

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

MOLIENDA AUTOGENA

T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P r e s e n t a

PEDRO DOMINGUEZ YAÑEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Universidad Nacional Autónoma de México

CLAS. TESIS 1979
ABO. H. C. 102
FECHA _____
PROC. _____
? _____

MOLLENDIA AUTOGRAFIA



INGENIERO QUIMICO METALURGICO
PEDRO DOMINGUEZ YRIBARRA

Jurado asignado originalmente según

el tema

Presidente:	Prof. Alberto Obregón Pérez
Vocal:	Prof. Kurt Nadler Gundesehimer
Secretario:	Prof. Marco Antonio Chamorro Díaz
1er. Suplente:	Prof. José G. Solorio Munguía
2o. Suplente:	Prof. Enrique Curiel Reyna

Sitio donde se desarrolló el tema: Consortio Minero Benito Juárez

Peña Colorada, S. A.

Nombre completo y firma del sustentante: _____

Pedro Domínguez Yañez

Nombre completo y firma del asesor del tema: _____

Ing. Q.M. Marco Antonio Chamorro -

Díaz.

A MIS PADRES:

Por su dedicación y empeño en bien de mi superación.

A MI ESPOSA:

Por su gran ayuda y comprensión en la -
realización de esta tesis.

AL PERSONAL DE LOS DEPARTAMENTOS DE MOLIENDA Y CONCENTRACION
Y CONTROL DE CALIDAD:

Por la ayuda recibida durante la preparación de mi tesis.

AL ING. JOSE MANUEL REYES LEON:

En su calidad de Jefe del departamento de Molienda y Concentración, por su valiosa colaboración.

AL ING. MARCO ANTONIO CHAMORRO DIAZ:

Por su asesoría en la presentación de este trabajo.

I N D I C E

INTRODUCCION

1. GEOLOGIA DEL YACIMIENTO
 - 1.1 Caracterización para estudio metalúrgico

2. MOLIENDA AUTOGENA
 - 2.1 Antecedentes históricos
 - 2.2 Selección del sistema de molienda
 - 2.3 Características de los molinos autógenos
 - 2.4 Factores básicos en la molienda autógena

3. PRUEBAS Y CALCULOS DE OPERACION DEL MOLINO AUTOGENO
 - 3.1 Constantes
 - 3.2 Variables
 - 3.3 Análisis económico

4. CONCLUSIONES

- APENDICE - A

5. BIBLIOGRAFIA

I N T R O D U C C I O N

La preparación de minerales, fundamentalmente se basa en el aprovechamiento de las diferencias entre las características físicas y químicas y físico - químicas de los minerales; se deberá aplicar el equipo adecuado en cada caso de acuerdo con las características de los minerales en operación, lo que permitirá tener procesos económicos y desde el punto de vista metalúrgico, - eficientes.

Cuando nace la idea de explotar un recurso natural no renovable, simultáneamente se realizan estudios y trabajos que se completan para la evaluación de un proyecto. Al mismo tiempo que se explora geológicamente un yacimiento, se investiga si es utilizable o no directamente en la industria el mineral. Finalmente se estudian varias alternativas desde los puntos de vista de la viabilidad técnica y económica.

Debido a los altos costos y a la reducida disponibilidad de energía eléctrica, las plantas de molienda y concentración de minerales se han visto afectadas; en función de esto y aunado a las características del yacimiento a explotar y de las características del mineral a beneficiar, se han elaborado nuevas técnicas y proyectos en la pulverización de minerales.

Dentro de esta operación, una de sus últimas etapas es la molienda - que es donde se llevará a cabo la reducción de tamaño del mineral hasta el grado deseado.

Existe la molienda primaria y secundaria ya sea de barras, de bolas - o guijarros respectivamente. También se ha desarrollado a últimas fechas - - con resultados satisfactorios la molienda autógena, que como su nombre lo - dice, es la molienda del mineral por sí mismo, es decir, que los agentes - molturadores son trozos de mineral de mayor tamaño que el resto de la ali-- mentación al molino. Para este tipo de molienda son necesarios molinos de - mayor tamaño que los convencionales y sus parámetros de control son dife-- rentes.

Considerando necesario que el estudiante de metalurgia esté informado de las técnicas más recientes de la cominución de minerales, este trabajo enfoca lo más esencial de la teoría y práctica de la molienda autógena.

1.- GEOLOGIA DEL YACIMIENTO

Las rocas expuestas dentro del área de Peña Colorada, constituyen una secuencia estratigráfica que varía en edad desde el Cretácico Inferior al reciente. Se inicia en su base con rocas ígneas intrusivas, entre las que destacan algunos bloques colgantes de caliza y sedimentos arcillosos que están localmente sustituidos por mineral de hierro y metamorfizadas por los procesos asociados al emplazamiento de las rocas intrusivas y la mineralización, la cuál está localizada en la zona de contacto entre las rocas intrusivas y las rocas sedimentarias. Por encima de todas las rocas y minerales antes mencionados se encuentran las brechas y conglomerados de edad Terciaria. Finalmente aparecen depósitos de edad Cuaternaria, formados por aluviones y suelos residuales.

Rocas Igneas.

- a) Intrusivas: En el área de Peña Colorada, este tipo de rocas intrusivas a las calizas y arcillas y sus afloramientos se encuentran en los lugares más erosionados, como son: las laderas de algunos cerros y el lecho de los arroyos. Algunos diques de composición andesítica se encuentran alojados en fracturas que afectaron a las calizas, al mineral de hierro y al conglomerado.

- b) Extrusivas: La única roca de este origen es una andesita afanítica a porfirítica de color gris claro a café y de estructura vesicular.

Rocas Sedimentarias.

Dentro de las rocas sedimentarias existentes, tenemos:

- a) Caliza y Arcillas: Forma capas alternadas que descansan sobre las rocas intrusivas y sobreyacen a los cuerpos minerales.
- b) Brecha: Se localizan sobreyaciendo a las calizas, a las rocas intrusivas y al mineral de hierro. Consiste de fragmentos angulares de rocas ígneas cuyo color varía de gris claro a gris verdoso.
- c) Conglomerado: Está constituido por fragmentos de rocas más antiguas, cementadas por arcillas arenosas.
- d) Depósitos Aluviales: Están constituidas por gravas y arenas. Los suelos cubren en su totalidad la superficie de los cerros.

Rocas Metamórficas.

Consisten de hornfels cuarzo - feldespáticos principalmente.

Origen y Mineralización del Yacimiento.

El yacimiento de Peña Colorada, presenta sus afloramientos distribuidos en una área de 5 kms. La zona mineralizada adopta la forma de un cuerpo tabular próxima a la horizontal cuyo espesor varía entre unos cuantos metros y varias decenas de metros; sus afloramientos se localizan siguiendo la configuración del terreno en las fallas y contrafuertes de los cerros de El Chinforminazo, La Encantada, El Espinazo del Diablo y de La Primorosa.

Este cuerpo mineral es un yacimiento metasomático de contacto, es decir, un cuerpo intrusivo en estado magmático, produjo a través de un metamorfismo térmico la recristalización y la recombinación de los minerales de las rocas ya existentes, así como también en la fase metasomática aportó nuevos elementos. Los sedimentos calcáreos arcillosos, resultaron propicios a los efectos de concentración metálica (mineral masivo). Entre el intrusivo y el cuerpo de magnetita se encuentran mantos de factitas en diversos grados de metamorfismo, los hornfels feldespáticos encuadran el cuerpo mineral.

El mineral de hierro es de dos tipos: Masivo y Diseminado.

El masivo está constituido casi exclusivamente por magnetita y escasa hematita, microcristalinos de estructura compacta que forman cuerpos masivo o pseudoestratificados en la mayor parte de las veces bien definidos, los cuáles cambian-

gradual o bruscamente a mineral diseminado en los hornfels adyacentes, el contenido de magnetita en los hornfels varía desde cantidades ínfimas hasta concentraciones del orden del 60%.

II.1 CARACTERIZACION PARA ESTUDIO METALURGICO.

Desde el punto de vista químico y mineralógico es muy importante conocer en qué especies minerales se encuentra el elemento o compuesto que se pretende recuperar, porque dependiendo de estas propiedades se desarrollará el proceso o procesos de beneficio para esos minerales, para lo cuál es necesario realizar diferentes estudios que se enumeran a continuación:

- 1.- Estudio Megascópico
- 2.- Análisis Cualitativo Espectrográfico
- 3.- Estudio por Difracción de Rayos X
- 4.- Análisis Químico Cuantitativo
- 5.- Estudio por Microscopía Óptica
- 6.- Reconstrucción Mineralógica.

1.- Estudio Megascópico.

Se encontraron tres clases de mineral:

- a) Diseminado superior: Corresponde al de una roca andesítica metamorfizada y mineralizada principalmente con magnetita y pirita. En la —

fracción ligera se identificó epidota, cuarzo, feldespato, calcita, clorita, mica biotita, apatita, rodocrosita, pirolucita, arcilla y limonita.

- b) Diseminado inferior: Es de la misma naturaleza.
- c) Masivo intermedio: Es igual que las dos anteriores pero más fuertemente mineralizado con magnetita.

2.- Análisis cualitativo espectrográfico.

Diseminado Superior	Diseminado Inferior	Masivo Intermedio
Si	Fe	Fe
Fe	Si	Si
Al	Al	Al
Mg	Mg	Mg
Ca	Ca	K
K	K	Ca
Na	Na	P
P	P	Mn
CO ₂	CO ₂	Na
Pb	Ti	Ba
Ti	Mn	Co
Mn	Ba	Ni
Ba	Cr	Ti
Cr	Sr	CO ₂
Sr	Co	Cu
Co	Ni	V
Ni	Cu	Mo
Cu	V	Pb

Diseminado Superior	Diseminado Inferior	Masivo Intermedio
Sn	Mo	Pb
V	Pb	
Mo	Sn	

En el diseminado superior e inferior los análisis tienen como elementos principales detectados los cinco primeros anotados y a partir del Mn sólo se pueden detectar huellas de los otros elementos indicados. En el análisis del masivo abundan los primeros y sólo hay huellas de los que se citan después del Ba.

Expresados en %

+ de 10.0 %	Fe, Si
de 1.0 a 10.0 %	Al
de 0.1 a 1.0 %	Mg, Ca, Na
de 0.01 a 0.1 %	Mn, P, Ti, Zn, Ni, Co, V
- de 0.01 %	Cu, Mo, Ba, Cr, Sr, Sn

3.- Estudio por difracción de rayos X.

La interpretación de la gráfica obtenida por difracción de rayos X de este mineral, permite determinar en orden de abundancia las siguientes especies minerales:

Magnetita

Feldespatos

Clorita

Apatita

Pirita

Hematita

Epidota

Goethita

Calcita

4.- Análisis químico cuantitativo.

	%
Fe	48.80
Fe ⁺⁺	16.00
P	0.18
S	2.43
TiO ₂	0.31
CaO	2.65
MgO	1.59
SiO ₂	0.31
Al ₂ O ₃	9.35
Na	1.23
K	0.65

5.- Estudio por microscopía óptica.

Los minerales estudiados corresponden por sus características microscópicas a una roca metamórfica mineralizada con óxidos y sulfuros de hierro.

Su textura es gnesoide, siendo su origen probable el de una roca diorítica.

Molido el mineral a -28 mallas y concentrado gravimétricamente se obtuvieron dos productos, uno pesado constituido principalmente por magnetita acompañada de pirita y una pequeña cantidad de chalcopirita. Un producto ligero constituido por clorita, feldespato, plagioclasa y ortoclasa, epidota, - diopsida, cuarzo, apatita, calcita y limonita.

A esta molienda, parte de la magnetita se encuentra limpia y liberada y parte en partículas mixtas con los demás minerales. La magnetita se encuentra formando agregados microcristalinos cuyos microcristales tienen tamaño medio de 6 micras. Los cristales de magnetita tienen tamaño máximo de 1.5 mm.

Los agregados microcristalinos son de baja cohesión, por lo que, son de muy alta fragilidad y fácilmente liberables.

Densidad del mineral: 3.64

6.- Reconstrucción mineralógica.

Los estudios anteriores permiten determinar la composición mineralógica aproximada de sus componentes principales, considerando al conjunto de --

clorita, feldespato, epidota y diopsida como matriz del mineral.

	%
Magnetita	64.51
Pirita	4.54
Apatita	1.02
Calcita	1.78
Cuarzo	0.50
Matriz	28.42

El contenido total de fierro en el mineral de 48.8% queda distribuido en la forma siguiente:

	%	Distribución %
Fe en Magnetita	46.69	95.68
Fe en Pirita	2.11	4.32
Fe Total	48.80	100.00

2.- MOLIENDA AUTOGENA

2.1 Antecedentes históricos.

La molienda con guijarros ha sido usada por más de 50 años en las plantas de beneficio de mineralas; la verdadera revolución en dichas plantas sobrevino con la introducción de molinos autógenos primarios, obteniéndose los siguientes beneficios:

- a) Eliminación de etapas de trituración para dar un producto fino.
- b) Prácticamente la eliminación del acero como medio de molienda.
- c) Requerimientos de trabajo reducidos.

La instalación de molinos autógenos por vía seca se inició en 1953 y por vía húmeda en 1960.

2.2 Selección del sistema de molienda.

Para seleccionar el sistema de molienda adecuado para el proceso de un mineral, deberán tomarse en cuenta los resultados obtenidos de los análisis metalúrgicos experimentales, el tamaño y utilización del producto final, la forma de concentración, así como de otros factores económicos, naturales, etc. La Molienda primaria puede ser: autógena o semi-autógena, en seco o en húmedo, en circuito abierto o cerrado y de sistema simple o de dos etapas.

Molienda Autógena.

Este término se aplica cuando la alimentación al molino es de mineral que proviene directamente de la mina sin trituración previa o al mineral de trituración primaria, sin la adición de otro medio de molienda, es decir, la molienda se realiza por el mismo mineral.

Molienda semi-autógena.

Este término se aplica cuando la alimentación al molino es de mineral que proviene directamente de la mina o de trituración primaria pero agregándole de 1 a 5% del volumen total del molino de bolas de acero como medios adicionales de molienda, además del mismo mineral.

Durante las primeras pruebas experimentales sobre molienda, se analiza el comportamiento del mineral como cuerpo molturador; también se hacen pruebas con bolas de acero de diferentes tamaños y pesos para determinar el máximo poder de eficiencia. Dependiendo de los resultados en ambas pruebas, así como el estudio económico del consumo de acero como medios de molienda y revestimiento, nos darán la pauta para la elección del tipo de molienda.

Molienda en seco o en húmedo.

La molienda en seco representada por el sistema de molinos Aerofall,

puede proporcionar ventajas al proceso en áreas en donde el agua es insuficiente o cuando se requiera de un producto seco. En las plantas de molienda en húmedo, el alto costo de energía, de combustible requerido para el secado, se convierte en un factor limitante siendo el límite económico probable del 3% de humedad en el producto.

Dependiendo de las características del mineral, de la disponibilidad de agua, energía y de la utilización del producto molido, nos dará los lineamientos a seguir para la elección del tipo de molienda para el proceso.

Círculo cerrado o abierto.

En base a los resultados metalúrgicos en las pruebas experimentales, el % de alimentación, el poder de eficiencia, el tamaño de mineral requerido para su concentración, carga circulante, etc., se escogerá el circuito de molienda.

En circuito abierto se utiliza como medio de clasificación en la descarga del molino un trómel o criba vibratoria con mallas diferentes; en circuito cerrado también se usan cribas o de preferencia ciclones.

Sistema simple o de dos etapas.

Dependiendo del tamaño del mineral para su concentración y del pro

ducto acabado puede emplearse un arreglo en sistema de molienda que sea so lo de molienda autógena primaria o molienda autógena primaria - molienda - de pebbles, donde puede considerarse el empleo de molinos mixtos que con-- sisten en la reunión del molino preparador y del terminador en un mismo cilindro dividido en dos compartimentos. Las menas entran en el compartimento -- preparador y después de recorrer toda su longitud, pasan a través del diafragma divisorio al compartimento acabador y después de recorrerlo salen por la-- descarga.

Estos molinos presentan el inconveniente de estar subordinado el aca-- bador al rendimiento del preparador y no poder vigilar y graduar su trabajo - tan fácilmente como cuando trabajan por separado.

2.3 Características de los molinos autógenos.

Dimensiones.

La relación entre el diámetro y la longitud de un molino debe ser de 1:1 ó de 1:1.5 respectivamente; para los molinos que operan en seco esta relación varía ya que el diámetro es mayor que la longitud. 1.5:1 ó 2.5:1. Con estas relaciones se logra una mejor operación de los molinos.

Tipo de Descarga.

Se lleva a cabo por dos formas principalmente. Descarga por diafragma: es por medio de parrillas periféricas que están ranuradas, por las que sale la pulpa y es clasificada por una criba vibratoria o trómel. Descarga por rebalse: ésta es con el diámetro de la descarga del molino abierta y se realiza teniendo un nivel de pulpa a la altura de la descarga, clasificándose por un trómel. Normalmente un molino con descarga por diafragma rinde más que uno con descarga con rebalse, ya que se incrementa la capacidad y eficiencia de la molienda.

Revestimiento de un molino.

Para proteger un molino en todas las superficies con las cuáles se hacen contacto la pulpa y los elementos molturadores, hay que proveerlo de

un forro que absorba el desgaste y así preserve la resistencia y hermeticidad de la estructura cilíndrica. Este revestimiento tiene además una importante función secundaria, servir de último eslabón en la transmisión de energía a la carga molturante. El material de revestimiento tradicionalmente es el acero; también se ha estado utilizando caucho, logrando con ésto amortiguar eficazmente el ruido y tener una alta resistencia a la abrasión.

La selección de factores tales como el grosor de la plancha o laina, - la altura de las barras elevadoras o cuñas, forma y distancia entre las barras - todos los cuáles influyen en el desgaste y rendimiento - depende directamente del diámetro del molino, de los elementos molturadores, del tamaño de -- carga y de la velocidad de rotación del molino.

- Al aumentar el tamaño de la carga, el desgaste del revestimiento - se intensifica.
- El desgaste es proporcional al cuadrado de la velocidad del molino; un revestimiento liso exige mayor velocidad del molino que uno con barras -- elevadoras.
- Es importante encontrar la correcta razón espaciamento/altura --- de las barras elevadoras: demasiado espaciadas, provocan deslizamiento sobre

la plancha del cilindro; demasiado próximas para su altura, hacen que los huecos entre ellas se llenen de material y éste a su vez, forma un revestimiento -- casi liso, con desgaste muy rápido de sus barras elevadoras.

Se ha establecido una fórmula para el equilibrio entre el espaciamiento y la altura de las barras elevadoras a distintas velocidades del molino:

$$(1 - N_c) A = B$$

donde:

N_c = % velocidad crítica

A = Espacio entre barras

B = Altura de las barras

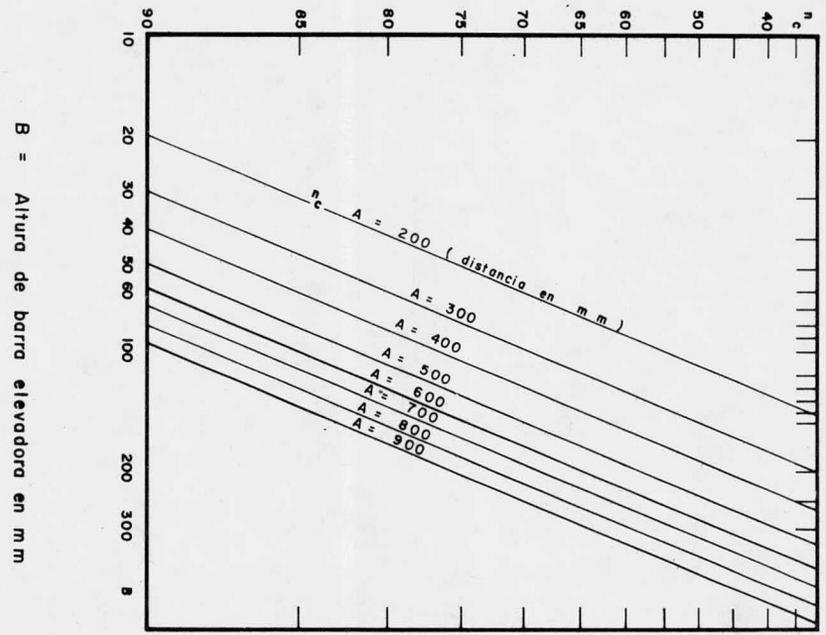
(ver fig. 1)

Consideraciones de capacidad y desgaste hacen aconsejable utilizar -- un conjunto de barras elevadoras de dos alturas, cuyas barras altas quedan a -- una distancia por sobre el cilindro aproximadamente igual al tamaño máximo -- de carga.

Diámetro de entrada y descarga.

En un molino el diámetro de entrada de mineral es menor que el de -- descarga; estas dimensiones están en función de lo siguiente:

n_c = Velocidad de rotación del molino
en por ciento de la crítica



B = Altura de barra elevadora en mm

Fig. 1

- La altura y distancia que alcanza el mineral al alimentarse al molino.
- A las mayores concentraciones en cuanto a tonelaje cerca de la alimentación que en la descarga, así como de tamaños más grandes de mineral.
- Al movimiento de cascada y longitudinal que recorre el mineral dentro -- del molino, genera un perfil de velocidad de la pulpa, misma que tiene -- que ser descargada con fluidez.
- A la capacidad del molino, si los dos diámetros fueran iguales al de descarga, la cantidad de carga del molino se vería reducida, así como en -- eficiencia de molienda. Si los diámetros fueran iguales al de entrada, -- la cantidad de carga sería incrementada, pero la eficiencia de molienda -- así como la fluidez de descarga, serían seriamente afectadas.

2.4 Factores básicos en la molienda autógena.

Tamaño de mineral.

El tamaño óptimo del mineral con el que es obtenido el máximo poder de carga, está dado por la siguiente ecuación:

$$d = 0.95 D^{2/3}$$

donde:

d = al tamaño en pulgadas por el que pasa el 80% de las rocas del mineral.

D = al diámetro interno del molino en pies.

La fórmula puede ser empleada como guía para la abertura de descarga de la trituradora primaria. Por lo general se usan rocas como elementos molidores de 6 a 10 pulgadas.

Alimentación al molino.

El mineral debe ser homogéneo en cuanto a ley, tamaño y tonelaje de alimentación, ya que de esto dependerá la uniformidad en el funcionamiento del molino. El procedimiento involucra que la alimentación sea continua al molino, esto es con el fin de que se tenga un nivel apropiado de mineral dentro del molino para efectuar la molienda, además de lograr un estado balanceado tanto en la energía de consumo como en la potencia neta, así como en las con

diciones físicas y químicas.

Es natural que las fracciones más duras de mineral se vayan acumulando dentro del molino y su desalojamiento puede requerir de 6 a 12 hrs. de operación del molino para obtener un funcionamiento estable.

Proceso de reducción de tamaños.

En la molienda autógena primaria, el 50 a 80% del trabajo se efectúa mediante el roce mutuo de las rocas, el resto del trabajo es por impacto. La mase desgasta y al mismo tiempo forma el molido deseado en las áreas de contacto entre los cuerpos molturadores.

En los molinos autógenos se ha encontrado deseable mantener la rotación en un 70 a 75% de la velocidad crítica, para evitar un efecto de cascada excesivo que originaría la fractura de las piedras más grandes por impacto.

El proceso de reducción de tamaño puede describirse como sigue:

a) Cuando una nueva piedra es introducida en la carga del molino, los lados angulares de la misma son fracturados al chocar con otras de mayor tamaño que ya se encontraban en la carga; también el impacto contra los liners -- fractura la piedra en pedazos más pequeños cuya forma y tamaño son determinados por ligeras fisuras en la misma. Esta primera etapa dura unos cuantos minutos.

b) En la segunda etapa, la piedra y los pedazos formados son reducidos en tamaño por la fricción producida en la carga cuando las piedras están moviéndose y rodando contra sí mismas bajo presión; también hay cierta abrasión con las partículas más pequeñas. Esta etapa dura hasta que la piedra se hace tan pequeña que las piedras más grandes en la carga la pulverizan por impacto.

c) Las fracciones más pequeñas necesitan ser expuestas al desgaste por la carga un tiempo más corto antes de alcanzar el tamaño necesario para ser pulverizados por las piedras más grandes. Las fracciones más pequeñas que 60 mm. tienen una capacidad muy baja para fracturar un material más grueso que 1 mm.

d) Las piedras de 90 mm. corresponden al peso de las bolas de 50 a 60 mm. debido a la menor presión superficial que ejerce una carga autógena comparada con una carga de bolas de acero.

e) Cuando el impacto ocurre a velocidades bajas, la deformación es completamente elástica, pero puede fracturar la superficie de la piedra un impacto a velocidades superiores de 9 m/seg. equivalente aproximado de 4 mts. de caída libre.

Trayectoria de la carga autógena.

Se requieren más levantadores para la operación del molino de piedras ya que las piedras en forma individual tienen una gravedad específica menor y así la fuerza centrífuga no sostiene la carga contra la coraza del molino y por consiguiente no alcanza la misma altura que con las bolas de acero.

Consecuentemente, se requieren más levantadores para prevenir la -- pérdida de velocidad por resbalamiento y obtener aproximadamente la misma trayectoria de los medios como es el caso de los molinos de bolas que van a ser reemplazados.

3.- PRUEBAS Y CALCULOS DE OPERACION DEL MOLINO AUTOGENO.

Para el buen funcionamiento del molino en la realización de la molienda autógena, es necesario establecer ciertos parámetros de operación constantes y variables como son: características del molino, motor, velocidad crítica, velocidad de trabajo, volúmen total, volúmen ocupado por la pulpa y densidad, % de sólidos, % líquidos, granulometría, balance agua-pulpa, tonelaje de alimentación, % de gruesos, % de finos, características del mineral respectivamente. Estos interrelacionados nos darán la molienda deseada.

En el Consorcio Minero de Peña Colorada que en la actualidad cuenta con dos molinos autógenos por vía húmeda, se realizaron las pruebas experimentales en base a los parámetros anteriores con los siguientes resultados:

3.1 Constantes

Características del molino.

Diámetro externo:	5.74 m.
Diámetro interno:	5.57 m.
Diámetro entrada:	1.70 m.

Diámetro descarga:	2.15 m.
Longitud externa:	6.10 m.
Longitud interna:	5.94 m.

Revestimiento.-

144 liners del cilindro	acero al Cr - Mo
180 barras de 4 1/2"	acero al Cr - Mo
180 barras de 2 1/2"	acero al Cr - Mo
36 parrillas de descarga	acero al Cr - Mo
108 liners de esquinas y conos	acero al Cr - Mo

Las barras están espaciadas en hileras de 4 1/2" y 2 1/2" que es su altura libre. (Ver fig. 2 y 3)

Motor.-

3 220 H.P.

1 170 R.P.M.

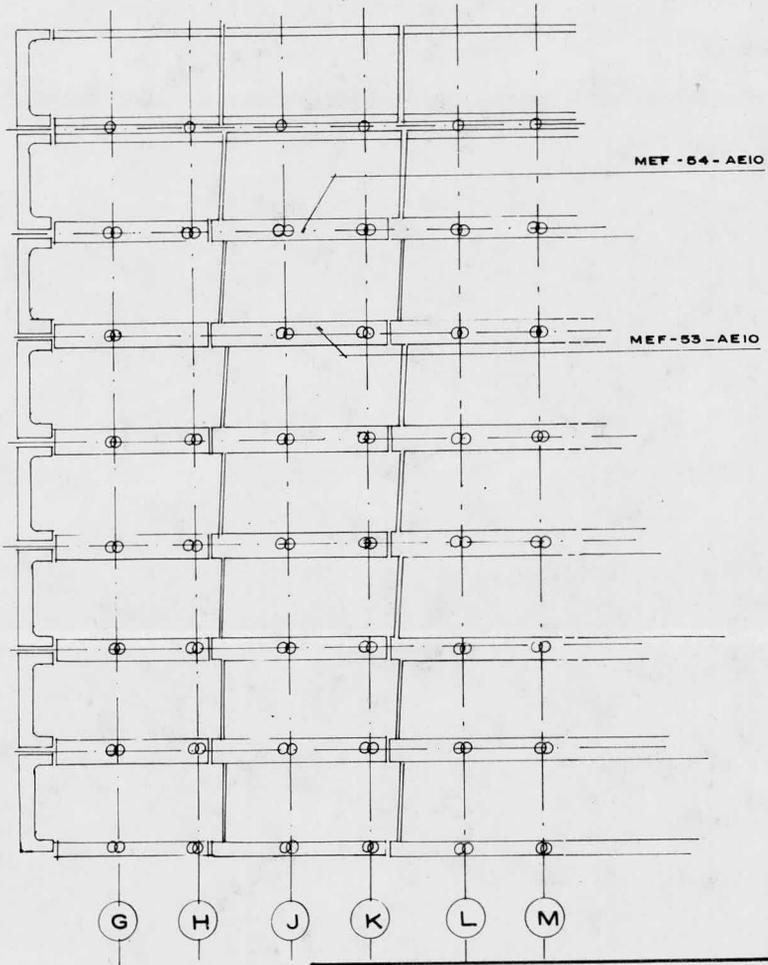
2 400 Kw.

Velocidad crítica y de trabajo.-

$$V_c = \frac{42.3}{\sqrt{5.57}} = 17.9 \text{ r.p.m.}$$

$$V_t = .72 (17.9) = 12.9 \text{ r.p.m.}$$

Fig. 2

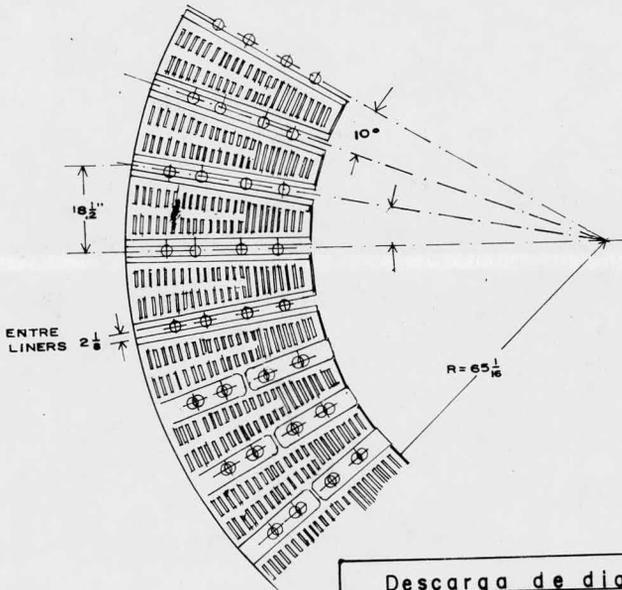
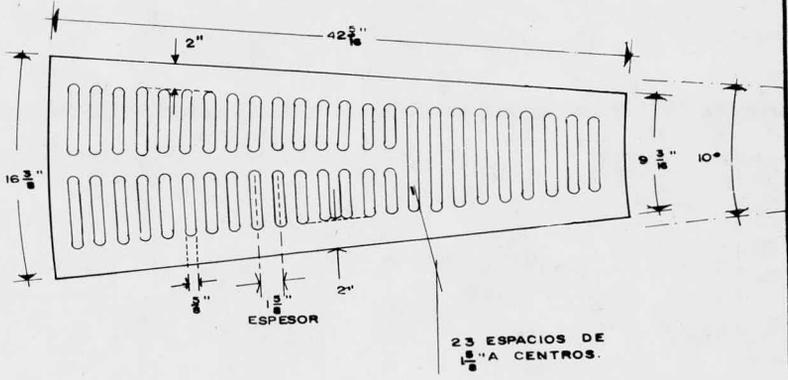


Revestimiento del molino

liners del cilindro,

levantadores $4 \frac{1}{2}''$ y $2 \frac{1}{2}''$

Fig. 3



Descarga de diafragma,			
parrillas y levantadores			
en los conos del cilindro.			

La velocidad de trabajo de los molinos autógenos o semi-autógenos en húmedo varía de 60 a 90% de la velocidad crítica; el rango normal está entre 70 y 75%. En este caso se optó por el 72% debido a los resultados de las pruebas experimentales preliminares. En molienda en seco es del 84.5% de la velocidad crítica.

Volúmen total y volúmen ocupado por la pulpa.-

$$V_t = (3.14) (2.78)^2 (5.94) = 141.7 \text{ m}^3$$

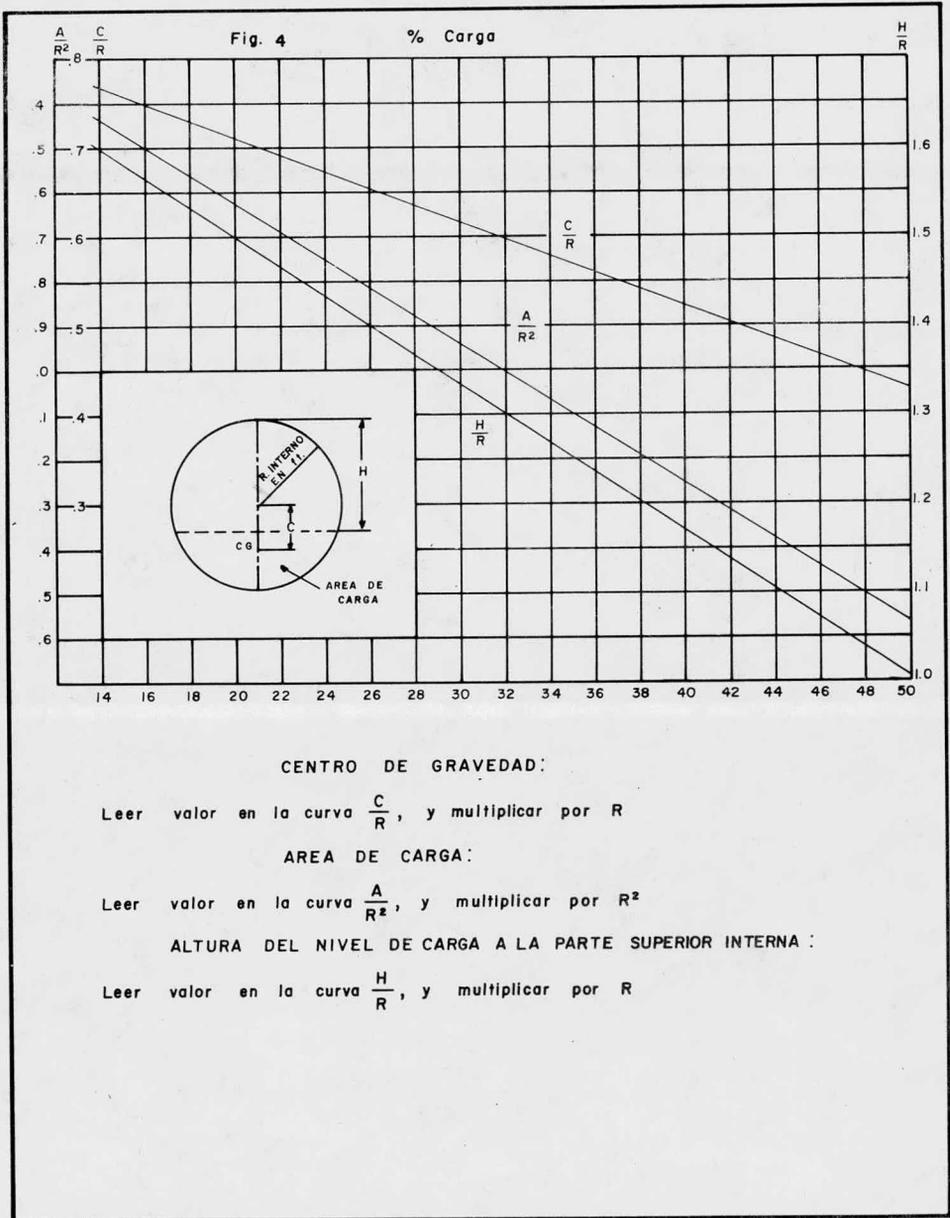
$$\% \text{ de carga} = 113 - 126 \left(\frac{H}{D} \right)$$

$$\% \text{ de carga} = 113 - 126 \left(\frac{4.10}{5.57} \right)$$

$$\% \text{ de carga} = 21\%$$

$$V_p = .21 (141.7) = 29.7 \text{ m}^3$$

Normalmente del 15 al 22% del volúmen total del molino es la carga óptima de operación, con la cuál en la práctica se han visto los mejores resultados de utilización de la energía y eficiencia de molienda. (Ver fig. 4)



3.2 Variables.

Flujo del mineral.-

Por medio de una banda transportadora es alimentado el mineral al molino autógeno con descarga por diafragma en circuito abierto y se le adiciona el agua de dilución. Ya realizada la molienda, la pulpa es descargada sobre una criba vibratoria de dos platos, la descarga inferior de la criba pasa a concentración primaria, la descarga superior es transportada por medio de bandas hasta una polea magnética que separa la grava en dos fracciones: una no magnética que es retirada del proceso y otra magnética que es recirculada al molino. (Ver fig. 5)

Balance de materia.-

El tonelaje nominal de alimentación para los molinos de esta planta de beneficio es de 351 tons./hr. con un 20 a 30% de gruesos y el resto de mineral fino; con este tonelaje y proporción de mineral, se han obtenido los mejores resultados de molienda y mayor eficiencia de la energía. Se ha trabajado a mayor capacidad que la nominal pero los resultados no han sido satisfactorios ya que el tamaño de producto es mayor, no hay buena liberación de partícula, se puede sobrecargar el molino si no se trabaja con la densidad adecuada, ma

por consumo de energía y baja eficiencia.

Balance de mineral del molino autógeno.-

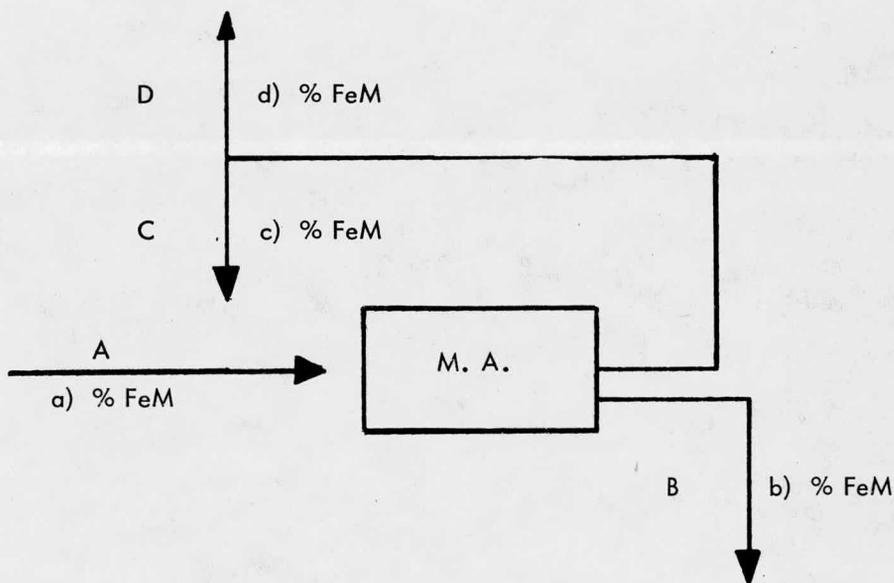
Base:

Alimentación: 350 ton/hr. de mineral

20% gruesos

80% finos

$t = 1.0$ hora



1. $A = B + C + D$
2. $Aa' = Bb + Cc + Dd$

Donde:

- A = alimentación mineral
 B = descarga de mineral seco
 C = grava magnética
 D = grava no magnética

Cálculos:

- a) Tonelaje de grava C y D

tiempo de llenado de la carretilla = 0.6 mins.

$$\text{No. de carretillas/hr.} = \frac{60 \text{ mins.}}{0.6 \text{ mins.}} = 100$$

Se tomó una muestra de 500 grs. se secó y por diferencia de pesos:

$$\% \text{ humedad} = \frac{500 - 477}{500} = (100) = 4.6\%$$

Peso de grava/carretilla = 140 Kgs.

Peso seco de grava/carretilla = 140 - (140) (.046) = 133.6 Kgs.

Tons. producidas/hr. = (133.6) (100) = 13.36 ton/hr.

Tons. producidas/día = (13.36) (24) = 320.64 ton/día.

Considerando que un 40% en peso de la grava es susceptible de atracción magnética, de acuerdo a pruebas realizadas tenemos:

$$C = 13.36 (.40) = 5.34 \text{ ton/hr.} \quad \text{Grava magnética}$$

$$C = 320.64 (.40) = 128.26 \text{ ton/día}$$

$$D = 13.36 (.60) = 8.02 \text{ ton/hr.} \quad \text{Estéril}$$

$$D = 320.64 (.60) = 192.38 \text{ ton/día}$$

b) Sustituyendo en la fórmula (1)

$$\text{donde:} \quad A = 350 \text{ ton/hr.}$$

$$C = 5.34 \text{ ton/hr.}$$

$$D = 8.02 \text{ ton/hr.}$$

$$350 = B + 5.34 + 8.02$$

$$B = 350 - 13.36 = 336.64 \text{ ton/hr.}$$

c) Cálculo del % FeM

$$a' = 42\% \text{ FeM}$$

$$c' = 8\% \text{ FeM}$$

$$d' = 0\% \text{ FeM}$$

Sustituyendo en la fórmula (2)

$$350 (.42) = 336.64 (b') + 5.34 (.08) + 8.02 (0)$$

$$b = \frac{350 (.42) - 5.34 (.08)}{336.64}$$

$$b = 43.5 \% \text{ FeM}$$

Balance de pulpa - agua.-

Para obtener el % de sólidos y % de líquido puede ser por medio de la lectura directa de la tabla de densidades de pulpa o por fórmula. (Ver apéndice A).

Base:

350 ton. mineral/hr.

% sólidos = 69.8

% líquido = 30.2

Gravedad específica del sólido = 4

Gravedad específica de la pulpa = $\frac{100}{\frac{30.2 + 69.8}{4}} = 2.10 \text{ ton. pulpa/m}^3 \text{ pulpa.}$

Balance de agua - pulpa.-

Para una densidad de descarga de 2.10:

350 ton. mineral/hr.	-	69.8	X = 151.4 ton. liq./hr.
X	-	30.2	

$$\frac{151 \text{ ton. líq.}}{\text{hr.}} \times \frac{24 \text{ hr.}}{1 \text{ día}} = 3,264 \text{ ton. líq./día}$$

$$336.64 \text{ ton. mineral/hr.} + 151.4 \text{ ton. líq./hr.} = 488.04 \text{ ton. pulpa/hr.}$$

$$488.04 \text{ ton. pulpa/hr.} (24 \text{ hr.}) = 11,712.96 \text{ ton. pulpa/día}$$

$$\frac{11,712.96 \text{ ton. pulpa}}{\text{día}} \times \frac{1}{2.10} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ hr.}} \times \frac{1 \text{ hr.}}{60 \text{ mins.}} = 3.87 \text{ m}^3 \text{ pulpa/min.}$$

Construcción de la gráfica de alimentación de m^3/h de agua contra -
ton./h mineral a diferentes densidades de operación del molino autógeno.

1.- Para densidad de pulpa = 1.9 y gravedad específica del mineral =

4.0

$$\text{gr. sol./lt.} = \frac{1\,900 - 1000}{4 - 1} (4) = 1\,200$$

$$\% \text{ sólidos} = \frac{1\,200}{1\,900} (100) = 63.16$$

$$100\% - 63.16 = 36.84\% \text{ agua}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{a)} & 350 \text{ ton/h} & - & 63.16 & X = 204.15 \text{ m}^3/\text{hr.} \\ & X & - & 36.84 & \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{b)} & 170 \text{ ton/h} & - & 63.16 & X = 99.16 \text{ m}^3/\text{hr.} \\ & X & - & 36.84 & \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{c)} & 40 \text{ ton/h} & - & 63.16 & X = 23.33 \text{ m}^3/\text{hr.} \\ & X & - & 36.84 & \end{array}$$

2.- Para densidad de pulpa = 2.00

$$\begin{array}{rcl} \text{a)} & 350 \text{ ton/h} & - & 66.7 & X = 174.7 \text{ m}^3/\text{hr.} \\ & X & - & 33.3 & \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{b)} & 170 \text{ ton/h} & - & 66.7 & X = 84.9 \text{ m}^3/\text{hr.} \\ & X & - & 33.3 & \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{c)} & 40 \text{ ton/h} & - & 66.7 & X = 19.9 \text{ m}^3/\text{hr.} \\ & X & - & 33.3 & \end{array}$$

3.- Para densidad de pulpa = 2.10

$$\begin{array}{rcl} \text{a)} & 350 \text{ ton/h} & - & 69.8 & X = 151.4 \text{ m}^3/\text{hr.} \\ & X & - & 30.2 & \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{b)} & 170 \text{ ton/h} & - & 69.8 & X = 73.55 \text{ m}^3/\text{hr.} \\ & X & - & 30.2 & \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{c)} & 40 \text{ ton/h} & - & 69.8 & X = 73.55 \text{ m}^3/\text{hr.} \\ & X & - & 30.2 & \end{array}$$

4.- Para densidad de pulpa = 2.2

- a) $\begin{array}{r} 350 \text{ ton/h} \\ X \end{array} \quad \begin{array}{l} - \quad 72.7 \\ - \quad - \end{array} \quad X = 131.3 \text{ m}^3/\text{hr.}$
- b) $\begin{array}{r} 170 \text{ ton/h} \\ X \end{array} \quad \begin{array}{l} - \quad 72.7 \\ - \quad 27.3 \end{array} \quad X = 63.8 \text{ m}^3/\text{hr.}$
- c) $\begin{array}{r} 40 \text{ ton/h} \\ X \end{array} \quad \begin{array}{l} - \quad 72.7 \\ - \quad 27.3 \end{array} \quad X = 15 \text{ m}^3/\text{hr.}$

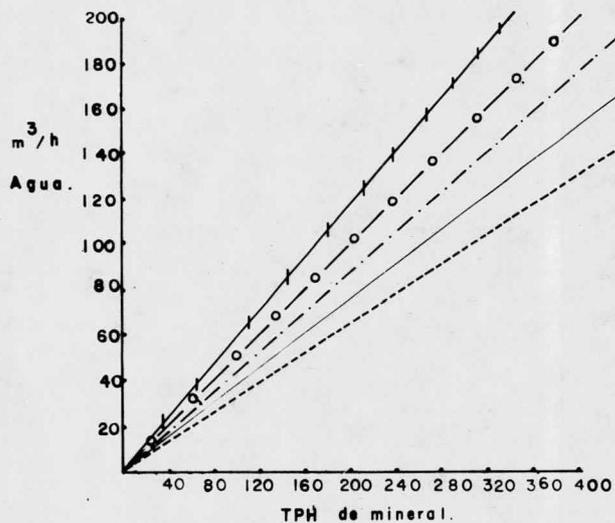
5.- Para densidad de pulpa = 2.3

- a) $\begin{array}{r} 350 \text{ ton/h} \\ X \end{array} \quad \begin{array}{l} - \quad 75.0 \\ - \quad 25.0 \end{array} \quad X = 116.6 \text{ m}^3/\text{hr.}$
- b) $\begin{array}{r} 170 \text{ ton/h} \\ X \end{array} \quad \begin{array}{l} - \quad 75.0 \\ - \quad 25.0 \end{array} \quad X = 56.6 \text{ m}^3/\text{hr.}$
- c) $\begin{array}{r} 40 \text{ ton/h} \\ X \end{array} \quad \begin{array}{l} - \quad 75.0 \\ - \quad 25.0 \end{array} \quad X = 13.3 \text{ m}^3/\text{hr.}$

(Ver fig. 6)

Se hizo la gráfica para estas densidades de descarga porque son con - las que se puede trabajar el molino autógeno dependiendo de las característi - cas del mineral así como del tonelaje de alimentación y de la relación grue - sos a finos.

Fig: 6



Para peso específico: 4.0
Densidad [redacted]
Dens: 1.9 kg/l = 63.76 solidos.

+ + + + +
" : 2.0 kg/l = 66.7 % "
- o - o -
" : 2.1 kg/l = 69.8 % "
x x x x x
" : 2.2 kg/l = 72.7 % "
• • • • •
" : 2.3 kg/l = 75.0 % "
- - - - -

Análisis de mallas.

Alimentación.-

Mineral grueso.

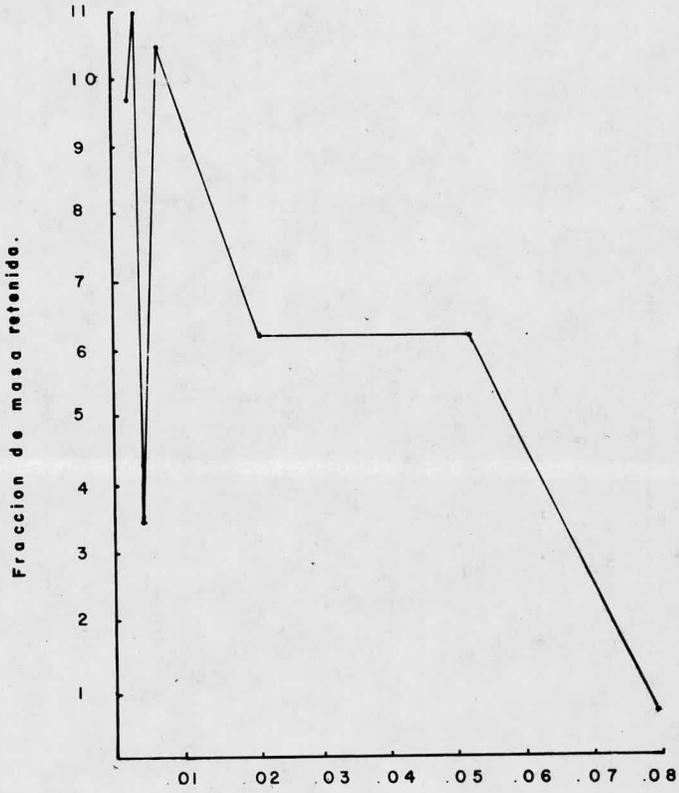
Varía de tamaño de 8 a 25 cms.

Mineral fino.

Se tomaron 10 muestras de 1.0 Kgs., las que se mezclaron y por medio de cuarteo se tomó una muestra representativa de 1.0 Kg. obteniéndose los siguientes resultados:

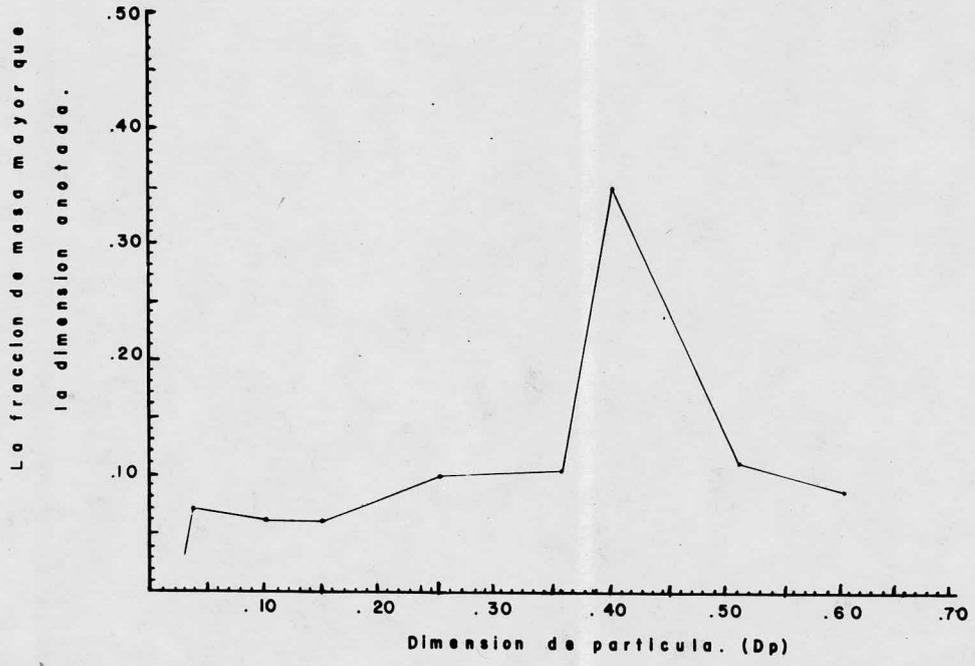
No. malla	Peso (grs.)	% Peso
- 3 + 2"	247.6	24.76
- 2 + 1 1/2"	97.4	9.74
- 1 1/2 + 1"	76.7	7.67
- 1 + 3/4"	38.7	3.87
- 3/4 + 3/8"	83.1	8.31
- 3/8" + 4 mallas	74.4	7.44
- 4 + 16	113.5	11.35
- 16 + 30	47.0	4.70
- 30 + 100	98.0	9.80
- 100 + 150	16.0	1.60
- 150 + 325	64.3	6.43
- 325	51.3	5.13
Total	1000	100

Gráfica de distribución fraccional
para el análisis por
tamizado.



Diametro promedio de particulas.

$$D_p = \frac{d_{p2} + d_{p1}}{2}$$



Descarga Superior		
No. malla	Peso (gr)	% Peso
3/4"	28.2	28.2
- 3/4" + 4 mallas	67.4	67.4
- 4 + 8	4.4	4.4
T o t a l	100.0	100.0

Muestra B.- 100 grs.

Datos de operación.

Alimentación al molino:	324 ton. finos
	44 ton. gruesos
Densidad de descarga:	2.18 Kg/lit.
Energía consumida:	1 300 Kw.
Fe - magnético:	42.7

Descarga Inferior		
No. malla	Peso	% Peso
+ 8	1.0	1.0
- 8 + 10	0.4	0.4
- 10 + 16	2.0	2.0
- 16 + 30	5.9	5.9
- 30 + 60	10.8	10.8
- 60 + 100	9.1	9.1
- 100 + 150	8.4	8.4
- 150 + 200	13.9	13.9
- 200 + 325	9.0	9.0
- 325	39.5	39.5
Total	100.0	100.0

Descarga Superior		
No. malla	Peso	% Peso
+ 3/4"	21.8	21.8
- 3/4" + 4 mallas	70.8	70.8
- 4 + 8	5.9	5.9
- 8 + 10	0.3	0.3
Total	100.0	100.0

Características del mineral.-

Muy pocos minerales se comportan con un alto poder de eficiencia en la molienda autógena, esto es debido a las propiedades físicas y químicas del mineral en cuestión, y son las siguientes: dureza, tenacidad, resistencia a la compresión, tipo de fractura, matriz, peso específico, densidad, ley, mineralización.

Para mineral de magnetita como cuerpos molturadores, es necesario lo siguiente:

- Una resistencia a la compresión mayor de $1\ 000\ \text{kg}/\text{cm}^2$.
- Que el comportamiento de fractura y desintegración no sean anisótropas.
- Una dureza de 6 a 6.5
- Peso específico de 3.8 a 4
- Que contengan un 20% de magnetita como mínimo y el resto matriz encajonante.
- Procurar evitar al máximo las concentraciones grandes de hornfels cuarzo - feldespáticos y calizas silicificadas, ya que éstos debido a su alta dureza y bajo peso específico, no efectúan buen trabajo como cuerpos molturadores.

Densidad y % de sólidos.-

La densidad de la pulpa del molino no puede operarse tan elevada en contenido de sólidos como en los molinos de bolas o de barras; si el % de sólidos en la pulpa es alto, la potencia del molino aumentará y cesa la molienda. Debido a que es un proceso continuo de alimentación - descarga, al no ser fluída la descarga, el molino se sobrecarga y por consiguiente dejan de realizar su función los cuerpos molturadores.

Dependiendo de la densidad con que se trabaje un molino será el tiempo de retención del mineral dentro del mismo, así como también variará la granulometría de descarga. La densidad está en función directamente proporcional al tiempo de molienda, es decir, a más alta densidad, mayor tiempo de retención de la pulpa; las densidades de operación de este molino varían de 1.90 a 2.30 Kg/lit.

Una relación de 1:1 de alimentación de carga y agua ha probado ser satisfactoria en otras instalaciones, generalmente no se necesita añadir agua adicional para clasificación de manera de obtener una descarga del molino que contenga de 55 a 70% de sólidos.

Tabla de densidad y % de sólidos.

Densidad	1.90	2.00	2.10	2.20	2.30
% Sólidos	63	67	70	72.5	75.5

Tiempo de molienda.-

En estudios realizados en otras instalaciones se ha llegado a estimar un tiempo de retención promedio de: 25 mins. para la magnetita y 35 mins. para la hematita, en molienda convencional.

Para determinar el tiempo de permanencia del mineral en el molino autógeno, se realizaron pruebas experimentales por medio del pH en la pulpa, - de las cuáles la más representativa es la siguiente:

Alimentación al molino.-

50.2	FeT
40.5	FeM
350	Ton. mineral/hr.
1350	Kw. consumidos

Descarga.-

Densidad = 2.10 Kg/lit.

70% sólidos

pH pulpa = 6.8

Resultados de la prueba.-

Se tomó la muestra No. 1 con pH = 6.8, después se adicionaron 250 --

kgs. de cal a la alimentación del molino; esta operación tardó 12 mins. que -- fue el tiempo en que se tomó la 2a. muestra, a partir de ésta se tomaron cada- 30 segs. una muestra hasta completar 35 en total.

No. muestra	pH	No. muestra	pH	
1	6.8	19	11.1	
2	11.2	20	11.0	
3	11.1	21	10.7	
4	11.4	22	10.4	
5	11.8	23	10.1	
6	11.8	24	9.9	
7	11.8	25	9.8	
8	11.8	26	9.6	
9	11.8	27	9.4	
10	11.8	*	28	9.1
11	11.6	29	9.0	
12	11.5	30	8.8	
13	11.5	31	8.5	
14	11.5	32	8.2	
15	11.5	*	33	7.8
16	11.3	34	7.3	
17	11.2	35	6.8	
18	11.2			

El pH = 11.8 nos indica un tiempo de permanencia de 16:30 mins. desde que se adicionó la cal y es donde salió la mayor concentración; el pH = -- 11.5 nos daría un tiempo de 19:00 mins. Estos dos tiempos nos representan lo -- siguiente: de 16:30 a 19:00 mins. sale la mayoría del mineral alimentado al mo- lino con la finura deseada; a los 29:00 mins. teóricamente saldría todo el mine

ral alimentado. En la planta piloto de Lurgi obtuvieron un tiempo de permanencia de 18 a 20 mins. con condiciones de operación similares para el mismo mineral. (Ver fig. 7)

Demanda de energía.-

$$\text{Kwh/ton} = \frac{\text{Kw}_1 - \text{Kw}_2}{\text{ton.}}$$

donde:

$$\text{Kw}_1 = \text{Kw. con el molino cargado}$$

$$\text{Kw}_2 = \text{Kw. con el molino vacío}$$

$$\text{Alimentación} = 350 \text{ tons.}$$

$$\text{Kwh/ton.} = \frac{1300 - 200}{350} = 3.14$$

Variación de la energía consumida.-

De los reportes diarios de molienda, se tomaron los datos del consumo de energía de acuerdo a las toneladas alimentadas al molino autógeno.

a) Aumento de energía en relación al tonelaje de mineral grueso alimentado:

<u>Hrs.</u>	Ton/hr. (finos)	Ton/hr. (gruesos)	Kw. consumidos
1	317	46	1,100

Fig. 7

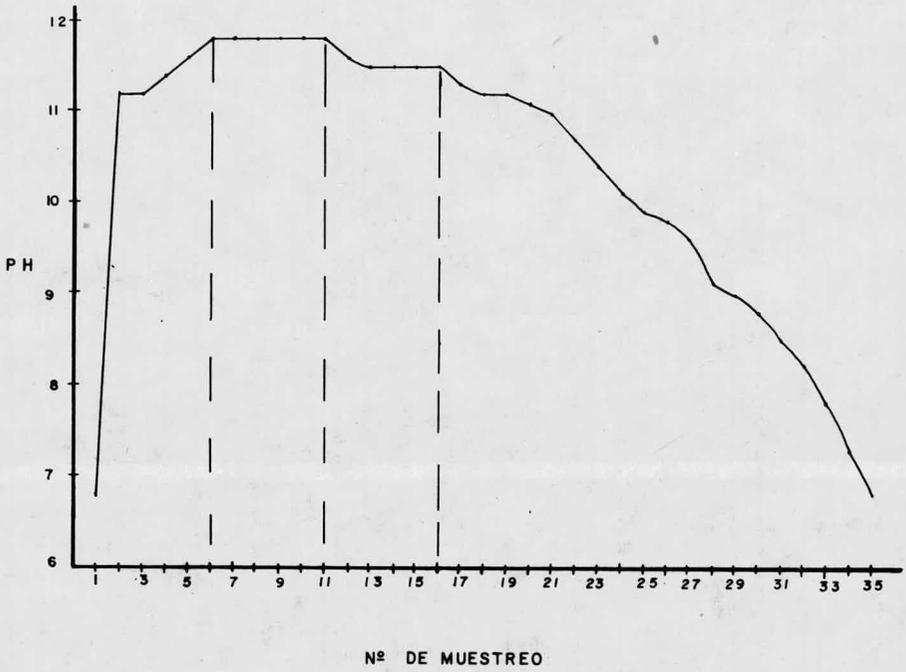
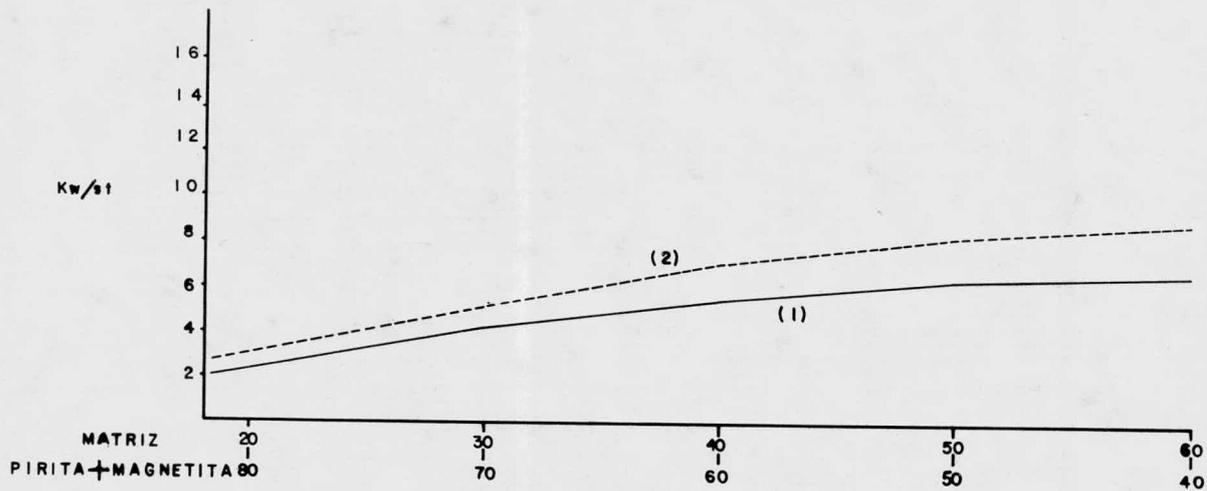


Fig. 8

(1) MOLIENDA AUTOGENA

(2) MOLIENDA CONVENCIONAL



<u>Hrs.</u>	Ton/hr. (finos)	Ton/hr. (gruesos)	Kw. consumidos
2	261	78	1,200
3	276	59	1,200
4	276	76	1,350
5	288	98	1,350
6	268	79	1,400
7	283	68	1,450
8	277	70	1,450
9	275	84	1,450
10	311	54	1,300
11	276	40	1,200
12	310	10	900

- El aumento de mineral grueso en la alimentación del molino produce un incremento en la energía consumida, esto es debido al mayor peso en la carga total que tiene que desarrollar el motor del molino para que se logre alcanzar la altura necesaria del mineral grueso y producir el efecto de cascada.

- Comparando las hrs. 5, 6 y 7 muestran que los kw. aumentan aún cuando las ton. de gruesos disminuyen, esto es debido a que las fracciones más duras del mineral grueso quedan retenidas en el molino un mayor tiempo.

<u>Hrs.</u>	Ton/hr. (finos)	Ton/hr. (gruesos)	Kw. consumidos
1	236	9	700
2	263	1	700
3	254	14	850
4	319	19	900
5	255	21	800

<u>Hrs.</u>	Ton/hr. (finos)	Ton/hr. (gruesos)	Kw. consumidos
6	289	5	800
7	307	18	900
8	340	27	900
9	319	19	900
10	290	15	800

- La alimentación de mineral fino no produce variación representativa en el consumo de energía.

3.3 Análisis económico.

Las ventajas económicas de un molino autógeno primario sobre el molino de barras convencional se deben a los siguientes factores:

1. La alimentación al molino autógeno requiere menor trituración; por consiguiente los costos de inversión y operación en la preparación del mineral son más bajos.
2. Los molinos autógenos son eficaces por lo que se requiere un menor número de unidades para dar la producción requerida, por consiguiente el costo de mantenimiento es reducido.
3. El molino autógeno no utiliza el acero como medio de molienda,-

por consiguiente, los costos del consumo del revestimiento son menores.

4. El molino autógeno primario puede ser diseñado y controlado para producir un amplio rango de molienda mientras se mantiene una alta eficiencia; ésto no es práctico en un molino de barras. (Ver fig. 8)

Demanda de energía.-

Molienda Convencional.

Trituración:	Reducción de tamaño	Kwhr/st
Primaria	48" a 5 1/2"	0.43
Secundaria	5 1/2" a 1 1/2"	0.74
Terciaria	1 1/2" a 5/8"	

Molienda Primaria. 5/8" a - 16 mallas

Total: 5.09 Kwhr/st.

Molienda Autógena.

	Reducción de tamaño	Kwhr/st.
Trituración	48" a 8"	0.34
Molienda autógena	8" a - 16 mallas	3.59

Total: 3.93 Kwhr/st.

Costo de operación.

Molienda Convencional.-

Considerando una producción de 350 st/hr. molidas y un costo de ----
\$ 0.50 por Kw:

$$5.09 \frac{\text{Kwhr}}{\text{st}} \times 350 \frac{\text{st}}{\text{hr}} \times 24 \text{ hr.} = 42,756 \text{ Kw. - día}$$

$$42,756 \text{ Kw. - día} \times 0.50 = \$ 21,378.00 \text{ diarios}$$

$$* \$21,378 \times 365 = \$7,802,970.00 \text{ al año}$$

Molienda Autógena.-

$$3.93 \frac{\text{Kwhr}}{\text{st}} \times 350 \frac{\text{st}}{\text{hr}} \times 24 \text{ hr.} = 33,012 \text{ Kw. - día}$$

$$33,012 \text{ Kw. - día} \times 0.50 = \$ 16,506.00 \text{ diarios}$$

$$\$16,506 \times 365 = \$ 6,024,690.00 \text{ al año}$$

* A estos costos hay que añadirles el del acero como medio de molienda y el -
del consumo del revestimiento.

4.- CONCLUSIONES

1. Se ha visto que la teoría de la cominución es verificada en la práctica debido a los parámetros de control establecidos para molienda autógena.

2. Es necesario tener un control estricto en cuanto a las características físicas y químicas del mineral, de esto depende que la alimentación al molino sea continua y consistente para que se realice una buena molienda.

3. El tamaño óptimo para los cuerpos molturadores en este caso es de 8". La relación de 20 a 30% de gruesos en una alimentación de 350 ton/hr. es necesaria para lograr una molienda del 80% a - 100 mallas.

4. En los molinos autógenos se tiene mayor capacidad debido al tamaño de los mismos y a que todo el volumen ocupado por la carga es mineral.

5. El consumo de acero, debido al desgaste del revestimiento, es relativamente bajo comparado con molienda convencional.

APENDICE - A

Recomendaciones en la operación del molino autógeno.-

1. Cuando un molino se sobrecarga, puede ser por lo siguiente:

- Una descarga deficiente de pulpa
- Por sobre - alimentación
- Por exceso de mineral de tamaño de 2" a 3" que obstruyen las parrillas.

En este caso es necesario cortar la alimentación al molino por unos 15- a 20 minutos y añadir más agua de dilución para lograr una buena descarga.

2. Cuando el producto de molienda sea más grueso de lo normal, es necesario trabajar el molino con densidad alta y cuidar que sea constante la alimentación de gruesos.

3. La adición de bolas de acero de 5" de diámetro es necesaria sólo cuando no se tenga por intervalos de tiempo grandes, mineral grueso asegurado en el almacén o bien cuando se tiene el molino saturado con caliza silicificada y no ha sido posible eliminarlos en días; hay que dejar vaciar el molino o trabajarlo en vacío una vez agregadas las bolas ya que se dañarían el revestimiento.

$$\text{gr. sólidos secos/lit.} = \frac{\text{Densidad} - 1000}{\text{gravedad esp.} - 1} \quad (\text{grav. esp.})$$

$$\% \text{ sólidos} = \frac{\text{gr. sol./lit.}}{\text{Densidad}}$$

$$100\% - \% \text{ sólidos} = \% \text{ agua}$$

$$\text{Gravedad específica pulpa} = \frac{100}{\frac{\% \text{ líq.} + \% \text{ sol.}}{\text{G. esp. sol.}}}$$

$$P_c = P_t \frac{L_e}{L_t} \frac{(D_c)}{(D_t)} 2.65/0.95$$

donde:

P_c = Energía total consumida en el molino comercial, en Kw.

P_t = Energía neta consumida en el molino de pruebas, en Kw

D_e = Diámetro nominal del molino comercial.

D_e = Diámetro nominal del molino de pruebas.

L_c = Longitud nominal del molino comercial.

L_t = Longitud nominal del molino de pruebas.

$$P = (0.000174) (W) (D^{2.8}) (L)$$

donde:

P = Consumo de energía por el motor del molino en Kw.

W = Densidad de la carga del molino, en lb/ft³

D = Diámetro interno del molino en ft.

L = Longitud interna del molino en ft.

5.- BIBLIOGRAFIA

1. THE TOOLS OF POWER POWER
C. A. Rowland, Jr.
SME - AIME
Denver, Colorado
Septiembre 1 - 8, 1976

2. TRENDS IN THE DESIGN OF LARGE GRINDING MILLS
Philip B. Dettmer
Kaiser Engineers
Oakland, California

3. AUTOGENOUS AND SEMI-AUTOGENOUS MILL SELECTION
AND DESIGN
C. A. Rowland, Jr. y D. M. Kjos
SME - AIME
Acapulco, México
Septiembre 22 - 25, 1974

4. AUTOGENOUS GRINDING AROUND THE WORLD
B. S. Crocker
SME
Septiembre 1970

5. AUTOGENOUS GRINDING AT THE UV INDUSTRIES, INC.-
CONCENTRATORS
Henry E. Swanson
AIME
Las Vegas, Nevada
Febrero 22 - 26, 1976

6. SOME BASIC FACTORS INFLUENCING THE USE AND OPTIMIZATION OF AUTOGENOUS GRINDING
Lennart Bergstedt y Olov Fagremo
AIME
Atlanta, Georgia
Marzo 6 - 10, 1977

7. MINERAL PROCESSING PLANT DESIGN
Andrew L. Mular y Roshan B. Bhappu
SME - AIME
Nueva York, N. Y.
1978

8. AUTOGENOUS GRINDING AT RANA MINES
Olav Klomstadlien
AIME
Denver, Colorado
Febrero 28 - Marzo 2, 1978

9. BENEFICIATION TESTS ON IRON FROM PEÑA COLORADA-
Lurgi Gesellschaft fur Chemie und Huttenwesen m.b.h.
Frankfurt, Main
Septiembre, 1969

10. ENSAYOS COMPARATIVOS DE MOLIENDA DE MINERALES -
DE HIERRO RICOS Y FINOS EN MOLINOS DE BOLAS Y MO-
LINOS PEBBLE PARA ALCANZAR EL GRADO DE FINURA NE-
CESARIO PARA PELETIZACION.
Heinrich Meiler y Friedrich Rosenstack

11. TEORIA Y PRACTICAS DE TRITURACION Y MOLIENDA
Comisión de Fomento Minero
1972

12. MANUAL DE REVESTIMIENTOS SKEGA PARA MOLINOS

13. TRATADO DE MINERALOGIA
William E. Ford
CECSA
4a. edición en inglés revisada y aumentada

14. ESTUDIO MINERALOGICO DEL YACIMIENTO DE PEÑA -
COLORADA
Comisión de Fomento Minero.



Impreso en los talleres de
EDITORIAL QUETZALCOATL, S.A.
Paseo de la Facultades No. 37
Tels 548 61 80 y 548-58 56
México 20, D.F.