6.00	2.1336- 7.00	2.4384- 8.00	2.7432- 9.00	3.0480- 10.00	3.3528- 11.00
Longitud del molino	L	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fracción del volumen del molino ocupado	Vb	%	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Fracción de la velocidad crítica empleada	FCs	%	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Diámetro máximo de bola	B	m - in	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0
Peso volumétrico de las bolas	Pv	Kg/m ³ -lb/ft ³	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00
Tamaño de partícula en la descarga	P	micrómetros	200	200	200	200	200	200
Tamaño de partícula en la alimentación	F	micrómetros	9.400	9.400	9.400	9.400	9.400	9.400
Factor para molino de bolas	K	-	350	350	350	350	350	350
Densidad del mineral	d	g/cm ³	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Índice de trabajo	Wl	KWH/T-KWH/t	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00
Factor de corrección por tamaño de bolas	Da	KWH/T-KWH/t	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.425
Demanda de potencia para mover las bolas	KWb	KWH/T-KWH/t	9.932 - 8.254	9.932 - 8.645	9.932 - 8.998	10.930 - 9.922	11.259 - 10.221	11.574 - 10.325
Carga de bolas	Cw	T - st	8.343 - 10.292	12.716 - 14.008	16.610 - 18.297	21.032 - 23.157	25.952 - 28.589	31.402 - 34.592
Demanda de potencia del molino	HW	HP - HP	84.991 -113.919	121.000 -162.396	164.637 -226.778	229.757 -308.104	292.298 -391.851	357.172 -478.968
Tamaño de bolas [calculado]	B	m - in	69.3 - 2.73	67.8 - 2.67	66.3 - 2.61	65.0 - 2.56	63.8 - 2.51	62.7 - 2.47
Potencia crítica	Cu	r-p-hp.	31.28	38.96	27.03	25.54	24.23	23.10
Potencia requerida por el mineral	N	KWH/T-KWH/t	6.653 - 6.04	6.653 - 6.04	6.653 - 6.04	6.653 - 6.04	6.653 - 6.04	6.653 - 6.04
Tamaño óptimo de alimentación	Fo	micrómetros	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7
Relación de trituración	RT	-	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0
Factor de corrección por el diámetro	EF _d	-	1.0592	1.0291	1.0000	0.9767	0.9564	0.9383
Demanda corregida de potencia	HWc	KWH/T-KWH/t	7.5244- 6.8306	7.2650- 6.6232	7.1037- 6.4487	6.9384- 6.2966	6.7936- 6.1672	6.6654- 6.0508
Capacidad	T	T/d - st/d	270.957 -298.48	398.358 -438.82	556;229 -612.73	794.733-875.46	1032.283-1136.14	1286.05-1416.69

Tipo de operación - húmeda
 Circuito - cerrado
 Descarga - óvrant
 Medios de molienda - bolas de acero

VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA, CARGA DE BOLAS, DEMANDA DE POTENCIA DEL MOLINO, DEMANDA DE POTENCIA PARA MOVER LAS BOLAS, VELOCIDAD CRITICA Y TAMAÑO DE BOLA EN FUNCION DEL DIAMETRO DEL MOLINO.

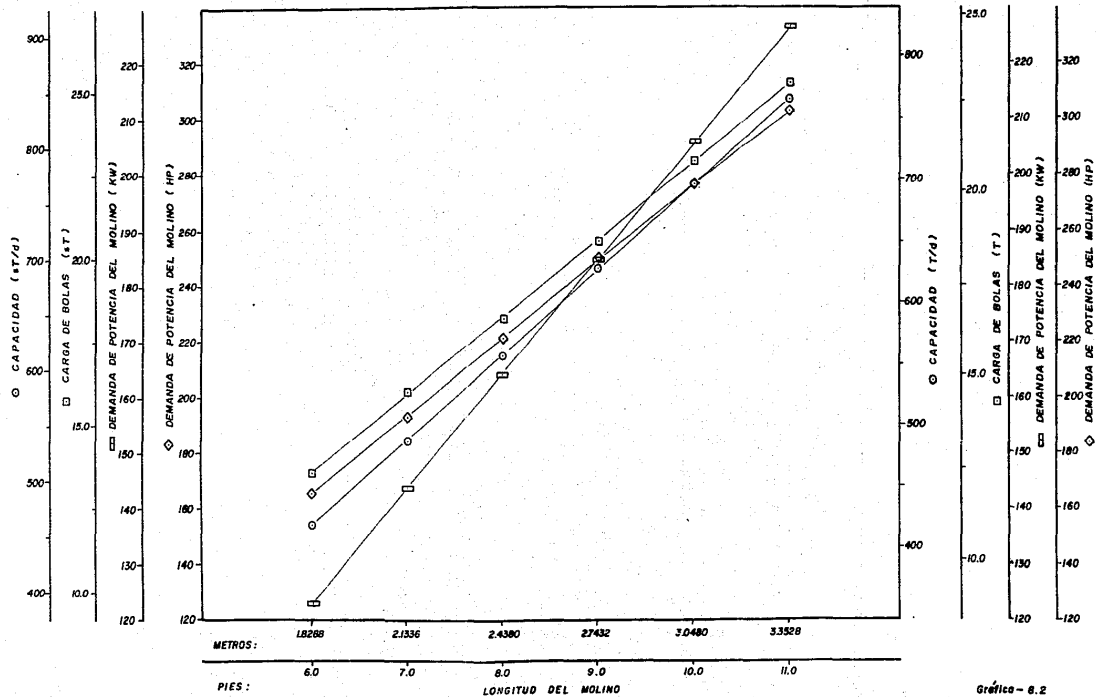


* VARIACION DE LA CAPACIDAD, CARGA DE BOLAS Y DEMANDA DE POTENCIA DEL
MOLINO EN FUNCION DE LA LONGITUD DEL MOLINO *

LONGITUD DEL MOLINO	L	m - ft	1.0290- 8.00	2.1336- 7.00	2.4384- 8.00	2.7432- 9.00	3.0480- 10.00	3.3528- 11.00
Diámetro del molino	D	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fración del volumen del molino ocupado	V ₀	%	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Fración de la velocidad crítica empleada	f ₀	%	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Diámetro máximo de bola	B	cm - in	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0
Peso volumétrico de las bolas	P _v	Kg/m ³ -lb/ft ³	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00
Tamaño de partícula en la descarga	P	micrómetros	200	200	200	200	200	200
Tamaño de partícula en la alimentación	F	micrómetros	9 400	9 400	9 400	9 400	9 400	9 400
Factor para molino de bolas	K	-	350	350	350	350	350	350
Densidad del mineral	d	g/cm ³	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Índice de trabajo	W _i	KWH/T-KWH/ST	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00
Factor de corrección por tamaño de bolas	S _s	KWH/T-KWH/ST	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Demanda de potencia para mover las bolas	K _{Wb}	KWH/T-KWH/ST	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998
Carga de bolas	C _v	T - st	12.457 - 13.722	14.534 - 16.010	16.610 - 18.297	18.686 - 20.584	20.762 - 22.871	22.838 - 25.158
Demanda de potencia del molino	K _W	KW - HP	123.478 -165.584	144.057 -193.181	164.637 -220.778	185.216 -248.375	205.796 -275.973	226.376 -303.670
Tamaño de bolas (calculado)	B	cm - in	66.3 - 2.61	66.3 - 2.61	66.3 - 2.61	66.3 - 2.61	66.3 - 2.61	66.3 - 2.61
Velocidad crítica	C _o	r.p.m.	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09
Potencia requerida por el mineral	W	KWH/T-KWH/ST	6.653 - 6.040	6.653 - 6.040	6.653 - 6.040	6.653 - 6.040	6.653 - 6.040	6.653 - 6.040
Tamaño óptimo de alimentación	F _o	micrómetros	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7
Relación de trituración	RT	-	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0
Factor por exceso de tamaño en la alimentación	ET _a	-	1.0677	1.0677	1.0677	1.0677	1.0677	1.0677
Demanda corregida de potencia	K _{Wc}	KWH/T-KWH/ST	7.1037- 6.4487	7.1037- 6.4487	7.1037- 6.4487	7.1037- 6.4487	7.1037- 6.4487	7.1037- 6.4487
C a p a c i d a d	T	T/d - st/d	417.16 -459.54	466.69 -536.13	556.23 -612.73	625.77 -689.32	695.20 -765.91	764.81 -842.50

Tipo de operación - húmeda
C i r c u i t o - cerrado
D e s c a r g a - directo
Medio de molienda - bolas de acero

VARIACION DE LA CAPACIDAD, CARGA DE BOLAS Y DEMANDA DE POTENCIA DEL MOLINO EN
 FUNCION DE LA LONGITUD DEL MOLINO



*VARIACION DE LA CAPACIDAD, CARGA DE BOLAS, DEMANDA DE POTENCIA DEL MOLINO Y DEMANDA DE POTENCIA PARA MOVER LAS BOLAS
EN FUNCION DE LA FRACCION DEL VOLUMEN DEL MOLINO OCUPADO*

FRACCION DEL VOLUMEN DEL MOLINO OCUPADO	Vb	%	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.41
Diámetro del molino	D	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Longitud del molino	L	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fracción de la velocidad crítica empleada	fCs	%	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Diámetro máximo de bola	B	mm - in	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0
Peso volumétrico de las bolas	Pv	Kg/dm ³ -lb/ft ³	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00
Tamaño de partícula en la descarga	P	micrómetros	200	200	200	200	200	200
Tamaño de partícula en la alimentación	F	micrómetros	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000
Factor para molino de bolas	K	-	350	350	350	350	350	350
Densidad del mineral	d	g/cm ³	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
Índice de trabajo	Wt	KWh/T-KWh/sT	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00
Factor de corrección por tamaño de bolas	Ss	KWh/T-KWh/sT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Demanda de potencia para mover las bolas	KMb	KWh/T-KWh/sT	10.465 - 9.500	10.188 - 9.249	9.912 - 8.998	9.835 - 8.747	9.359 - 8.896	9.082 - 8.845
Carga de bolas	Dw	T - sT	14.712 - 16.206	15.660 - 17.251	16.610 - 18.297	17.559 - 19.342	18.508 - 20.388	19.457 - 21.433
Demanda de potencia del molino	KW	KW - HP	153.960 -206.460	159.561 -213.971	164.637 - 220.778	169.188 - 226.881	173.213 - 232.279	176.714 - 236.973
Tamaño de bolas (calculado)	B	mm - in	64.8 - 2.5	64.8 - 2.5	64.8 - 2.5	64.8 - 2.5	64.8 - 2.5	64.8 - 2.5
Velocidad crítica	Cs	r.p.m.	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09
Potencia requerida por el mineral	W	KWh/T-KWh/sT	6.631 - 6.020	6.631 - 6.020	6.631 - 6.020	6.631 - 6.020	6.631 - 6.020	6.631 - 6.020
Tamaño óptimo de alimentación	Fo	micrómetros	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7
Relación de trituración	RT	-	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
Factor por exceso de tamaño en la alimentación	EF _a	-	1.0649	1.0649	1.0649	1.0649	1.0649	1.0649
Demanda corregida de potencia	KMc	KWh/T-KWh/sT	7.058 - 6.407	7.58 - 6.407	7.058 - 6.407	7.058 - 6.407	7.058 - 6.407	7.058 - 6.407
Capacidad	T	T/d - sT/d	523.51 -576.68	542.56 -597.66	559.82 -516.67	575.2 -633.72	588.98 -648.79	600.88 -661.91

Tipo de operación - húmeda
Circuito - cerrado
Descarga - derrame
Medios de molienda - bolas de acero

VARIACION DE LA CAPACIDAD, CARGA DE BOLAS, DEMANDA DE POTENCIA DEL MOLINO Y DEMANDA DE POTENCIA PARA MOVER LAS BOLAS EN FUNCION DE LA FRACCION DEL VOLUMEN DEL MOLINO OCUPADO

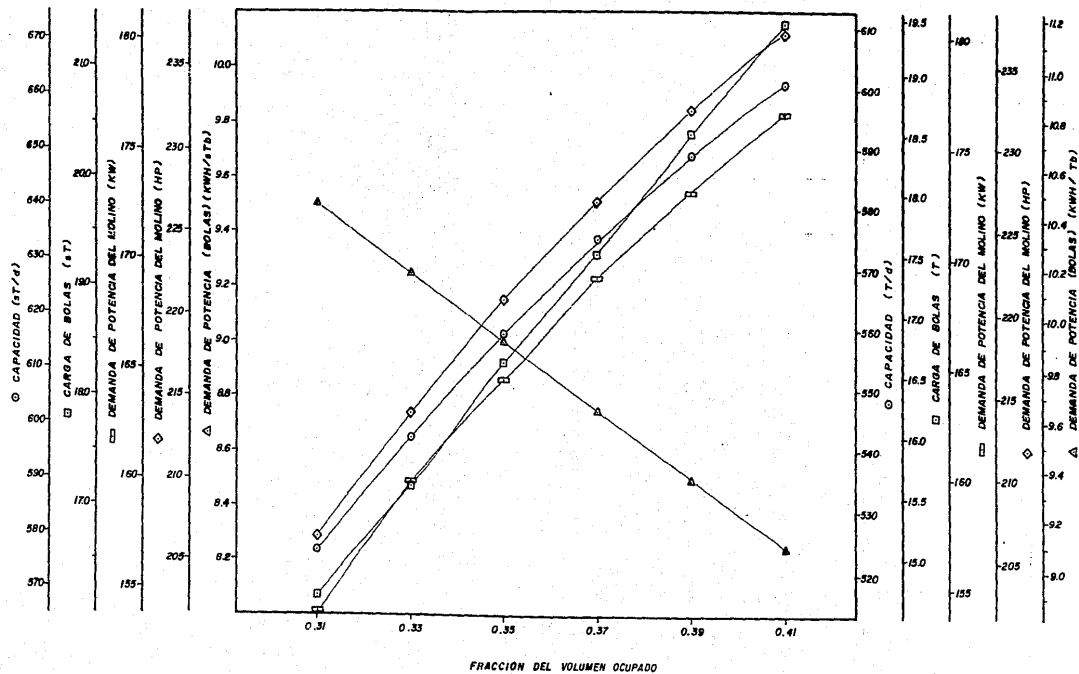


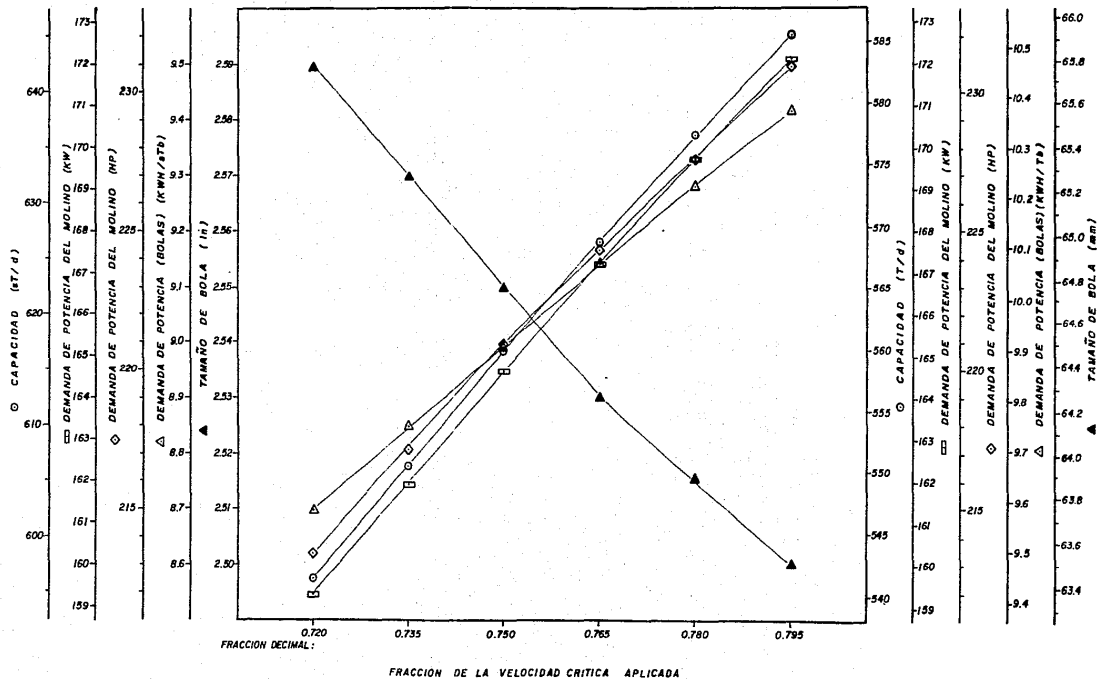
Gráfico - 8.3

"VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA DE POTENCIA DEL MOLINO, DEMANDA DE POTENCIA PARA MOVER LAS BOLAS Y TAMAÑO DE BOLA EN FUNCION
DE LA FRACCIÓN DE LA VELOCIDAD CRÍTICA DEL MOLINO"

FRACCIÓN DE LA VELOCIDAD CRÍTICA EMPLEADA	fcs	%	0.7200	0.7350	0.7500	0.7650	0.7800	0.7950
Diámetro del molino	D	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Longitud del molino	L	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fracción del volumen del molino ocupado	Vb	%	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Diámetro máximo de bola	B	mm - in	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	63.5 - 2.5
Peso volumétrico de las bolas	Pv	Kg/dm ³ -lb/ft ³	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00
Tamaño de partícula en la descarga	P	micrómetros	200	200	200	200	200	200
Tamaño de partícula en la alimentación	F	micrómetros	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000
Factor para molino de bolas	K	-	350	350	350	350	350	350
Densidad del mineral	d	g/cm ³	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
Índice de trabajo	Wl	KWH/T-KWH/ST	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00
Factor de corrección por tamaño de bolas	Ss	KWH/T-KWH/ST	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Demanda de potencia para mover las bolas	KWb	KWH/T-KWH/ST	9.581 - 8.898	9.749 - 8.850	9.912 - 8.998	-	-	-
Carga de bolas	Cw	T - sT	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297
Demanda de potencia del molino	KW	KW - HP	159.139 -213.405	161.928 -217.146	164.637 -220.778	167.255 -224.289	169.772 -227.664	172.174 -230.885
Tamaño de bolas (calculado)	B	mm - in	65.8 - 2.6	65.3 - 2.6	64.8 - 2.6	64.3 - 2.5	63.9 - 2.5	63.5 - 2.5
Velocidad crítica	Cs	r.p.m.	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09
Potencia requerida por el mineral	W	KWH/T-KWH/ST	6.631 - 6.020	6.631 - 6.020	6.631 - 6.020	6.631 - 6.020	6.631 - 6.020	6.631 - 6.020
Tamaño óptimo de la alimentación	Fo	micrómetros	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7
Relación de trituración	RT	-	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
Factor por exceso de tamaño en al alimentación	Efa	-	1.0649	1.0649	1.0649	1.0649	1.0649	1.0649
Demanda corregida de potencia	KMc	KWH/T-KWH/ST	7.058 - 6.407	7.058 - 6.407	7.058 - 6.407	7.058 - 6.407	7.058 - 6.407	7.058 - 6.407
C a p a c i d a d	T	T/d - sT/d	541.12 -596.08	550.60 -606.52	559.81 -616.67	568.72 -626.48	577.28 -635.91	585.44 -644.90

Tipo de operación - húmeda
Circuito - cerrado
Descarga - derrame
Medios de molinda - bolas de acero

VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA DE POTENCIA DEL MOLINO, DEMANDA DE POTENCIA PARA MOVER LAS BOLAS, Y TAMAÑO DE BOLA EN FUNCION DE LA FRACCION DE LA VELOCIDAD CRITICA DEL MOLINO



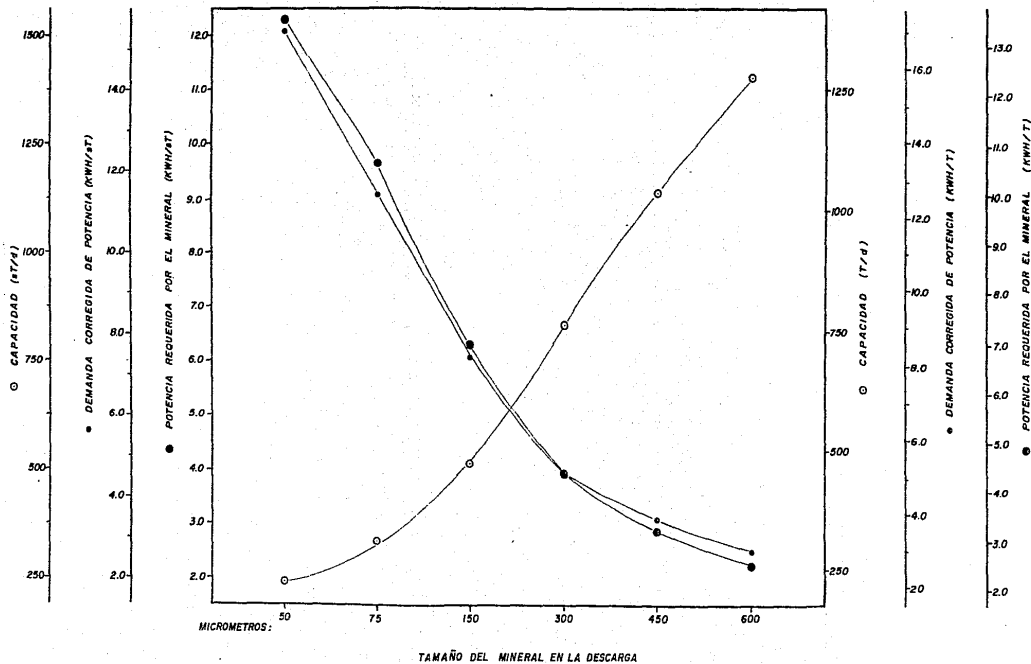
Gráfica - 8.4

"VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA Y POTENCIA REQUERIDA POR EL MINERAL EN FUNCION DEL TAMAÑO DEL MINERAL EN LA DESCARGA"

TAMAÑO DE PARTICULAS EN LA DESCARGA	P	micrómetros	50	75	150	300	450	600
Diámetro del molino	D	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Longitud del molino	L	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fracción del volumen del molino ocupado	Vb	%	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Fracción de la velocidad crítica empleada	fCs	%	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Diámetro máximo de bola	B	mm - in	38.10 - 1.50	38.10 - 1.50	38.10 - 1.50	38.10 - 1.50	38.10 - 1.50	38.10 - 1.50
Peso volumétrico de las bolas	Pv	Kg/dm ³ -lb/ft ³	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00
Tamaño de partícula en la alimentación	F	micrómetros	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
Factor para molino de bolas	K	-	350	350	350	350	350	350
Densidad del mineral	d	g/cm ³	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Índice de trabajo	Wi	KWH/T-KWH/sT	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.-156- 10.00	11.0156- 10.00
Factor de corrección por tamaño de bolas	Ss	KWh/T-KWh/sT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Demanda de potencia para mover las bolas	KGb	KWh/T-KWh/sT	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998
Carga de bolas	Cw	T - sT	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297
Demanda de potencia del molino	KW	KW - HP	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778
Tamaño de bolas (calculado)	B	mm - in	37.3 - 1.5	37.3 - 1.5	37.3 - 1.5	37.3 - 1.5	37.3 - 1.5	37.3 - 1.5
Velocidad crítica	Cs	r.p.m.	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09
Potencia requerida por el mineral	W	KWh/T-KWh/sT	13.571 - 12.32	10.707 - 9.72	6.984 - 6.34	4.351 - .9	3.184 - 2.89	2.489 - 2.26
Tamaño óptimo de alimentación	Fo	micrómetros	4560.7	4560.7	4560.7	4560.6	4560.7	4560.7
Relación de trituración	RT	-	60.0	40.0	20.0	10.0	6.67	5.00
Factor por operar en circuito abierto	EFa	-	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Factor por molienda fina	EFf	-	1.0533	0.9933	1.0	1.0	1.0	1.0
Factor por baja relación de trituración	EFr	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0356
Demanda corregida de potencia	KMc	KWh/T-KWh/sT	17.148 - 15.567	12.763 - 11.587	8.379 - 7.607	5.218 - 4.737	818 - 3.466	3.090 - 2.805
Capacidad	T	T/d - sT/d	230.42 -253.82	309.55 -340.99	471.53 -519.42	757.17 -834.08	1034.92 -1140.03	1278.99 -1408.88

Tipo de operación - húmeda
 Circuito - abierto
 Descarga - derrame
 Medios de molienda - bolas de acero

VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA Y POTENCIA REQUERIDA POR EL MINERAL EN FUNCION DEL TAMAÑO DEL MINERAL EN LA DESCARGA



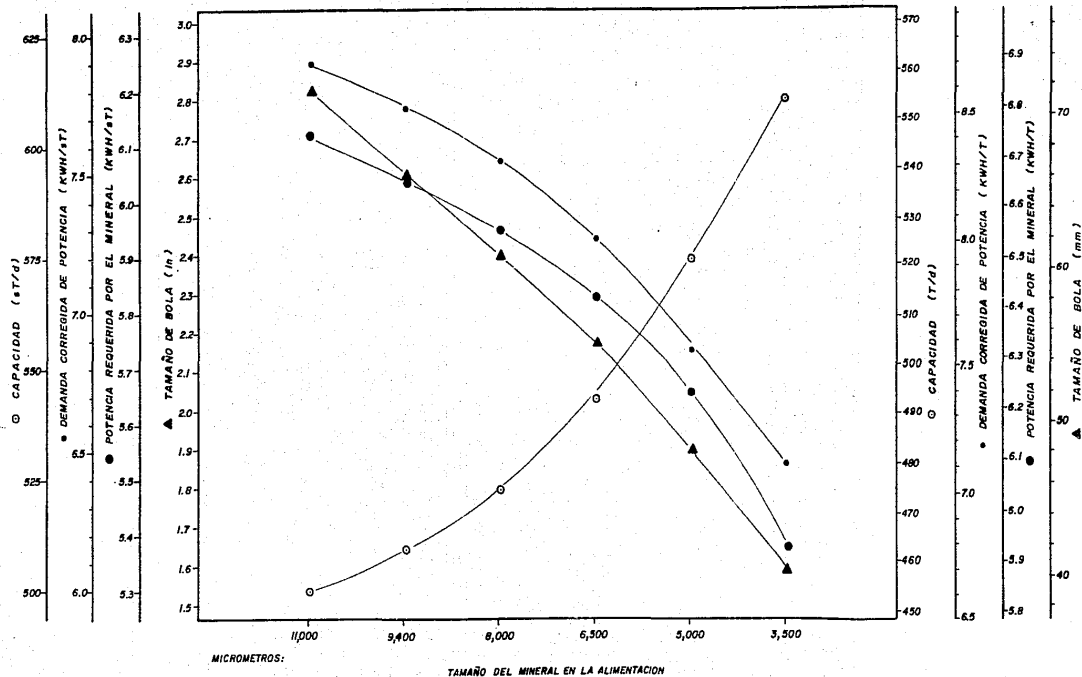
Gráfica- 8.5

"VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA, POTENCIA REQUERIDA POR EL MINERAL Y TAMAÑO DE BOLAS
EN FUNCION DEL TAMAÑO DEL MINERAL EN LA ALIMENTACION"

TAMAÑO DE PARTICULA EN LA ALIMENTACION	F	micrómetros	11 000	9 400	8 000	6 500	5 000	3 500
Diámetro del molino	D	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Longitud del molino	L	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fración del volumen del molino ocupado	Vb	%	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Fración de la velocidad crítica empleada	fCs	%	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Diámetro máximo de bola	B	mm - in	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	76.2 - 3.0	63.50 - 2.5	50.8 - 2.0	50.8 - 2.0
Peso volumétrico de las bolas	Pv	Kg/dm ³ -lb/ft ³	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00
Tamaño de partícula en la descarga	P	micrómetros	200	200	200	200	200	200
Factor para molino de bolas	K	-	350	350	350	350	350	350
Densidad del mineral	d	g/cm ³	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Índice de trabajo	Wi	KWH/T-KWH/ST	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00
Factor de corrección por tamaño de bolas	Ss	KWH/T-KWH/ST	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Demanda de potencia para mover las bolas	KWB	KWH/T-KWH/ST	9.912- 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912- 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998
Carga de bolas	Cw	T - ST	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297
Demanda de potencia del molino	KH	KW - HP	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778
Tamaño de bolas (calculado)	B	mm - in	71.6 - 2.8	6.3 - 2.6	60.9 - 2.4	55.1 - 2.2	48.3 - 1.9	40.4 - 1.6
Velocidad crítica	Cs	r.p.m.	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09
Potencia requerida por el mineral	W	KWH/T-KWH/ST	6.74 - 6.120	6.653 - 6.040	6.554 - 5.950	6.442 - 5.830	6.235 - 5.660	5.926 - 5.380
Tamaño óptimo de alimentación	Fo	micrómetros	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7
Relación de trituración	RT	-	55.0	47.0	40.0	32.5	25.0	17.5
Factor por operar en circuito abierto	EF ₂	-	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Factor por exceso de tamaño en la alimentación	EF ₆	-	1.077	1.0677	1.0566	1.0383	1.0116	1.000
Demanda corregida de potencia	KBC	KWH/T-KWH/ST	8.710 - 7.907	8.524 - 7.738	8.315 - 7.548	8.011 - 7.272	7.564 - 6.867	7.113 - 6.457
C a p a c i d a d	T	T/d - ST/d	453.67 -499.75	463.53 -510.60	475.24 -523.51	493.29 -543.39	522.37 -575.43	555.52 -611.95

Tipo de operación - húmeda
C i r c u i t o - abierto
D e s c a r g a - derrane
Medios de molienda - bolas de acero

VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA, POTENCIA REQUERIDA POR EL MINERAL Y TAMAÑO DE BOLAS EN FUNCION DEL TAMAÑO DEL MINERAL EN LA ALIMENTACION



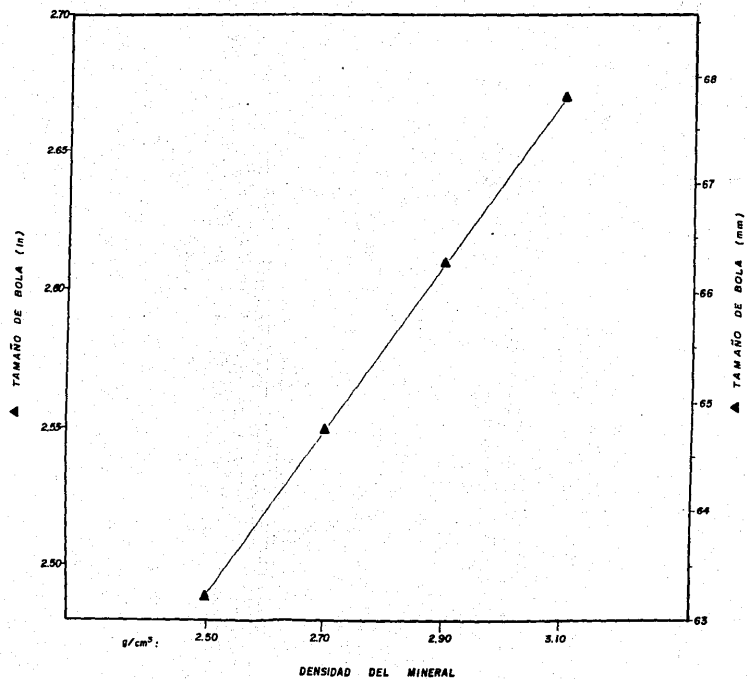
Gráfica - 8.6

"VARIACION DEL TAMAÑO DE BOLA EN FUNCION DE LA DENSIDAD DEL MINERAL"

DENSIDAD DEL MINERAL	d	g/cm ³	2.50	2.70	2.90	3.10
Diámetro del molino	D	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Longitud del molino	L	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fración del volumen del molino ocupado	Vb	%	0.35	0.35	0.35	0.35
Fración de la velocidad crítica empleada	FCs	%	0.75	0.75	0.75	0.75
Diámetro máximo de bola	B	mm - in	63.50 - 2.50	76.2 - 3.00	76.2 - 3.00	76.2 - 3.00
Peso volumétrico de las bolas	Pv	Kg/dm ³ - lb/ft ³	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00
Tamaño de partícula en la descarga	P	micrómetros	200	200	200	200
Tamaño de partícula en la alimentación	F	micrómetros	9000	9000	9000	9000
Factor para molino de bolas	K	-	350	350	350	350
Índice de trabajo	Mi	KWH/T-KWH/sT	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00
Factor de corrección por tamaño de bolas	Ss	KWH/T-KWH/sT	0.00	0.00	0.00	0.00
Demanda de potencia para mover las bolas	Kb	KWH/T-KWH/sT	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998
Carga de bolas	Qv	T - sT	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297
Demanda de potencia del molino	Kv	KW - HP	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778
Tamaño de bolas (calculado)	B	mm - in	63.2 - 2.5	64.8 - 2.5	66.3 - 2.6	67.8 - 2.7
Velocidad crítica	Cs	r.p.m.	27.09	27.09	27.09	27.09
Potencia requerida por el mineral	M	KWH/T-KWH/sT	6.631 - 6.020	6.631 - 6.020	6.631 - 6.020	6.631 - 6.020
Tamaño óptimo de alimentación	Fo	micrómetros	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7
Relación de trituración	RT	-	45.00	45.00	45.00	45.00
Factor por exceso de tamaño en la alimentación	Efa	-	1.0649	1.0649	1.0649	1.0649
Demanda corregida de potencia	Kkc	KWH/T-KWH/sT	7.058 - 6.407	7.058 - 6.407	7.058 - 6.407	7.058 - 6.407
Capacidad	T	T/d - st/d	559.81 -616.67	559.81 -616.67	559.81 -616.67	559.81 -616.67

Tipo de operación - húmeda
 Circuito - cerrado
 Descarga - derrame
 Medios de molinda - bolas de acero

VARIACION DEL TAMAÑO DE BOLA EN FUNCION DE LA DENSIDAD DEL MINERAL

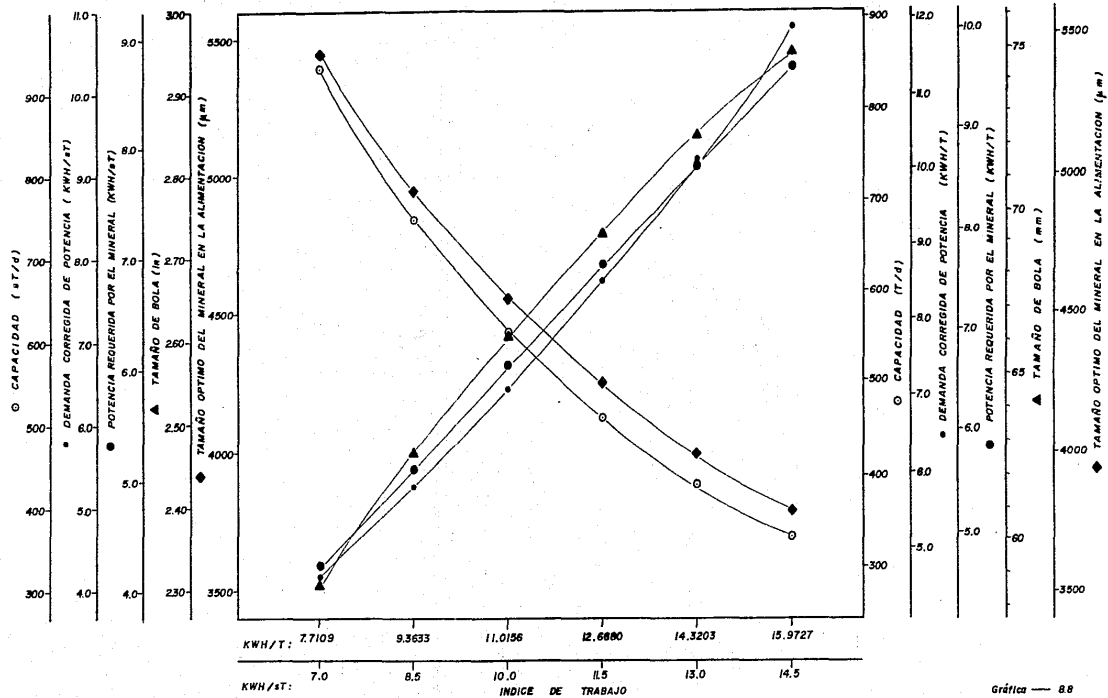


**"VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA, POTENCIA REQUERIDA POR EL MINERAL, TAMAÑO DE BOLAS Y TAMAÑO ÓPTIMO DEL MINERAL EN LA ALIMENTACION
EN FUNCION DEL INDICE DE TRABAJO"**

INDICE DE TRABAJO	Wi	KMH/T-KMH/S	7.7109- 7.0	9.3633- 8.5	11.0156- 10.00	12.6680- 11.5	14.3203- 13.0	15.9727- 14.5
Diámetro del molino	D	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Longitud del molino	L	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fracción del volumen del molino ocupado	Vb	%	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Fracción de la velocidad crítica empleada	fcS	%	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Diámetro máximo de bolas	B	mm - in	63.50 - 2.5	63.50 - 2.5	76.20 - 3.0	76.20 - 3.0	76.20 - 3.0	76.20 - 3.0
Peso volumétrico de las bolas	Pv	Kg/dm ³ - lb/ft ³	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00
Tamaño de partícula en la descarga	P	micrómetros	200	200	200	200	200	200
Tamaño de partícula en la alimentación	F	micrómetros	9 400	9 400	9 400	9 400	9 400	9 400
Factor para molino de bolas	K	-	350	350	350	350	350	350
Densidad del mineral	d	g/cm ³	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Factor de corrección por tamaño de bolas	Si	KMH/T-KMH/S	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Demanda de potencia para mover las bolas	KMb	KWH/T-KWH/S	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998
Carga de bolas	Qw	T - st	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297
Demanda de potencia del molino	KW	KW - HP	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778
Tamaño de bolas (calculado)	B	mm - in	58.7 - 2.3	62.7 - 2.5	66.3 - 2.6	69.3 - 2.7	72.4 - 2.8	74.9 - 2.9
Velocidad crítica	Cs	r.p.m.	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09
Potencia requerida por el mineral	W	KMH/T-KMH/S	4.659 - 4.230	5.651 - 5.130	6.653 - 6.040	7.656 - 6.950	8.647 - 7.850	9.6 9 - 8.760
Tamaño óptimo de alimentación	Mo	micrómetros	451.1	946.8	4560.7	4252.9	4000.0	3787.4
Relación de trituración	RT	-	47	47	47	47	47	47
Factor por exceso de tamaño en la alimentación	EFA	-	1.000	1. 287	1.0677	1.1159	1.1723	1.2365
Demanda corregida de potencia	KMc	KMH/T-KMH/S	4.657 - 4.228	5.818 - 5.281	7.104 - 6.449	8.538 - 7.750	10.139 - 9.205	11.928 - 10.6 8
Capacidad	T	T/d - st/d	848.43 -934.61	679.19 -748.18	556.23 -612.72	462.81 -509.81	389.69 -429.27	331.26 -364.90

Tipo de operación - húmeda
C i r c u i t o - único
Medios de molienda - bolas de acero

VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA, POTENCIA REQUERIDA POR EL MINERAL
TAMAÑO DE BOLA Y TAMAÑO OPTIMO DEL MINERAL EN LA ALIMENTACION EN FUNCION DEL
INDICE DE TRABAJO

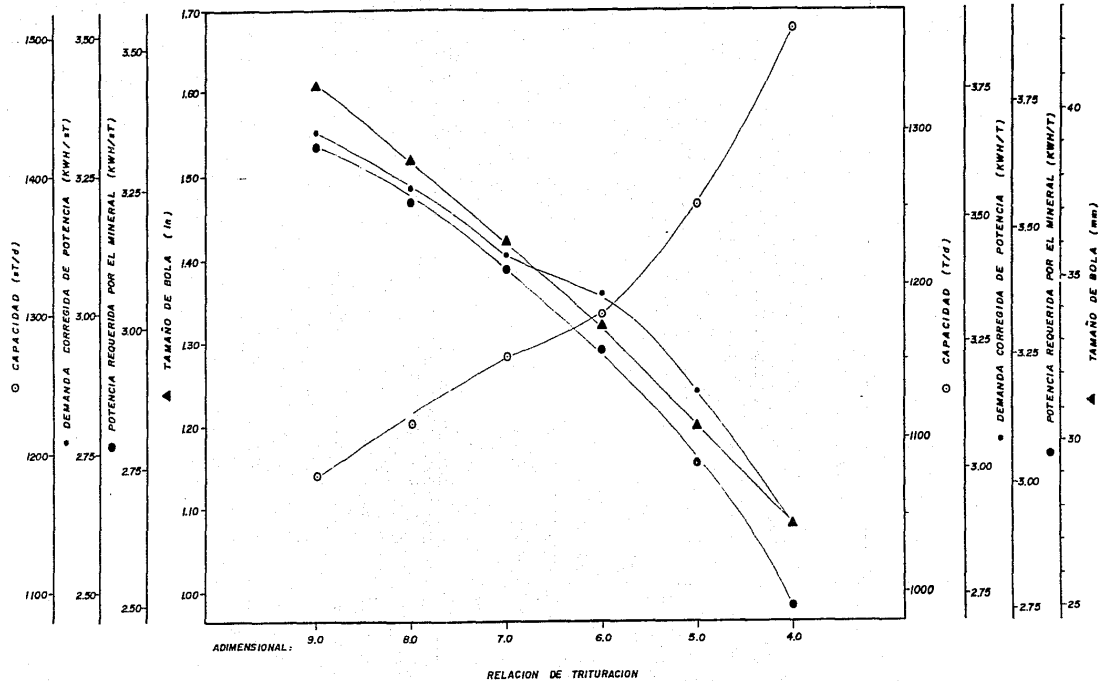


"VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA, POTENCIA REQUERIDA POR EL MINERAL Y TAMAÑO DE BOLA EN FUNCION DE LA RELACION DE TRITURACION"

RELACION DE TRITURACION			9.0	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0
Diámetro del molino	D	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Longitud del molino	L	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fracción del volumen del molino ocupado	Vb	%	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Fracción de la velocidad crítica empleada	fCs	%	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Diámetro máximo de bola	B	mm - in	50.8 - 2.0	50.8 - 2.0	38.1 - 1.5	38.1 - 1.5	38.1 - 1.5	38.1 - 1.5
Peso volumétrico de las bolas	Pv	Kg/dm ³ -lb/ft ³	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00
Tamaño de partícula en la descarga	P	micrómetros	400	400	400	400	400	400
Tamaño de partícula en la alimentación	F	micrómetros	3600	3200	2800	2400	2000	1600
Factor para molino de bolas	K	-	350	350	350	350	350	350
Densidad del mineral	d	g/cm ³	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Índice de trabajo	W	KWh/T-KWh/sT	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00
Factor de corrección por tamaño de bolas	Ss	KWh/T-KWh/sT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Demanda de potencia para mover las bolas	KWb	KWh/T-K H/sT	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998
Carga de bolas	Cw	T - sT	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297
Demanda de potencia del molino	KW	KW - HP	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778
Tamaño de bolas (calculado)	B	mm - in	40.9 - 1.6	38.6 - 1.5	36.1 - 1.4	33.5 - 1.3	30.5 - 1.2	27.4 - 1.1
Velocidad crítica	Cs	r.p.m.	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09
Potencia requerida por el mineral	W	KWh/T-KWh/sT	3.668 - 3.330	3.558 - 3.230	3.426 - 3.110	3.261 - 2.960	3.040 - 2.760	2.754 - 2.500
Tamaño óptimo de alimentación	Fo	micrómetros	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7
Factor por baja relación de trituración	Efy	-	1.00	1.00	1.00	1.0280	1. 56	1.0491
Demanda corregida de potencia	KMc	KWh/KWh/sT	3.668 - 3.333	3.558 - 3.232	3.426 - 3.110	3. 49 - 3.041	3.153 - 2.862	2.889 - 2.623
C a p a c i d a d	T	T/d - sT/d	1076.09 -1185.38	1109.75 -1222.46	1153.30 -1270.44	1179.35 -1299.1	1253.14 -1380.42	1367.69 -1506.60

Tipo de operación - húmeda
 Circuito - cerrado
 Descarga - derrame
 Medios de molienda - bolas de acero

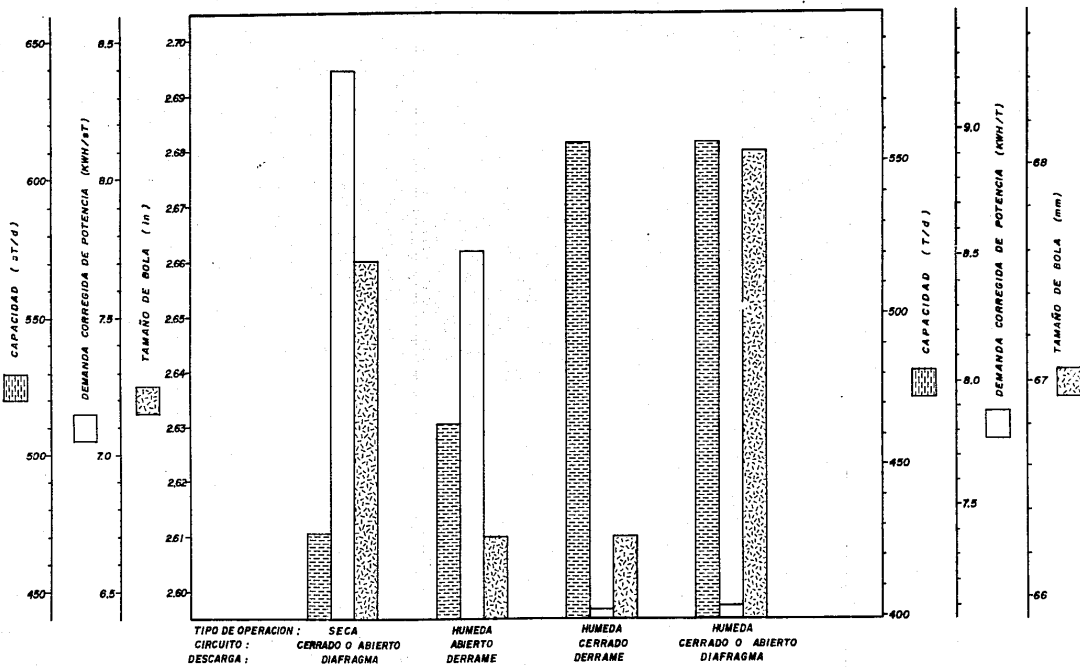
VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA, POTENCIA REQUERIDA POR EL MINERAL,
Y TAMAÑO DE BOLA EN FUNCION DE LA RELACION DE TRITURACION



"VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA Y TAMAÑO DE BOLA EN FUNCION DE EL TIPO DE OPERACION, CIRCUITO Y DESCARGA EN EL MOLINO"

TIPO DE OPERACION	-	-	S E C A	H U M E D A	H U M E D A	H U M E D A
C i r c u i t o	-	-	Cerrado abierto	A b i e r t o	C e r r a d o	Cerrado abierto
D e s c a r g a	-	-	Diafragma	Derrane	D e r r a m e	Diafragma
Diámetro del molino	D	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Longitud del molino	L	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fracción del volúmen del molino ocupado	Yb	%	0.35	0.35	0.35	0.35
Fracción de la velocidad crítica empleada	fCs	%	0.75	0.75	0.75	0.75
Diámetro máximo de bola	B	mm - in	76.2 - 3.00	76.2 - 3.00	76.2 - 3.00	76.2 - 3.00
Peso volumétrico de las bolas	Pv	Kg/dm ³ -lb/ft ³	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00	4.16 -260.00
Tamaño de partículas en la descarga	P	micrómetros	200	200	200	200
Tamaño de partículas en la alimentación	F	micrómetros	9 400	9 400	9 400	9 400
Factor para molino de bolas	K	-	335	350	350	330
Densidad del mineral	d	g/cm ³	2.7	2.7	2.7	2.7
Índice de trabajo	Wi	KWH/T-KWH/ST	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00
Factor de corrección por tamaño de bolas	Ss	KWH/T-KWH/ST	0.00	0.00	0.00	0.00
Demanda de potencia para mover las bolas	KWb	KWH/T-KWH/ST	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998	9.912 - 8.998
Carga de bolas	Cw	T - sT	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297	16.610 - 18.297
Demanda de potencia del molino	KW	KW - HP	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778	164.637 -220.778
Tamaño de bolas (calculado)	B	mm - in	67.6 - 2.7	66.3 - 2.6	66.3 - 2.6	68.1 - 2.7
Velocidad crítica	Cs	r.p.m.	27.09	27.09	27.09	27.09
Potencia requerida por el mineral	W	KWH/T-KWH/ST	6.653 - 6.040	6.653 - 6.040	6.653 - 6.040	6.653 - 6.040
Tamaño óptimo de alimentación	Fo	micrómetros	4560.7	4560.7	4560.7	4560.7
Relación de trituración	RT	-	47	47	47	47
Factor por efectuar la operación en seco	EF1	-	1.3	1.0	1.0	1.0
Factor por operar en circuito abierto	EF2	-	1.0	1.2	1.0	1.0
Factor por exceso de tamaño en al alimentación	EF4	-	1.0677	1.0677	1.0677	1.0677
Demanda corregida de potencia	KWc	KWH/T-KWH/ST	9.235 - 8.383	8.524 - 7.738	7.104 - 6.449	7.104 - 6.449
C a p a c i d a d	T	T/d - sT/d	427.87 -471.33	463.53 -510.60	556.23 -612.73	556.23 -612.73

VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA Y TAMAÑO DE BOLA EN FUNCION DEL TIPO DE OPERACION, CIRCUITO Y DESCARGA EN EL MOLINO



"VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA, CARGA DE BARRAS, DEMANDA DE POTENCIA DEL MOLINO, DEMANDA DE POTENCIA PARA MOVER LAS BARRAS, VELOCIDAD CRITICA Y TAMAÑO DE BARRA EN FUNCION DEL DIAMETRO DEL MOLINO"

DIAMETRO DEL MOLINO	D	m - ft	1.8286- 6.00	2.1336- 7.00	2.4384- 8.00	2.7432- 9.00	3.0480- 10.00	3.3528- 11.00
Longitud del Molino	L	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fracción del volumen del molino ocupado	Vb	%	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Fracción de la velocidad crítica empleada	fCs	%	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Diámetro máximo de barra	R	mm - in	- 4.50	- 4.50	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00
Peso volumétrico de la barras	Pv	Kg/dm ³ -lb/ft ³	6.25 -390.0	6.25 -390.0	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 - 390.0	6.25 - 390.0
Longitud de las barras	Lr	m - ft	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50
Tamaño de partícula en la descarga	P	micrómetros	200	200	200	200	200	200
Tamaño de partícula en la alimentación	F	micrómetros	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Densidad del mineral	d	g/cm ³	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Índice de trabajo	W1	KWH/T-KWH/ST	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156 - 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00
Demanda de potencia para mover las barras	KW	KWH/T-KWH/ST	7.084 - 6.431	7.458 - 6.770	7.797 - 7.078	8.109 - 7.361	8.399 - 7.625	8.670 - 7.871
Carga de barras	CW	T - sT	13.139 - 14.473	17.863 - 19.699	23.358 - 25.730	29.562 - 32.564	36.496 - 40.203	44.160 - 48.645
Demanda de potencia del molino	KW	KW - HP	93.073 -124.811	133.362 -178.839	182.116 -244.217	239.719 -321.464	306.528 - 411.055	382.872 - 513.431
Tamaño de barras (calculado)	R	mm - in	108-20 - 4.36	104.14 - 4.10	100.84 - 3.97	9.7 - 3.95	95.25 - 3.75	92.96 - 3.66
Velocidad crítica	Cs	r.p.m.	31.28	28.96	27.09	25.54	24.23	23.10
Potencia requerida por el mineral	W	KWH/T-KWH/ST	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910
Tamaño óptimo del mineral en la alimentación	Fo	micrómetros	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8
Relación de trituración	RT	-	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Relación de trituración ideal	RTi	-	14.250	13.357	12.687	12.167	11.750	11.400
Factor de corrección por el diámetro	EF _d	-	1.0592	1.0271	1.000	0.9767	0.9564	0.9383
Factor para molinos de barras con relación	EF _l	-	1.5704	1.4656	1.3940	1.3424	1.3038	1.2738
Factor para molinos de barras operando como circuito único con alimentación de un circuito de trituración cerrada	EF _o	-	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Demanda corregida de potencia	KWc	KWH/T-KWH/ST	8.595 - 7.802	7.778 - 7.061	7.203 - 6.539	6.779 - 6.150	6.442 - 5.848	6.176 - 5.606
Capacidad	T	T/d - sT/d	259.90 -286.29	411.52 -453.32	624.99 -668.46	849.23 -935.48	1141.92 -1257.90	1467.91 -1619.91

Tipo de operación - húmeda
 Circuito - único
 Medios de molienda - barras de acero

VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA, CARGA DE BARRAS
 DEMANDA DE POTENCIA DEL MOLINO, DEMANDA DE POTENCIA PARA MOVER LAS BARRAS
 VELOCIDAD CRITICA Y TAMAÑO DE BARRAS EN FUNCION DEL
 DIAMETRO DEL MOLINO

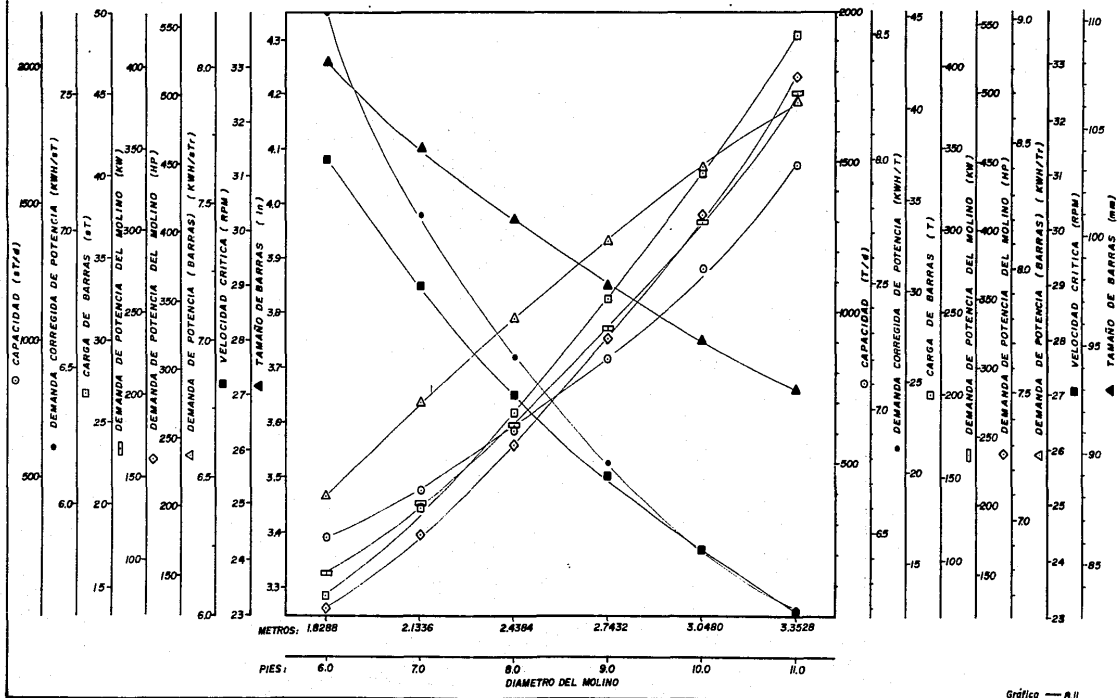


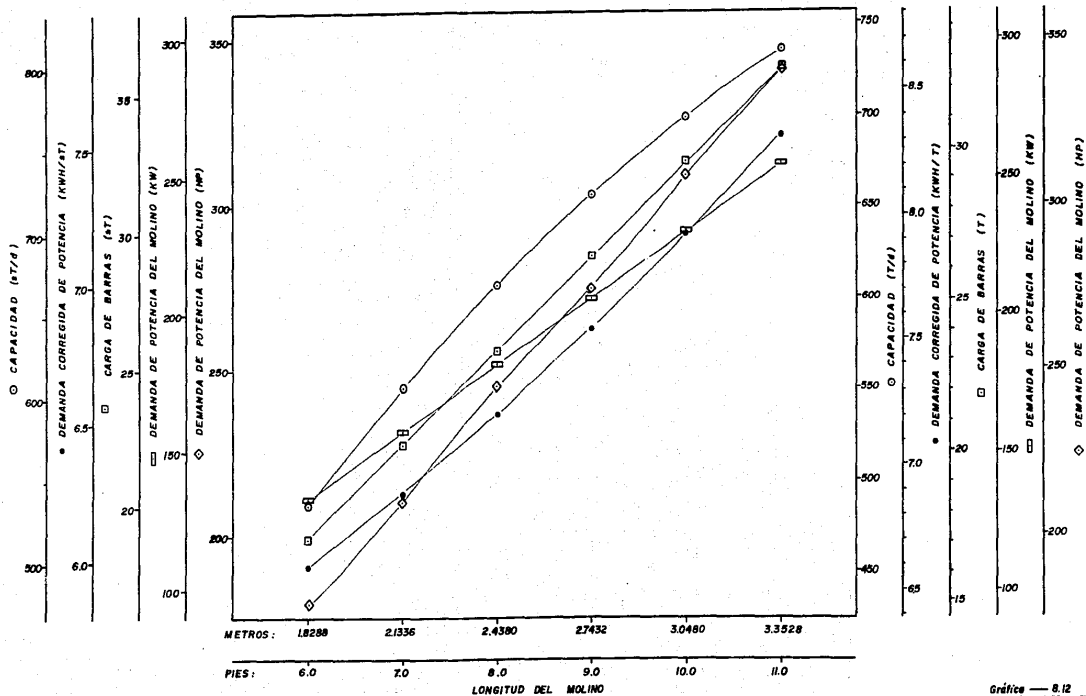
Gráfico — 8.11

"VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA, CARGA DE BARRAS Y DEMANDA DE POTENCIA DEL MOLINO
EN FUNCION DE LA LONGITUD DEL MOLINO"

LONGITUD DEL MOLINO	L	m - ft	1.8288- 6.00	2.1336- 7.00	2.4384. 8.00	2.7432- 9.00	3.0480- 10.00	3.3528- 11.00
Diámetro del molino	D	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fración del volumen del molino ocupado	Vb	%	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Fración de la velocidad crítica empleada	fCs	%	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Diámetro máximo de barra	R	mm - in	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00
Peso volumétrico de las barras	Pv	Kg/dm ³ -lb/ft ³	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00
Longitud de las barras	Lr	m - ft	1.6764- 5.5	1.9812- 6.5	2.2860- 7.5	2.59 - 8.5	2.8956- 9.5	3.2004- 10.5
Tamaño de partícula en la descarga	P	micrómetros	200	200	200	200	200	200
Tamaño de partícula en la alimentación	F	micrómetros	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Densidad del mineral	d	g/cm ³	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Índice de trabajo	W _i	KWH/T-KWH/sT	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00
Demanda de potencia para mover las barras	KW _r	KWH/T-KWH/sT	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797- 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078
Carga de barras	Cw	T - sT	17.128 - 18.868	20.243 - 22.299	23.358 - 25.730	26.472 - 29.160	29.586 - 32.591	32.701 - 36.022
Demanda de potencia del molino	KM	KW - HP	133.552 -179.093	157.834 -211.655	182.116 -244.217	205.398 -276.779	230.680 - 309.342	254.962 - 341.904
Tamaño de barras (calculado)	R	mm - in	100.84 - 4.00	100.84 - 4.00	100.84 - 4.00	100.84 - 4.00	100.84 - 4.00	100.84 - 4.00
Velocidad crítica	Cs	r.p.m.	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09
Potencia requerida por el mineral	W	KWH/T-KWH/sT	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910
Tamaño óptimo del mineral en la alimentación	Fo		18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8
Relación de trituración	RT	-	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Relación de trituración ideal	RTo	-	11.4375	12.0625	12.6875	13.3125	13.9375	14.5625
Factor para molinda de barras con relación - de trituración baja	E _{fb}	-	1.2763	1.3225	1.3940	1.4607	1.5325	1.6096
Factor para molinos de barras operando como - circuito único de molinda con alimentación - de un circuito de trituración cerrada	E _{fa}	-	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Demanda corregida de potencia	KMc	KWH/T-KWH/sT	6.594 - 5.985	6.885 - 6.250	7.203 - 6.53	7.547 - 6.851	7.919 - 7.188	8.317 - 7.550
C a p a c i d a d	T	T/d - sT/d	486.05 -535.42	550.18 -606.05	606.83 -668.46	656.35 -723.01	699.17 - 770.19	735.75 - 810.48

Tipo de operación - húmeda
C i r c u i t o - Único
Medios de molinda - barras de acero

VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA, CARGA DE BARRAS Y DEMANDA DE POTENCIA DEL MOLINO EN FUNCION DE LA LONGITUD DEL MOLINO



"VARIACION DE LA CAPACIDAD, CARGA DE BARRAS, DEMANDA DE POTENCIA DEL MOLINO Y DEMANDA Y DEMANDA DE POTENCIA PARA MOVER LAS BARRAS
EN FUNCION DE LA FRACCION DEL VOLUMEN DEL MOLINO OCUPADO"

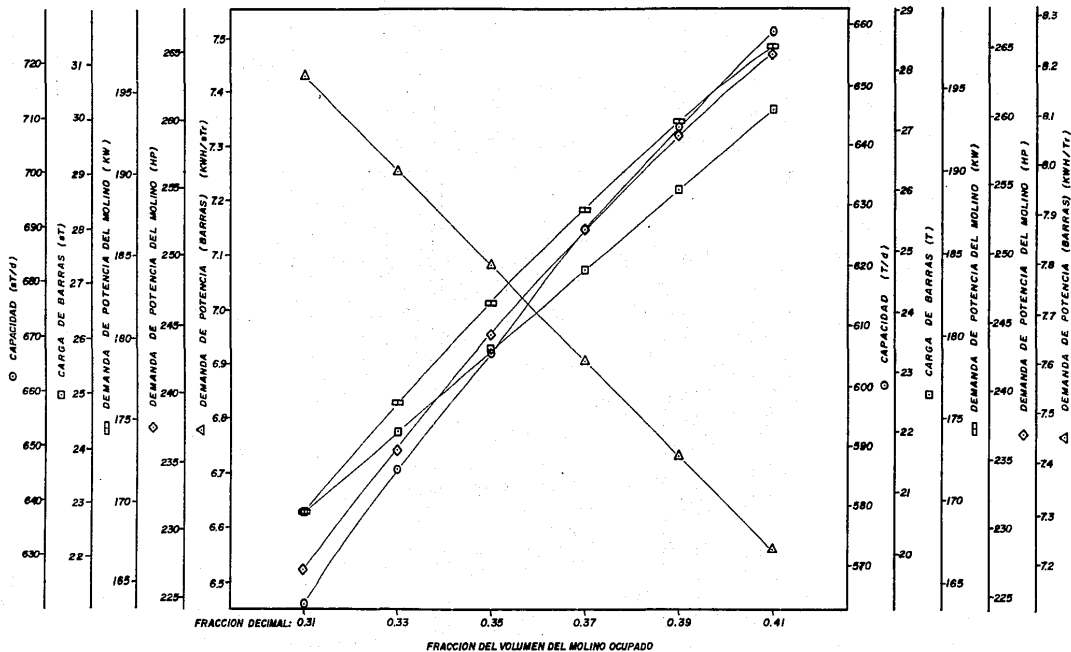
FRACCION DEL VOLUMEN DEL MOLINO OCUPADO	Vb	%	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.41
Diámetro del molino	D	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Longitud del molino	L	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fracción de la velocidad crítica empleada	fCs	%	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Diámetro máximo de barra	R	mm - in	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00
Peso volumétrico de las barras	Pv	Kg/dm ³ - lb/ft ³	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00
Longitud de las barras	Lr	m - ft	2.286 - 7.5	2.286 - 7.5	2.286 - 7.5	2.286 - 7.5	2.286 - 7.5	2.286 - 7.5
Tamaño de partícula en la descarga	P	micrómetros	200	200	200	200	200	200
Tamaño de partícula en la alimentación	F	micrómetros	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Densidad del mineral	d	g/cm ³	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Índice de trabajo	Wi	KWH/T-KWH/sT	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00
Demanda de potencia para mover las barras	KH-	KWH/T-KWH/sT	8.179 - 7.425	7.987 - 7.251	7.797 - 7.078	7.606 - 6.905	7.415 - 6.731	7.224 - 6.558
Carga de barras	Cw	T - sT	20.688 - 22.789	22.022 - 24.259	23.358 - 25.730	24.692 - 27.200	26.027 - 28.670	27.361 - 30.140
Demanda de potencia del molino	KW	KW - HP	169.203 -226.901	175.914 -235.901	182.116 -244.217	187.607 -251.850	192.990 - 258.799	197.662 - 265.065
Tamaño de barras (calculado)	R	mm - in	100.84 - 3.97	100.84 - 3.97	100.84 - 3.97	100.84 - 3.97	100.84 - 3.97	100.84 - 3.97
Velocidad crítica	Cs	r.p.m.	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09
Potencia requerida por el mineral	W	KWH/T-KWH/sT	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910
Tamaño óptimo del mineral en la alimentación	Fo	micrómetros	16 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8
Relación de trituración	RT	-	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Relación de trituración ideal	RTo	-	12.6875	12.6875	12.6875	12.6875	12.6875	12.6875
Factor para molinos de barras con relación - de trituración baja	EF ₁	-	1.3940	1.3940	1.3940	1.3940	1.3940	1.3940
Factor para molinos de barras operando como - circuito único en alimentación de un circuito de trituración cerrada	EF ₂	-	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Demanda corregida de potencia	KMc	KWH/T-KWH/sT	7.203 - 6.539	7.20 - 6.539	7.203 - 6.539	7.203 - 6.359	7.203 - 6.539	7.203 - 6.539
C a p a c i d a d	T	T/d - sT/d	563.80 -621.07	586.1 - 645.70	606.83 -668.46	625.79 -689.35	643.06 - 708.38	658.63 - 725.53

Tipo de operación - húmeda

C i r c u i t o - único

Medios de molienda - barras de acero

VARIACION DE LA CAPACIDAD, CARGA DE BARRAS, DEMANDA DE POTENCIA DEL MOLINO Y DEMANDA DE POTENCIA PARA MOVER LAS BARRAS EN FUNCION DE LA FRACCION DEL VOLUMEN DEL MOLINO OCUPADO



"VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA DE POTENCIA DEL MOLINO, DEMANDA DE POTENCIA PARA MOVER LAS BARRAS Y TAMAÑO DE LA BARRA
EN FUNCION DE LA FRACCION DE LA VELOCIDAD CRITICA DEL MOLINO"

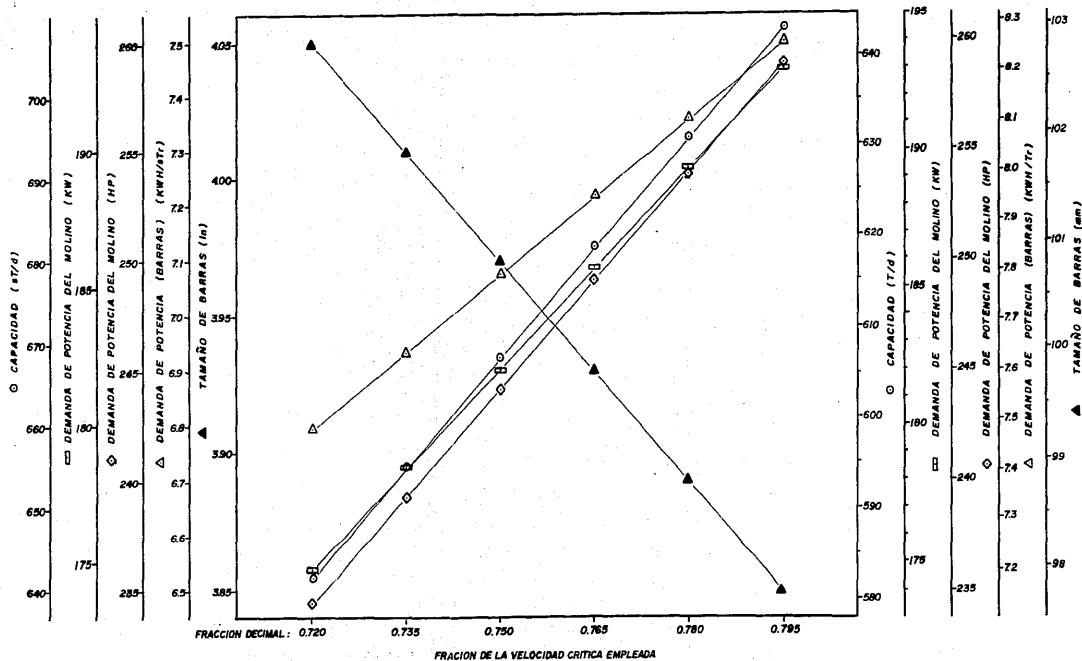
FRACCION DE LA VELOCIDAD CRITICA EMPLEADA	FCs	%	0.720	0.735	0.750	0.765	0.780	0.795
Diámetro del molino	D	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Longitud del molino	L	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fracción del volumen del molino ocupado	Vb	%	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Diámetro máximo de barra	R	mm - in	114.30 - 4.50	114.30 - 4.50	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00
Peso volumétrico de las barras	Pv	Kg/dm ³ -lb/ft ³	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00
Longitud de las barras	Lr	m - ft	2.286 - 7.5	2.286 - 7.5	2.286 - 7.5	2.286 - 7.5	2.286 - 7.5	2.286 - 7.5
Tamaño de partícula en la descarga	P	micrómetros	200	200	200	200	200	200
Tamaño de partícula en la alimentación	F	micrómetros	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Densidad del mineral	d	g/cm ³	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Índice de trabajo	Wi	KWH/T-KWH/ST	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00
Demanda de potencia para mover las barras	KW _r	KWH/T-KWH/ST	7.485 - 6.795	7.640 - 6.936	7.797 - 7.078	7.953 - 7.220	8.109 - 7.361	8.265 - 7.503
Carga de barras	Cw	T - sT	23.358 - 25.730	23.35 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730
Demanda de potencia del molino	KW	KW - HP	174.831 -234.448	178.473 -239.333	182.116 -244.217	185.758 -249.102	189.400 -253.986	193.043 - 258.870
Tamaño de barras (calculado)	R	mm - in	102.87 - 4.05	101.85 - 4.01	100.84 - 3.97	99.82 - 3.93	98.81 - 3.	99.79 - 3.85
Velocidad crítica	Cs	r.p.m.	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09
Potencia requerida por el mineral	W	KWH/T-KWH/ST	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910
Tamaño óptimo en la alimentación	Fo	micrómetros	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8
Relación de trituración	RT	-	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Relación de trituración ideal	RTo	-	12.687	12.687	12.687	12.687	12.687	12.687
Factor para molinos de barras con relación de trituración baja	Ef _l	-	1.3940	1.3940	1.3940	1.3940	1.3940	1.3940
Factor para molinos de barras operando como - circuito único con alimentación de un circuito de trituración cerrado	Ef ₂	-	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Demanda corregida de potencia	KW _c	KWH/	7.203 - 6.539	7.203 - 6.539	7.203 - 6.539	7.203 - 6.539	7.203 - 6.539	7.203 - 6.539
Capacidad	T	T/d - sT/d	582.56 -641.72	594.69 -655.09	606.83 -668.46	618.97 -681.83	631.10 - 695.20	643.24 - 708.57

Tipo de operación - húmeda

C i r c u i t o - único

Medios de molienda - barras de acero

VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA DE POTENCIA DEL MOLINO, DEMANDA DE POTENCIA PARA MOVER LAS BARRAS Y TAMAÑO DE LAS BARRAS EN FUNCION DE LA FRACCION DE LA VELOCIDAD CRITICA DEL MOLINO



"VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA Y POTENCIA REQUERIDA POR EL MINERAL EN FUNCION DEL TAMAÑO DEL MINERAL EN LA DESCARGA"

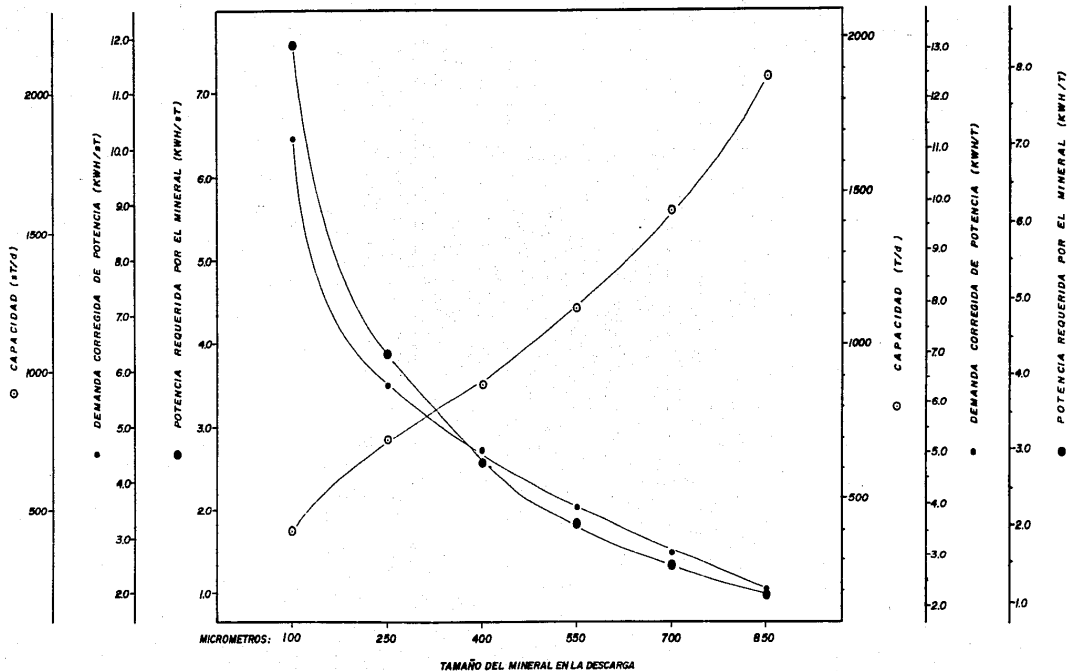
TAMAÑO DE PARTICULA EN LA DESCARGA	P	micrómetros	100	250	400	550	700	850
Diámetro del molino	D	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Longitud del molino	L	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fracción del volumen del molino ocupado	Vb	%	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Fración de la velocidad crítica empleada	fCs	%	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Diámetro máximo de barra	R	mm - in	152.4 - 6.00	152.4 - 6.00	152.4 - 6.00	152.4 - 6.00	152.4 - 6.00	152.4 - 6.00
Peso volumétrico de las barras	Pv	Kg/dm ³ -lb/ft ³	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00
Longitud de las barras	Lr	m - ft	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50
Tamaño de partícula en la alimentación	F	micrómetros	1700	1700	1700	1700	1700	1700
Densidad del mineral	d	g/cm ³	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
Índice de trabajo	Wi	KWH/T-KWH/ST	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00
Demanda de potencia para mover las barras	KW _r	KWH/T-KWH/ST	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078
Carga de barras	Cw	T - ST	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730
Demanda de potencia del molino	KW	KW - HP	182.116 -244.217	182.116 -244.217	182.116 -244.217	182.116 -244.217	182.116 -244.217	182.116 -244.217
Tamaño de barras (calculado)	R	mm - in	149.86 - 5.90	149.86 - 5.90	149.86 - 5.90	149.86 - 5.90	149.86 - 5.90	149.86 - 5.90
Velocidad crítica	Cs	r.p.m.	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09
Potencia requerida por el mineral	W	KWH/T-KWH/ST	8.339 - 7.570	4.296 - 3.800	2.831 - 2.570	2.027 - 1.840	1.487 - 1.350	1.102 - 1.000
Tamaño óptimo de alimentación	Fo	micrómetros	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8
Relación de trituración	RT	-	17.00	6.800	4.250	3.0909	2.4286	2.000
Relación de trituración ideal	RT _o	-	12.6875	12.6875	12.6875	12.6875	12.6875	12.6875
Factor para molindas en húmedo	EF ₁	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor para molinos de barras con relación - de trituración baja	EF ₂	-	1.1240	1.2311	1.4746	1.6140	1.7016	1.7615
Factor para molinos de barras operando como - circuito único con alimentación de un circuito de trituración cerrada	EF ₃	-	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Demanda corregida de potencia	KWc	KWH/T-KWH/ST	11.254 - 10.217	6.345 - 5.760	5.019 - 4.556	3.923 - 3.561	3.046 - 2.765	2.339 - 2.123
Capacidad	T	T/d - ST/d	388.37 -427.61	688.8 -758.78	870.91 -959.36	1114.22 -1227.39	1434.79 -1580.52	1868.48 -2058.25

Tipo de operación - húmeda

Circuito - único

Medios de molinda - barras de acero

VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA Y POTENCIA REQUERIDA POR EL MINERAL EN FUNCION DEL TAMAÑO DEL MINERAL EN LA DESCARGA



"VARIACION DEL TAMARO DE BARRA EN FUNCION DE LA DENSIDAD DEL MINERAL"

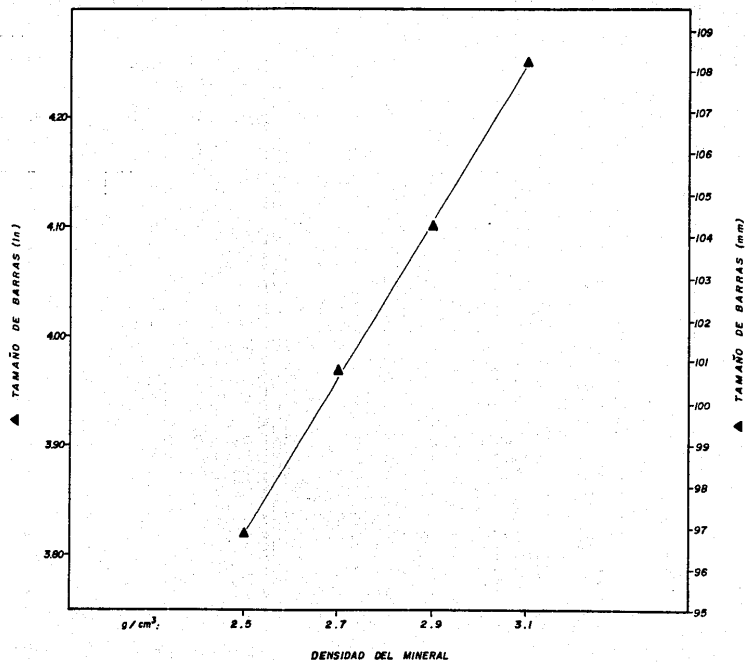
DENSIDAD DEL MINERAL	d	g/cm ³	2.50	2.70	2.90	3.1
Diámetro del molino	D	m - ft	2.4384 - 8.00	2.4384 - 8.00	2.4384 - 8.00	2.4384 - 8.00
Longitud del molino	L	m - ft	2.4384 - 8.00	2.4384 - 8.00	2.4384 - 8.00	2.4384 - 8.00
Fracción del volumen del molino ocupado	Yb	%	0.35	0.35	0.35	0.35
Fracción de la velocidad crítica empleada	fCs	%	0.75	0.75	0.75	0.75
Diámetro máximo de barra	R	mm - in	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	114.3 - 4.50	114.3 - 4.50
Peso volumétrico de las barras	Pv	Kg/dm ³ - lb/ft ³	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00
Longitud de las barras	Lr	m - ft	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50
Tamaño de partículas en la descarga	P	micrómetros	100	100	100	100
Tamaño de partículas en la alimentación	F	micrómetros	1000	1000	1000	1000
Índice de trabajo	Wi	KWH/T-KWH/sT	11.0156-10.00	11.0156-10.00	11.0156-10.00	11.0156-10.00
Demanda de la potencia para mover las barras	KMr	KWH/T-KWH/sT	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078
Carga de barras	Cw	T -	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730
Demanda de potencia del molino	KW	KW - HP	182.116 -244.217	182.116 -244.217	182.116 -244.217	182.116 -244.217
Tamaño de barras (calculado)	R	mm - in	97.03 - 3.82	100.84 - 3.97	104.39 - 4.11	107.95 - 4.25
Velocidad crítica	Cs	r.p.m.	27.09	27.09	27.09	27.09
Potencia requerida por el mineral	W	KWH/T-KWH/sT	7.53 - 6.840	7.53 - 6.840	7.535 - 6.840	7.535 - 6.840
Tamaño óptimo de la alimentación	Fo	micrómetros	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8
Relación de trituración	RT	-	10.00	10.00	10.00	10.00
Relación de trituración ideal	RTo	-	12.6875	12.6875	12.6875	12.6875
Factor para molinos de barras con relación de trituración baja	EF ₆	-	1.0482	1.0482	1.0482	1.0482
Factor para molinos de barras operando como - circuito único de molenda con alimentación - de un circuito de trituración cerrada	EF ₈	-	1.20	1.20	1.20	1.20
Demanda corregida de potencia	KMc	KWH/T-KWH/sT	9.47 - 8.600	9.47 - 8.600	9.47 - 8.600	9.47 - 8.600
Capacidad	T	T/d - sT/d	461.35 -508.21	461.35 -508.21	461.35 -508.21	461.35 -508.21

Tipo de operación - húmeda

C i r c u i t o - único

Medios de molienda - barras de acero

VARIACION DEL TAMAÑO DE BARRAS EN FUNCION DE LA DENSIDAD DEL MINERAL



"VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA, POTENCIA REQUERIDA POR EL MINERAL, TAMAÑO DE BARRA Y TAMAÑO OPTIMO DEL MINERAL
EN LA ALIMENTACION EN FUNCION DEL INDICE DE TRABAJO"

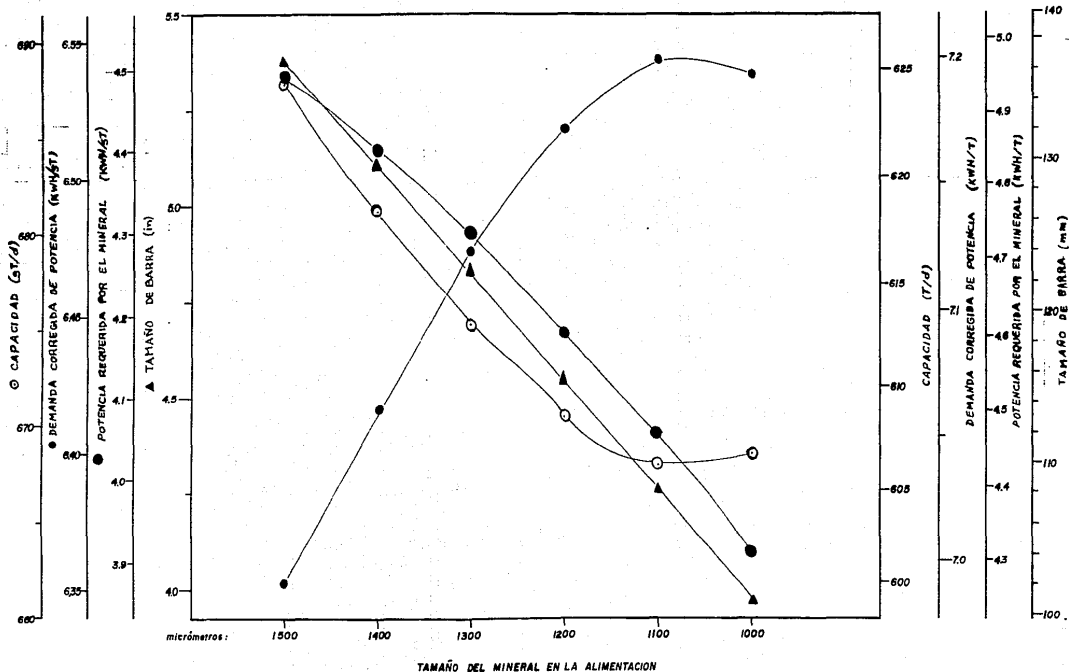
INDICE DE TRABAJO	Wi	KWh/T-KWh/sT	6.0586- 5.50	7.7109- 7.00	9.3633- 8.50	11.0156- 10.00	12.6680- 11.50	14.3203- 13.00
Diámetro del molino	D	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Longitud del molino	L	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fracción del volumen del molino	Vb	%	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Fracción de la velocidad crítica empleada	rCs	%	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Diámetro máximo de barra	R	mm - in	76.20 - 3.00	88.90 - 3.50	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	114.30 - 4.50	127.0 - 5.00
Peso volumétrico de las barras	Pv	Kg/dm ³ -lb/ft ³	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00
Longitud de las barras	Lr	m - ft	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50
Tamaño de partícula en la descarga	P	micrómetros	200	200	200	200	200	200
Tamaño de partícula en la alimentación	F	micrómetros	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Densidad del mineral	d	g/cm ³	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Demanda de potencia para mover las barras	KMr	KWh/T-KWh/sT	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078
Carga de barras	Cw	T - sT	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730
Demanda de potencia del molino	KW	KW - HP	182.116 -244.217	182.116 -244.217	182.116 -244.217	182.116 -244.217	182.116 -244.217	182.116 -244.217
Tamaño de barras (calculado)	R	mm - in	74.68 - 2.94	84.3 - 3.32	92.96 - 3.66	100.84 - 3.97	107.95 - 4.25	114.81 - 4.52
Velocidad crítica	Cs	r.p.m.	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09
Potencia requerida por el mineral	N	KWh/T-KWh/sT	2.368 - 2.150	3.018 - 2.740	3.657 - 3.320	4.307 - 3.910	4.957 - 4.500	5.596 - 5.080
Tamaño óptimo del mineral en la alimentación	F _i	micrómetros	2 598.6	21 804.3	19 787.1	18 242.8	17 011.5	16 000.0
Relación de trituración	RT	-	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Relación de trituración ideal	RTo	-	12.6875	12.6875	12.6875	12.6875	12.6875	12.6875
Factor para molinos de barras con relación - de trituración baja	E _k	-	1.3940	1.3940	1.3940	1.3940	1.3940	1.3940
Factor para molinos de barras operando como - circuito único de molienda con alimentación - de un circuito de trituración cerrada	E _g	-	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Demanda corregida de potencia	KMc	KWh/T-KWh/sT	3.961 - 3.596	5.04 - 4.577	6.122 - 5.558	7.203 - 6.539	8.283 - 7.519	9.363 - 8.500
C a p a c i d a d	T	T - sT/d	1103.33 -1215.39	865.90 -954.95	713.92 -786.43	606.83 -668.46	527.68 -581.27	466.79 -514.20

Tipo de operación - húmeda

C i r c u i t o - único

Medios de molienda - barras de acero

VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA, POTENCIA REQUERIDA POR EL MINERAL Y TAMAÑO DE BARRAS EN FUNCION DEL TAMAÑO DEL MINERAL EN LA ALIMENTACION



TAMAÑO DEL MINERAL EN LA ALIMENTACION

"VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA Y POTENCIA REQUERIDA POR EL MINERAL EN FUNCION DE LA RELACION DE TRITURACION"

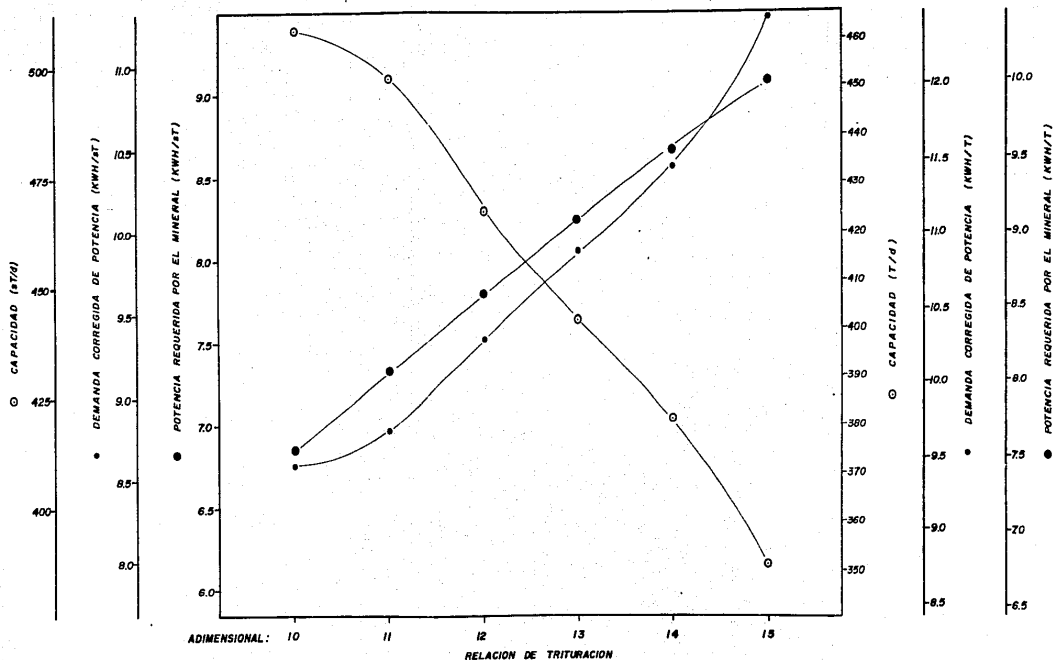
RELACION DE TRITURACION	RT	-	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
Diámetro del molino	D	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Longitud del molino	L	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fracción del volumen del molino	Vb	%	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Fracción de la velocidad crítica empleada	fCs	%	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Diámetro máximo de barra	R	mm - in	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00
Peso volumétrico de las barras	Pv	Kg/dm ³ -lb/ft ³	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00
Longitud de las barras	Lr	m - ft	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50
Tamaño de partícula en la descarga	P	micrómetros	100.00	90.9091	83.3333	76.9231	71.4286	66.6667
Tamaño de partícula en la alimentación	F	micrómetros	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Densidad del mineral	d	g/cm ³	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Índice de trabajo	Wl	KWH/T-KWH/sT	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00
Demanda de potencia para mover las barras	KWr	KWH/T-KWH/sT	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078
Carga de barras	Cw	T - sT	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730
Demanda de potencia del molino	KM	KW - HP	182.116-244.217	182.116 -244.217	182.116 -244.217	182.116 -244.217	182.116 -244.217	182.116 -244.217
Tamaño de barras (calculado)	R	mm - in	100.84 - 3.97	100.84 - 3.97	100.84 - 3.97	100.84 - 3.97	100.84 - 3.97	100.84 - 3.97
Velocidad crítica	Cs	r.p.m.	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09
Potencia requerida por el mineral	W	KWH/T-KWH/sT	7.535 - 6.640	8.074 - 7.330	8.581 - 7.790	9.077 - 8.240	9.550 - 8.670	10.013 - 9.090
Tamaño óptimo del mineral en la alimentación	Fo	micrómetros	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8
Relación de trituración	RT	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Relación de trituración ideal	RTo	-	12.6875	12.6875	12.6875	12.6875	12.6875	12.6875
Factor para molinos de barras con relación de trituración baja	EF _b	-	1.0357	1.0115	1.0007	1.0032	1.0190	1.0482
Factor para molinos de barras operando como circuito único de molienda con alimentación de un circuito de trituración cerrada	EF _c	-	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Demanda corregida de potencia	KWc	KWH/T-KWH/sT	9.474 - 8.600	9.684 - 8.791	10.300 - 9.35	10.892 - 9.887	11.461 - 10.404	12.438 - 11.291
Capacidad	T	T/d - sT/d	461.35 -508.21	451.35 -497.19	424.34 -467.43	401.29 -442.06	381.38 -420.11	351.41 -387.11

Tipo de operación - húmeda

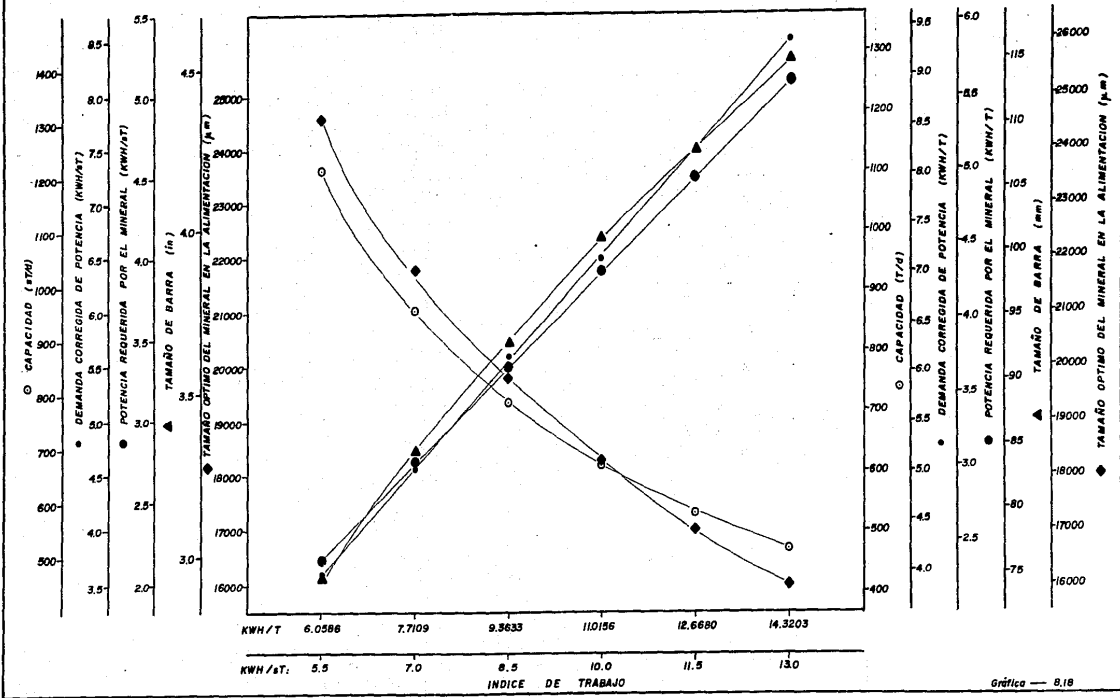
Circuito - único

Medios de molienda - barras de acero

VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA Y POTENCIA REQUERIDA POR EL MINERAL EN FUNCION DE LA RELACION DE TRITURACION



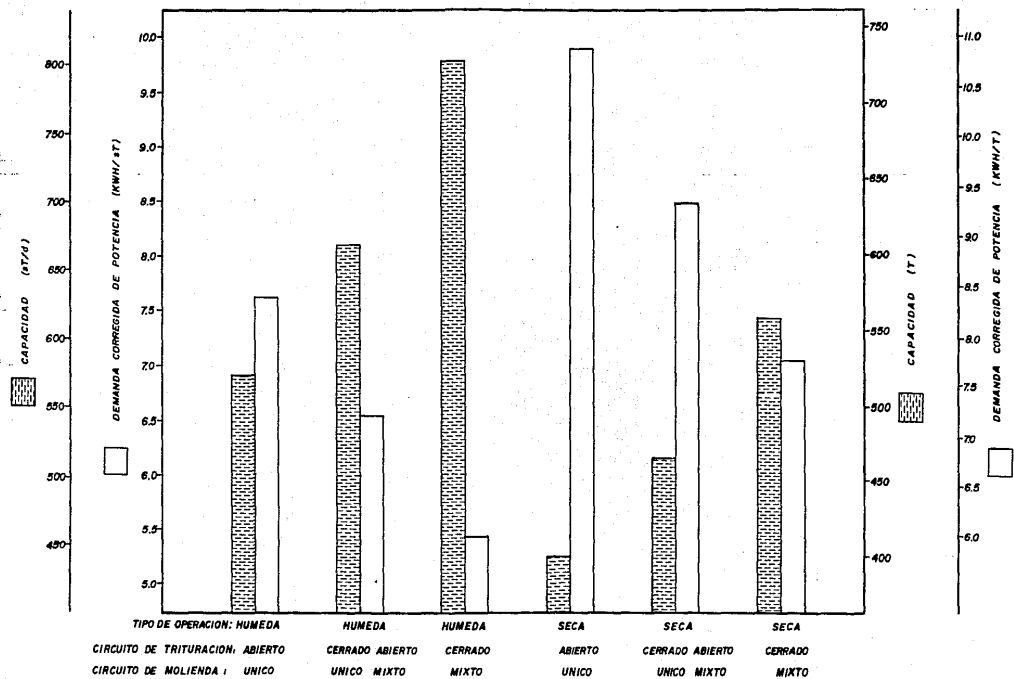
VARIACION DE LA CAPACIDAD, DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA, POTENCIA REQUERIDA POR EL MINERAL, TAMAÑO DE BARRA Y TAMAÑO OPTIMO DEL MINERAL EN LA ALIMENTACION EN FUNCION DEL INDICE DE TRABAJO



"VARIACION DE LA CAPACIDAD Y DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA EN FUNCION DEL TIPO DE OPERACION, DEL CIRCUITO DE TRITURACION QUE ALIMENTA
EL MOLINO Y DEL CIRCUITO QUE ESTA OPERANDO EN MOLIENDA"

TIPO DE OPERACION	-	-	HUMEDA	HUMEDA	HUMEDA	SECA	SECA	SECA
Circuito de trituración	-	-	Abierto	cerrado-abierto	Cerrado	Abierto	Cerrado-Abierto	Cerrado
Circuito de molienda	-	-	único	único-mixto	Mixto	Unico	Unico-Mixto	Mixto
Diámetro del molino	D	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Longitud del molino	L	m - ft	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00	2.4384- 8.00
Fracción del volumen del molino ocupado	Vb	%	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Fracción de la velocidad crítica empleada	fCs	%	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Diámetro máximo de barra	R	mm - in	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00	101.6 - 4.00
Peso volumétrico de las barras	Pv	Kg/dm ³ -lb/ft ³	6.25-390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00	6.25 -390.00
Longitud de las barras	Lr	m - ft	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50	2.286 - 7.50
Tamaño de partícula en la descarga	P	micrómetros	200	200	200	200	200	200
Tamaño de partícula en la alimentación	F	micrómetros	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Densidad del mineral	d	g/cm ³	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Índice de trabajo	W	KWH/T-KWH/ST	11.0156- 10.00	1.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00	11.0156- 10.00
Demanda de potencia para mover las barras	KW	KWH/T-KWH/ST	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078	7.797 - 7.078
Carga de barras	Cw	T - st	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730	23.358 - 25.730
Demanda de potencia del molino	KM	KH - HP	182.116 -244.217	182.116 -244.217	182.116 -244.217	182.116 -244.217	182.116 -244.217	182.116 -244.217
Tamaño de barras (calculado)	R	mm - in	100.84 - 3.97	100.84 - 3.97	100.84 - 3.97	100.84 - 3.97	100.84 - 3.97	100.84 - 3.97
Velocidad crítica	Cs	r.p.m.	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09	27.09
Potencia requerida por el mineral	W	KWH/T-KWH/ST	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910	4.307 - 3.910
Tamaño óptimo del mineral en la alimentación	F ₀	micrómetros	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8	18 242.8
Relación de trituración	RT	-	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Factor de eficiencia por tipo de operación	EF ₁	-	1.00	1.00	1.00	1.30	1.30	1.30
Relación de trituración ideal	RT ₀	-	12.6875	12.6875	12.6875	12.6875	12.6875	12.6875
Factor para molinos de barras con relación de trituración baja	EF ₆	-	1.3940	1.3940	1.3940	1.3940	1.3940	1.3940
Factor para molinos de barras operando con diferentes circuitos de trituración y molienda	EF ₈	-	1.40	1.0	1.00	1.40	1.20	1.00
Demanda corregida de potencia	KWc	KWH/T-KWH/ST	8.403 - 7.628	7.20 - 6.53	6.002 - 5.449	10.92 - 9.917	9.363 - 8.500	7.803 - 7.083
Capacidad	T	T/d - st/d	520.14 -572.97	606.83 -668.46	728.19 -802.15	400.11 -440.74	466.79 -514.20	560.15 -617.04

VARIACION DE LA CAPACIDAD Y DEMANDA CORREGIDA DE POTENCIA EN FUNCION DE EL TIPO DE OPERACION, DEL CIRCUITO DE TRITURACION QUE ALIMENTA EL MOLINO Y DEL CIRCUITO QUE ESTA OPERANDO EN MOLIENDA



Los factores estudiados indican la influencia que tienen la variación de los mismos en los parámetros de operación. A continuación se resume de forma sencilla la interpretación de los resultados obtenidos:

- DIAMETRO DEL MOLINO.

Este parámetro influye en una gran proporción en la operación de molienda; se observa que a medida que este aumenta, decrece la velocidad crítica del molino y el tamaño de bola y/o barra empleado; ésto es ocasionado por el incremento de altura en la caída de los medios de molienda.

Como consecuencia de un gran diámetro se tiene una carga de medios molidores mayor, los cuales a su vez requieren de que la demanda de potencia del molino se incremente. El empleo de diámetros diferentes de 8 pies (base considerada en la determinación de las ecuaciones) implica que la demanda de potencia del molino sea corregida, obteniendo que esta decrece cuando aumente el diámetro. El parámetro que se ve más afectado es la capacidad porque aumenta considerablemente con el incremento del diámetro.

- LONGITUD DEL MOLINO.

De manera similar al diámetro, la longitud influye en la cantidad de medios molidores, la cual aumenta a medida que es mayor el volumen del molino, debido a que el volumen es función de la longitud del mismo. La demanda de potencia del molino aumenta provocada por el incremento en la carga de los medios molidores.

En este caso existe un incremento en la capacidad de molienda, pero ésta variación es menos marcada que con el diámetro, lo que indica que la influencia de la variación de la longitud es menor.

- FRACCION DEL VOLUMEN DEL MOLINO OCUPADO.

Este factor está ligado a la carga de los medios moledores y ambos varían similarmente, por lo tanto, si se incrementa el volumen ocupado por los medios de molienda, la carga de los mismos es mayor y esto requiere de una potencia mayor para ser movidos.

Esta es la razón por la que la demanda de potencia del molino aumenta.

Finalmente, se concluye que: Cuando la carga de medios moledores ocupa un volumen mayor del molino, se obtiene una capacidad superior.

- VELOCIDAD CRITICA DEL MOLINO.

Al aumentar la velocidad del molino, los medios moledores elevan su velocidad y al caer se realiza la molienda por impacto, debido a la fuerza que presentan al caer. Por esta razón, el tamaño de las bolas y/o barras es menor cuando se trabaja con velocidades elevadas.

Si la velocidad aumenta, la potencia para mover las barras también crece repercutiendo a la vez en la demanda de potencia del molino.

La capacidad del molino queda por tanto afectada por este factor, aumentando su valor cuando la velocidad de operación es mayor y viceversa.

- TAMAÑO DEL MINERAL EN LA DESCARGA.

El tamaño del mineral en el producto es un dato que modifica los parámetros de operación, puesto que si se requiere de un material más fino la potencia necesaria para obtenerlo es mayor; este valor se ve reflejado en la demanda corregida de potencia que también aumenta.

El tamaño de las partículas en la descarga es limitante del valor que se puede esperar en la capacidad del equipo, por tanto, para moliendas finas, la capacidad disminuye y viceversa.

- TAMAÑO DEL MINERAL EN LA ALIMENTACION.

Este factor es fácil de interpretar. Si se tiene un tamaño grande en las partículas de la alimentación, es necesario introducir medios molidores de tamaño mayor. También el tamaño de partícula determina la demanda de potencia para moler el mineral, aumentando o disminuyendo los dos para moler al mismo tiempo.

En este caso, se debe cuidar también que el tamaño en la alimentación no sobrepase el valor determinado como óptimo para ese mineral; cuando esto sucede se debe corregir la demanda requerida por el molino.

Finalmente, la capacidad de la operación depende del tamaño del material que se introduce al equipo y es sencillo deducir que con -- partículas grandes de mineral, la capacidad de molienda disminuye y al contrario, si se introducen materiales finos, la capacidad es mayor.

- DENSIDAD DEL MATERIAL

La densidad del material es un parámetro que sólo afecta al tamaño de los medios molidores, requiriendo de bolas y barras de mayor -- diámetro cuando la densidad del mineral aumenta.

Los demás parámetros permanecen constantes, bajo las mismas condiciones de operación.

- INDICE DE TRABAJO

La resistencia que ofrece el mineral a ser quebrado determina el -- tamaño de los medios molidores, en el caso de materiales cuyo índice de trabajo es alto se necesitan bolas y barras de diámetro mayor. Por lo tanto, en esta situación la demanda de potencia requerida por el mineral aumenta.

Cuando se presenta esta situación conviene reducir el tamaño de la partícula en la alimentación, como se puede ver en el cálculo del tamaño óptimo del mineral en la alimentación.

La demanda corregida de potencia debe ser re-evaluada cuando el tamaño de la alimentación es superior al óptimo calculado, en este caso si el índice de trabajo se incrementa, la demanda corregida de potencia aumenta, reduciendo a su vez la capacidad.

- RELACION DE TRITURACION

El grado de reducción de tamaño es un dato importante en el cálculo de la potencia requerida por el mineral, siendo esta valor mayor cuando la relación de trituración se incrementa.

En el estudio de este parámetro, se efectuó una corrección en la demanda de potencia del molino por operar con valores bajos en la relación de trituración. Si este valor es alto, la demanda corregida de potencia se incrementa y la capacidad se reduce.

- TIPO DE OPERACION, CIRCUITO Y DESCARGA

En esta serie se varían tres parámetros a la vez por lo tanto, no se presentan como gráficas los resultados, sino como diagramas de barras.

Se observa que cuando la operación se lleva a cabo en seco, la demanda corregida de potencia es mayor que si se efectúa en húmedo y la capacidad que se alcanza es menor.

Las operaciones que se realizan en húmedo proporcionan distintas capacidades dependiendo del tipo de descarga que presente al cir--

cuito. La capacidad es menor cuando se opera en circuito abierto -
que cuando se opera con un circuito cerrado.

CONCLUSIONES

9. CONCLUSIONES.

Las etapas de reducción de tamaño son muy importantes en el proceso de beneficio de los minerales, ya que las operaciones metalúrgicas de concentración, se realizan con tamaños de partículas pequeños (del orden de unos cuantos micrómetros).

La relación de reducción en molienda es mucho mayor que en trituración por lo que la energía y el acero consumidos, son superiores en esta etapa.

Un molino es un equipo que opera a consumo constante de potencia y de acero, independientes ambos de la eficiencia de la operación.

El incremento de los costos de energía a nivel mundial ocasiona que el costo del proceso de molienda ascienda rápidamente. Por tanto, si el consumo de potencia y acero no se puede reducir, se debe tratar de convertir la energía aplicada en trabajo de fracturamiento.

El trabajo de fracturamiento en el proceso de molienda es función de diversos factores, los cuales están relacionados entre sí, para producir una mayor eficiencia en la operación, siempre y cuando se trabaje en las condiciones óptimas.

Los metales empleados como medios de molienda o revestimientos son muy importantes en el trabajo de reducción de tamaño; las composicio-

nes de los aleantes y el tratamiento del material debe controlarse cuidadosamente para evitar defectos que disminuyan la eficiencia de la operación.

Un molino desarrolla su máxima eficiencia cuando los medios de molienda ocupan cerca del 50% del volumen total, debido a que el centro de gravedad se acerca al centro del molino.

En los molinos operados por derrame, los diámetros de las boquillas de alimentación y descarga determinan el volumen que debe estar ocupado por los medios molidores.

El volumen de la pulpa a moler no debe exceder el volumen dejado por los huecos de los medios de molienda.

Un mejor efecto de molienda se obtiene cuando se opera con velocidades próximas al 75% de la velocidad crítica, ya que una velocidad alta, baja la eficiencia y aumenta el desgaste de las bolas así como la demanda de energía y el costo de mantenimiento; mientras que una baja velocidad reduce la capacidad y el desgaste de las bolas, pero aumenta la eficiencia siempre y cuando, la velocidad no sea inferior al 70% de la crítica porque en este punto la molienda se efectúa por fricción.

En molinos de diámetros grandes, la eficiencia mecánica se incrementa de acuerdo al diámetro del molino y los KWH/T requeridos para la-

molienda disminuyen en la misma proporción. Por lo tanto, un aumento en el diámetro del molino, presenta mayor economía debido a que los medios de molienda proporcionan un mayor rendimiento.

Una reducción de tamaño uniforme se logra cuando existe un gradiente de bolas en equilibrio (que aumenta la eficiencia y la capacidad en la molienda); esta carga se logra cuando son máximos el número de puntos de contacto y la superficie de las bolas.

La pulpa a moler debe tener cierta fluidez y a la vez debe ser lo más densa posible para que los sólidos tengan mayor probabilidad de ser molidos al ocupar las zonas de molienda activa.

Si se tiene un diseño adecuado en el revestimiento del molino se optimiza el arrastre de la carga moledora y se evita el deslizamiento entre la misma carga o con el casco del molino.

Un buen diseño en las lánas permite la posibilidad de reducir el diámetro máximo de bola, aumentando al mismo tiempo la superficie y puntos de contacto de la carga moledora, incrementando así la capacidad.

La reducción de tamaño a nivel industrial se lleva a cabo en húmedo para que la superficie (activa) facilite la adsorción de los reactivos en el siguiente paso del proceso de concentración.

La operación en húmedo presenta la ventaja de que la clasificación volumétrica es más fácil y la resistencia de los fragmentos disminuyen en el agua con lo que se reduce el consumo de energía.

La molienda en húmedo se trabaja en circuito cerrado debido a que se puede controlar con eficiencia el tamaño en la descarga, por el empleo del clasificador y se reduce el exceso de finos produciendo un ahorro mayor en la energía.

Existen otros métodos de reducción de tamaño que se caracterizan por la naturaleza de las fuerzas que se aplican y las relaciones de reducción requeridas. Estos métodos requieren de estudios independientes.

TRABAJOS A FUTURO

10. TRABAJOS A FUTURO.

En el presente estudio se analizan algunos factores que intervienen en el proceso de molienda, todas las pruebas realizadas son a nivel laboratorio y el análisis de las mismas sólo se basó en el cálculo de las capacidades de molienda expresadas como gramos netos producidos por minuto.

La importancia del proceso de molienda requiere que se le dé la atención adecuada, por tanto, en seguida se indican algunas sugerencias para continuar el estudio, con el objeto de complementar el tema.

- Determinar los consumos de energía y de los elementos de molienda a partir de las condiciones establecidas.
- Comprobar a nivel industrial los parámetros establecidos.
- Realizar un estudio económico de los costos de operación en la sección de molienda en una planta de beneficio.

Los resultados obtenidos en este trabajo pueden servir como base para el desarrollo de los mismos y pueden llegar a reducir en gran parte los tiempos de experimentación.

BIBLIOGRAFIA

11. BIBLIOGRAFIA

1. J. Ebner. Waagner - Bir6 A.G.

"Reduzca los costos de molienda usando los molinos de bolas con-
blindajes en espiral angular"

Waagner - Bir5 Aktiengesellschaft. Viena, Austria.

2. Chester A. Rowland Jr. and David M. Kjos, Mgr

" Mineral processing plant design "

Rod and Ball Mills. Chapter II

Mining Systems Division

Allis - Chalmers Corporation

3. "Grinding Mills"

Denver Equipment Company

Bulletin No. B2-B34B

4. Marcy

" Rod, Ball, Pebble Mills " (Specifications)

Mine and Smelter Corporation

Manual 812-978

5. Koppers
" Hardinge Grinding Mills "
Koppers Compañy Inc. Mineral Processing Systems Division "
Bulletin 17-D York, PA 17405 U.S.A.

6. Grinding Mills
"For de rock productos, cement, chemical and mining industries"
Allis - Chalmers Mfg. Co. (1951)
Bulletin 07B6718A

7. "How to determine crusher and grinding mills sizes... acurately"
Allis - Chalmers Mfg. Co. (1953)
Bulletin 07R7995A

8. F.C. Bond.
"Crushing and Grinding Calculations"
Allis - Chalmers Mfg. Co. (1954)
Bulletin No. C54-66

9. F.C. Bond.
"Crushing and Grinding Calculations"
Allis - Chalmers Mfg. Co. (1961)
Bulletin No. 07R9235B

10. F.C. Bond
"Metal Wear in Crushing and Grinding"
Allis - Chalmers Mfg. Co.
54th Annual Meeting of American Institute of Chemical Engineers
Houston, Texas (December 3, 1963)
Bulletin No. 07P1701

11. E.J. Pryor
"Mineral Processing"
Elsiever Publishing Co. Ltd.
Third Edition (1965)

12. C.A. Rowland Jr.
" Applying Large Grinding Mills "
Allis - Chalmers Mfg. Co.
Presented at Pacific Southwest Minerals Conference
San Francisco (mayo 27-29, 1970)
Bulletin 07P4276

13. C.A. Rowland Jr.
" Grinding Calculations Related to the Application of Large Rod
and Ball Mills "
Allis - Chalmers Mfg. Co.

Presented to Canadian Mineral Processors
Ontario, Ottawa (January 25, 1972)
Bulletin No. 22P4704

14. C.A. Rowland Jr. -

"Comparison of Work Indices Calculated from Operating Data with
those from Laboratory Test Data"

Allis - Chalmers Mfg. Co.

Presented to the Institution of Mining and Metallurgy
Tenth International Mineral Processing Congress
London (april, 1973)
Bulletin No. 07P5122

15. Nordberg Grinding Mills

" Ball, Rod and Pebble "

Rexnord Incorporation

Nordberg Machinery Group (1973)

16. D.E. Nass

" Stell Grinding Media Used in the United States and Canada "

Preprint No. 16

Symposium, Materials for the Mining Industry
Vall Colorado (July 30 - 31, 1974)

17. C.A. Rowland, Jr and D.M. Kjos
"Autogenous and Semi-autogenous Mills. Selection and Design"
Allis - Chalmers Mfg. Co.
Presented to the Society of Mining Engineers of AIME
Acapulco, México (September, 1974)
Bulletin No. 07P5473

18. F. Milton Lewis, James L. Coburn and Roshan B. Bhappu
" Comminution : A Guide to Size - Reduction System Design "
Mountain States Research and Development
Society of Mining Engineering
(September, 1976)

19. F. Milton Lewis, James L. Coburn and Roshan B. Bhappu
" Comminution : A Guide to Size - Reduction System Design "
Part two of a two part series
Mountain States Research and Development
Society of Mining Engineering
(November, 1976)

20. David J. Dunn
"Optimizing Ball Mill Liners for Production and Economy "
Society of Mining Engineering
(December, 1978)

21. Richard R. Klimpel and Willy Manfroy
" Chemical Grinding Aids for Increasing Throughput in the Wet Grinding of Ores "
American Chemical Society (1978)
Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.
Volumen 17, No. 4

22. Stephen R. Holsinger
" Computer Controlled Grinding Circuit at Silver Bell "
Technical Papers (February, 1979)

23. Philip Rabone
"Concentración de Minerales por Flotación"
Comisión de Fomento Minero
Cuarta Edición, México (1975)

24. " Segundo Simposium sobre Molienda "
Armco Chile S.A.M.I.
Concepción, Chile (7 - 11 de Nov. 1977)

25. A.C. Partidge Ph D.
" Principles of Comminution "

Minerals Engineering Handbook

Editor D. Knott

Copyright Minerals Engineering Society (1978)

26. E.C. Blanc

" Tecnología de los aparatos de fragmentación y clasificación di
mensional "

Tomo I Machacadoras, trituradores y granuladores

Tomo II Molinos y Pulverizadores

Editorial colección rocas y minerales, Madrid (1980)

27. A.J. Lynch

D.W. Fuerstenau/editor consejero

"Circuitos de trituración y molienda de los minerales" Volumen I
Desarrollos de los procesos de minerales

Su simulación, optimización, diseño y control

Editorial colección rocas y minerales, Madrid (1980)

28. George Charles Lowrison

" Crushing and Grinding "

the size reduction of solid materials

Butterworths monographs in Chemistry and Chemical Engineering

London, Boston (1980)