



D-13088



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra



**“CARACTERIZACION DE LAS ARENAS DE PONCE
ENRIQUEZ PREVIO A LA CIANURACION”**

TOPICO DE GRADUACION

**Previo a la obtención del Título de:
INGENIERO EN GEOLOGIA**

**Presentado por:
Hernán Marcelo Villacrés Torres**

Guayaquil - Ecuador

1991

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este Trabajo de Tesis, me corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL)

MARCELO VILLACRES

La caracterización del material...
se ha primer... que se efectua...
ASTRIBUNAL DE...
contenido mineralógico...
condiciones de...
realizar los...

[Handwritten signature]

Ing. ~~HERNANDEZ~~

DIRECTOR DEL TOPICO

El índice de trabajo se...
de trabajo...
valor Ing. MIGUEL A. CHAVEZ...
Ing. FRANCISCO TORRES

SUB-DECANO FACULTAD ICT

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

mineralógico...
láminas delgadas para establecer los minerales...
y probetas pulidas para identificar los minerales...
se...

terial tiene un contenido promedio de 72% de minerales...
de un 28% de minerales de ganga

los minerales se... principalmente pirita,
magnetita, calcopirita, magnetita e ilmenita. A ellos se
además no se pudieron observar en las probetas.

RESUMEN

La caracterización del material (arenas de Ponce Enriquez), es el primer paso que se efectúa previo al proceso de cianuración. Aquí se analizan parámetros tales como densidad, índice de trabajo, contenido mineralógico y tenor de oro y plata; es decir, las condiciones del material que serán consideradas al realizar los procesos posteriores.

La densidad de las arenas arrojó un valor promedio de 4,1136 gr/cm³, el mismo que se obtuvo utilizando una probeta de pie graduada.

El Índice de Trabajo se determinó a partir de un Índice de Trabajo conocido (estibina de Loma Larga), dando un valor aproximado $W_i = 13.71 \text{ Kw-h/Ts}$.

El contenido mineralógico de las arenas se realizó analizando láminas delgadas para establecer los minerales de ganga, y probetas pulidas para identificar los minerales de mena.

El material tiene un contenido promedio de 72% de minerales de mena y un 28% de minerales de ganga.

Los minerales de mena presentes son principalmente pirita, pirrotina, calcopirita, magnetita e ilmenita. A ellos se añaden oro y plata que no fueron observados en las probetas,

pero que en los ensayos al fuego dieron resultados positivos.

En cuanto a los minerales de ganga, se observó principalmente feldespatos, epidotas, cuarzo, carbonatos y en menor grado clorita.

Los ensayos al fuego se efectuaron para establecer el tenor de oro y plata presentes en el material (tenor de cabeza), así también se determinó el tenor de acuerdo al tamaño del material retenido en una serie de tamices.

El tenor promedio de oro en las arenas fue de 58 gr./Ton. y de plata de 57.3 gr/ton.

I N D I C E

CONTENIDO	PAGINA
Resumen	1
Indice	3
Abreviaturas	5
Introducción	7
1 FUNDAMENTOS TEORICOS	
1.1 Terminologia	8
1.2 Clasificación por Tamaño	9
1.3 La Liberación	11
1.4 La Fragmentación	12
1.4.1 Leyes de la Fragmentación	15
1.4.2 Aspectos prácticos de la Fragmentación	20
1.5 Fundamentos del Molino de Bolas	21
1.6 Ensayos al Fuego	24
11 PRUEBAS DE LABORATORIO	
2.1 Tratamiento Preliminar de las Arenas	25
2.2 Determinación de la Densidad	25
2.3 Determinación del Índice de Trabajo de las arenas de Ponce Enríquez a partir del Índice de Trabajo de un material conocido	26
2.4 Análisis Microscópico	32

	Página
2.5	Análisis de Minerales Opacos 33
2.6	Análisis Pirometalúrgicos 34
2.6.1	Metodología de Trabajo para los ensayos pirometalúrgicos 34
2.6.2	Discusión de los Resultados de los ensayos pirometalúrgicos 39
111	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 40
IV	BIBLIOGRAFIA 42

ABREVIATURAS

A: Tamaño de la alimentación micras/constante

C: Constante

Cg: Centro de Gravedad

D: Diámetro interno del tambor

d: Diámetro de la bola

SBDM: Densidad de empaque

ρ : Densidad

E: Energía consumida

K: Constante / Módulo de tamaño

L: Longitud del eje del cilindro

α : Grado de liberación

M: Masa

Mb: Carga máxima de bolas

N*: Fracción de velocidad rotacional crítica

N: Velocidad rotacional del molino

Nc: Velocidad crítica rotacional del molino

P: Tamaño del Producto/Potencia

Q: Tasa de producción

σ : Superficie

θ : Ángulo

V: Volumen del molino de bolas

V_o: Volumen inicial

V_f: Volumen final

ΔV : Variación de Volumen

W_i: Peso total del material/trabajo consumido/peso de la carga de bolas

Xo: Tamaño inicial de la partícula

Ø: Abertura de la malla del tamiz

UNIDADES

cm: Centímetro cúbico

C: Grado centígrado

gr: Gramos

m: Metros

mm: Milímetros

mg: Miligramos

min: Minuto

Kw-h: Kilovatios hora

Kw: Kilovatios

% : Tanto por ciento

RPM: Revoluciones por minuto

Tm: Tonelada métricas

Ts: Tonelada cortas

um: Micras

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

La actividad minera en el Ecuador se reinició en la década de los 1930 con el redescubrimiento de yacimientos auríferos en la región Oriental del país, tales como los de Nambija, Panquí, Chinapinza entre otros y con la reactivación de las minas de Portovelo y Zaruma. El yacimiento de Ponce Enriquez descubierto así mismo recientemente, es explotado activamente en la actualidad.

La extracción del precioso metal generalmente se realiza de manera artesanal, originando pérdidas por la poca eficiencia en la recuperación, además de ser nociva la forma de obtener oro libre a partir de la amalgamación.

En el presente trabajo se hacen diversas pruebas encaminadas a hallar los parámetros necesarios para realizar el proceso de cianuración, método tecnificado para la extracción electrolítica de metales preciosos (oro y plata).

1 FUNDAMENTOS TEORICOS

1.1 TERMINOLOGIA

Parte de la Terminología empleada en las operaciones a realizarse incluyen las siguientes:

1. Mena, es el conjunto de Minerales del cual puede extraerse uno o mas metales con rendimiento económico.

En la Mena se encuentran dos tipos de minerales, los minerales de Mena que son los que contienen los metales los mismos que generalmente presentan apariencia metálica como ejemplo se tiene a la Calcopirita; también se encuentran los minerales de ganga que no contiene metales y comunmente no tienen apariencia metálica, ejemplo de estos minerales es el Cuarzo.

2. Roca, en cambio, es el conjunto de minerales del cual no puede extraerse metales, como ejemplo esta la caliza, que contiene el mineral Calcita mezclado con minerales arcillosos.

3. El material que se extrae de las minas se llama Crudo, el cual al ser llevado a la planta para su tratamiento recibe la denominación de cabeza.

4. Como productos del tratamiento de la Mena se obtienen

dos fracciones. La una, denominada **concentrado o rico**, es el producto comercial que está constituido en su mayor parte por minerales de Mena y también por un pequeño porcentaje de minerales de ganga. La segunda fracción se llama **cola**, la misma que en su mayor parte está constituida por minerales de ganga, presentando también un pequeño porcentaje de minerales de Mena.

Una tercera fracción que surge durante la operación, es el **mixto**, el cual es un producto intermedio entre el concentrado y la cola, por lo cual generalmente se lo somete a un retratamiento para conseguir que **los** minerales de mena que contienen pasen al concentrado en tanto que los minerales de ganga pasen a la cola.

5. **Ley o Tenor** es el porcentaje de sustancia útil contenido en la unidad de peso. Por ejemplo, **la** Mena descubierta en el fondo Oceánico en **1.980** al Norte de la Cordillera Carnegie en las Islas Galápagos, contiene **29%** de Zinc, **6%** de Cobre, y **0.5%** de plata, lo cual indica que en 100 gramos de la Mena hay **29** de Zinc, **6** de Cobre y **0.5** de Plata.

1.2 CLASIFICACION POR TAMANO

Clasificación es la operación que consiste en agrupar

particular comprendidas entre cierto rango de tamaño.

Los fines que se persiguen con la clasificación, pueden

ser :

1. Obtención de grupos de tamaño convenientes para proseguir con el tratamiento.
2. Separar la fracción mayor que un tamaño determinado para reciclarla hasta reducirla al tamaño conveniente.
3. Separar la fracción menor que un tamaño dado, para eliminarla de la alimentación de las **maquinas** de trituración, ya que por su tamaño inferior a la descarga, no requiere de dicha operación.
4. Obtener productos comerciales en los casos en que el tamaño sea una de las condiciones de venta, como ocurre con el Feldespato, carbón o la piedra para concreto, por ejemplo.
5. Obtener una fracción enriquecida, lo cual sucede cuando la mayor parte del mineral útil se encuentra en dicha fracción.

La **Clasificación** puede realizarse haciendo pasar el mineral sobre una superficie que tiene huecos, llamada criba o tamiz. Es la llamada clasificación por tamaño o tamización, también se la conoce como

cribado. En el campo Industrial la clasificación mediante cribas se aplica para partículas mayores a un milímetro.

Para indicar el tamaño del mineral que ha sido retenido es costumbre utilizar el signo +. De manera análoga, si pasa por un orificio se antepone a la dimensión de éste el -. Con esta notación, para decir por ejemplo que un producto está comprendido entre las mayas 8 y 10, se escribiría -8 +10.

1.3 LA LIBERACION

Cuando las partículas de un crudo están constituidas por un mismo mineral, se dice que el mineral está libre.

En la naturaleza raramente se presenta esta condición, más frecuentes son los casos en que artificialmente, por medio de la fragmentación se logra la liberación.

El tamaño final de las partículas resultará siempre menor que el tamaño de la sustancia útil, pues si fuera mayor algunos de estos podrían estar parcial o totalmente rodeados de ganga.

Menos frecuente es la liberación por desunión de los granos a causa de la diferencia de las propiedades físicas entre los minerales vecinos como ocurre entre la galena y el cuarzo. Para estos casos la fragmentación no

necesita llevarse hasta tamaño inferiores de la partícula útil.

Cualquiera que sea el caso, la determinación de la finura del mineral no puede precisarse por estudios teóricos, sino más bien con pruebas de laboratorio que contemplan el examen de los productos resultantes de un tratamiento con un microscopio.

La cuantificación de la liberación se la hace utilizando el llamado "grado de liberación" que se representa por (λ) el cual es la relación en porcentaje entre las partículas libres y el total existente como libres y en los mixtos, es decir el total que hay en la cabeza.

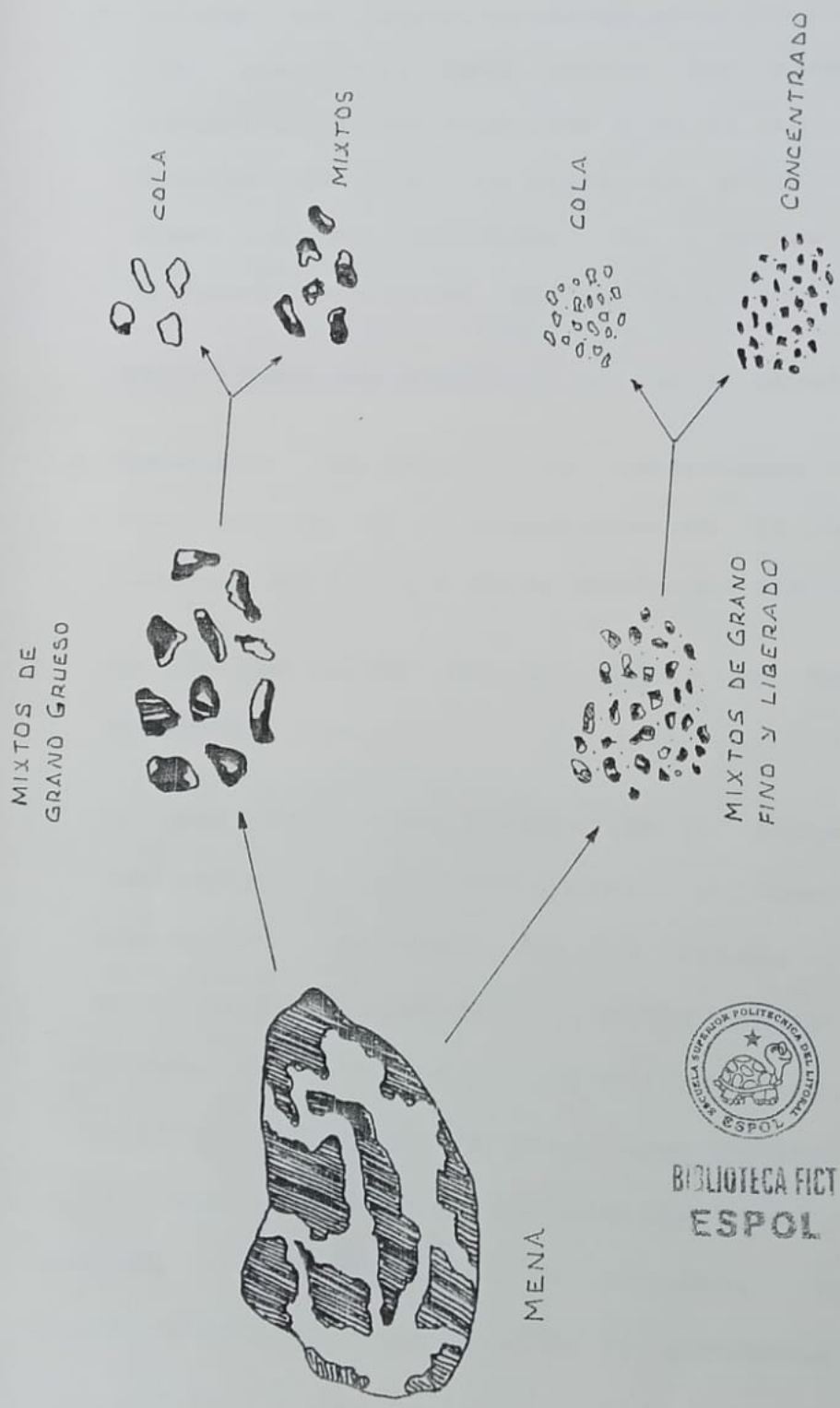
Esto se expresa en la siguiente fórmula:

$$= \frac{\text{granos libres}}{\text{granos libres} + \text{granos en los mixtos}} * 100$$

1.4 LA FRAGMENTACION

Es la operación que reduce el tamaño de los minerales con el objeto de:

1. Liberar el mineral útil de la ganga al tamaño más grueso posible. En el caso por ejemplo, de la concentración gravimétrica, donde debe evitarse la producción de sobretriturados (laminas).



BIBLIOTECA FICT
 ESPOL

ILUSTRACION ESQUEMATICA DE LA LIBERACION DE LOS MINERALES

2. Obtener un tamaño apropiado para que puedan actuar los reactivos. Esto ocurre por ejemplo en la concentración por flotación o en la cianuración para disolver el oro y la plata. La producción de las lamas puede descender la recuperación (en flotación) o a veces mejorar la (cianuración).

Por ultimo, hay ocasiones en que el objetivo es:

3. Conseguir un producto de condiciones comerciales, como ocurre en la preparación de la barita, el cemento, el talco y otros productos similares.

La fragmentación se la divide en trituración y molienda.



Se considera como Trituración la fragmentación de partículas en tamaños grandes y como Molienda la producción de finos, sin que exista un criterio estricto par establecer limites entre las etapas. Además, estos límites son variables, pues por ejemplo, cada dia se construyen equipos de molienda de mayor tamaño y eficiencia que permite tratar en ellos partículas mas grandes, tamaños **que** anteriormente solo podian fragmentarse en aparatos de trituración.

Hay que tener presente que cuando mas finamente se muela una sustancia, menor sera el rendimiento de **los** aparatos y mayor el costo de la operación, por lo

que existe un límite económico que no se debe sobrepasar. Dicho límite se alcanza cuando el aumento de los ingresos conseguidos por la recuperación suplementaria debido a la mayor molienda, sea igual al aumento de costo que ocasiona ésta. Desde el punto de vista económico, las operaciones de fragmentación tiene influencia considerable en el costo de la preparación y concentración de minerales pues con frecuencia se emplea en ellas más del 50% de la energía total consumida en la planta. Por consiguiente es necesario enfatizar que la reducción de tamaños deberá limitarse a obtener el deseado, y que producir una sobremolienda o sea partículas de tamaño inferior al requerido, aunque sea involuntariamente es un gasto inútil de energía que eleva los costos de producción.

1.4.1 LEYES DE LA FRAGMENTACION

La resistencia que opone una roca a fragmentarse depende de la cohesión y la elasticidad. Las fuerzas que las máquinas de fragmentación aplican a las partículas crean esfuerzos y tensiones dentro del mineral produciendo la fractura cuando se excede el límite elástico del material. Es evidente que no habrá fractura si la intensidad de las fuerzas aplicadas es insuficiente.

La resistencia de los minerales varia de uno a otro, y Gross, por ejemplo, utilizandó una escala arbitraria de resistencia a la fragmentación obtuvo los siguientes minerales que se comparan con la escala de dureza de Mohs.

ESCALA DE GROSS

MINERAL	RESISTENCIA A LA FRAGMENTACION	ESCALA DE DUREZA DE MOHS
Cuarzo (Silicato)	1,000	7,0
Pirita (Sulfuro)	0,785	6,0 - 6,5
Blenda (Sulfuro)	0,311	3,5 - 4,0
Calcita (Carbonato)	0,231	3,0
Galena (Sulfuro)	0,192	2,5

Los sulfuros presentan una menor resistencia que el cuarzo, es así que la mayoría de las menas sulfuradas dan una proporción mayor de sulfuros en la fracción fina, cuando son sometidas a trituración.

En las máquinas trituradoras actúan simultáneamente la presión y la fricción con predominio de una de ellas.

Para romper los trozos grandes se requieren fuerzas considerables y la presión aplicada para lograrlo puede ser progresiva como en el caso de las máquinas que

trituran por aplastamiento, o puede ser casi instantanea, como en el caso de los aparatos que trituran por impacto. Si solamente interviene la fricción se obtiene un producto sumamente fino por el desgaste de la roca contra la superficie de trabajo. En cambio son fuerzas pequeñas las necesarias para triturar partículas del tamaño de arenas.

Diversos investigadores han tratado de establecer formulas y postular leyes que permiten relacionar la energía consumida con el tamaño de las partículas producidas a partir de un tamaño dado de alimentación.

Rittinger (1867), supuso que la energía necesaria para reducir el tamaño de una partícula es directamente proporcional a la superficie nueva creada y por consiguiente que el trabajo útil en la fragmentación de una tonelada de partículas de tamaño uniforme es inversamente proporcional a la dimensión del producto.

Si llamamos X_0 y X_1 a las dimensiones antes y después de fragmentar, la nueva superficie creada será :

$$S \text{ creada} = \text{cte.} \left(\frac{1}{X_1} - \frac{1}{X_0} \right)$$

y la energía consumida :

asar el $E = K \left(\frac{1}{X_1} - \frac{1}{X_0} \right)$

mitrono

designa po

Kick (1885), supuso que la energía requerida es proporcional a la reducción que se efectue en el tamaño de las partículas consideradas. Según esto, para reducir en una determinada proporción el tamaño de las partículas contenidas en una tonelada, supuestas todas de la misma dimensión, se necesitaría la misma cantidad de energía independientemente del tamaño de la alimentación.

$$E = Ck \log (X_0 / X_1)$$

En la ecuación, Ck es la constante de Kick.

Bond (1951), considerando que en el trabajo de la fragmentación deben intervenir tanto el tamaño (Kick) como la superficie (Rittinger) puesto que los esfuerzos absorbidos por las partículas son proporcionales a su volumen y la fractura comienza con la deformación de una grieta, propuso su "tercera teoría" según la cual "El trabajo útil para la fragmentación es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del diámetro del producto.

La dimensión que se pone en la práctica como diámetro de la partícula, para los cálculos, es la que se deja

pasar el 80% de las mismas. De esta forma, el diámetro (micrones) por el que pasa el 80% del producto se designa por P_8 y para la alimentación por A_8 . La ecuación

básica es:

$$W = 10 \cdot W_i \cdot \left(\frac{1}{P} - \frac{1}{A} \right)$$

donde W representa el trabajo consumido en KW-hora por tonelada y W_i el "índice de trabajo" esto es, un parámetro que expresa la resistencia del material a la fragmentación y que se determina experimentalmente.

En la Tabla se dan algunos valores promedios publicados por Bond.

INDICE DE TRABAJO DE BOND

MATERIAL	DENSIDAD	INDICE PROMEDIO W_i
Andesita	2,84	22,11
Bauxita	2,38	9,45
Caliza	2,69	11,61
Carbón	1,63	11,37
Clinker	3,09	13,49
Coque	1,51	20,70
Cuarzo	2,64	12,77
Cuarzo Aurífero	2,86	14,83
Hematita	3,76	12,68
Roca Fosfática	2,66	10,13

El coeficiente W_i no es constante durante las distintas etapas de la fragmentación, debido a la heterogeneidad de las menas y rocas, por ello los valores de la tabla sirven solo de primera aproximación.

Charles (1956) hizo notar que las formulas de las tres teorías anteriores tenían un origen común, pues podían obtenerse al integrar la ecuación empírica siguiente que relaciona la energía consumida con la reducción de tamaño:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{C}{x^n}$$

El exponente n valdría respectivamente:

$$n = 1 \text{ (Kick)}$$

$$n = 1,5 \text{ (Bond)}$$

$$n = 2 \text{ (Rittinger)}$$

y la constante C adquiere en cada caso diferentes valores. Para relacionar la energía consumida con la reducción de tamaño, Charles propuso la siguiente fórmula:

$$E = A \cdot k^{-\alpha}$$

donde A es una constante, k es el modulo de tamaño y α un exponente, los mismos que se obtienen experimentalmente.



BIBLIOTECA

1
Trabajos de investigadores posteriores y los resultados obtenidos por la Industria confirman la hipótesis de que la energía consumida en la fragmentación es directamente proporcional a una constante, e inversamente proporcional a una potencia del modulo de tamaño del producto, sin embargo, su valor no puede ser fijado de antemano, pues depende no solo de la diferente resistencia que ofrecen los minerales sino a la fuerza, ya sea presión o fricción, predominante en el tipo de equipo utilizado.

1.4.2 ASPECTOS PRACTICOS DE LA FRAGMENTACION

Del total de la energía aplicada a la fragmentación solo una parte se gasta en romper el mineral, pues una fracción de aquella se convierte en calor, otra se transforma en ruido, etc. Conviene reducir en lo posible las pérdidas mecánicas, como las producidas por la transmisiones y las fricciones, o bien las pérdidas en los resultados, como es la producción de finos.

Para ejercer un control racional de la fragmentación se requiere efectuar previamente un exámen petrográfico de la mena para fijar el tamaño mas conveniente y posteriormente realizar exámenes granulométricos del producto, con determinación de la ley de cada fracción, para juzgar si se ha cumplido con el objetivo, de no ser así, se procede a realizar las acciones para lograrlo.

1.5 FUNDAMENTOS DEL MOLINO DE BOLAS

En el proceso de molienda en el Laboratorio se utiliza comúnmente el molino de bolas. Este es una máquina de reducción de tamaño que funciona básicamente con el principio de impacto. Es de amplia utilización en el campo de preparación de minerales. Utiliza por lo general bolas de acero especial de un diámetro entre 15 y 200 mm. La cámara de molienda está constituida por un tambor de forma cilíndrica o cilindro cónico que gira alrededor de un eje horizontal.

En un molino de bolas existen ciertos parámetros y definiciones importantes que se detallan a continuación.

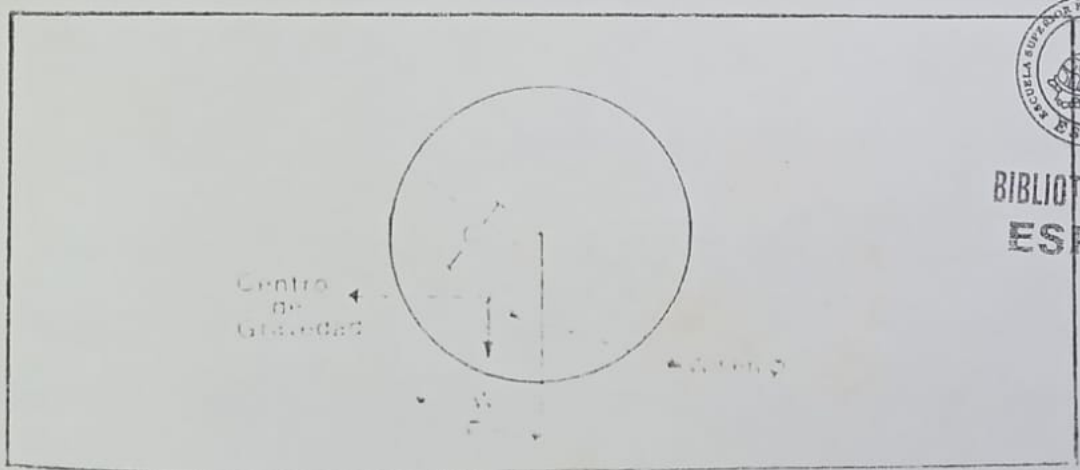
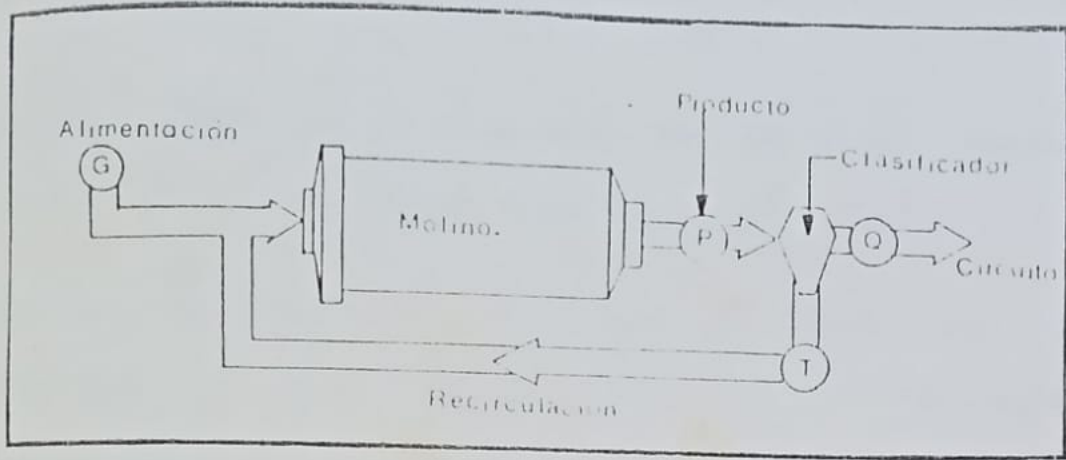
La velocidad crítica del molino (N_c), es la velocidad rotacional en que las bolas del molino empiezan a centrifugarse. Si D es el diámetro interno del tambor y d el diámetro de la bola de tamaño máximo, entonces:

$$N_c = 76.6 / \sqrt{D - d} \quad (D \text{ y } d \text{ en pies; } N_c \text{ en RPM})$$

$$N_c = 42.2 \sqrt{D - d} \quad (D \text{ y } d \text{ en m; } N_c \text{ en RPM})$$

La fracción de velocidad crítica a la que revoluciona un molino se la denota N^* , y normalmente esta en el rango de 65% a 85% para óptimos rendimientos. Si N es la velocidad rotacional del molino, entonces:

$$N^* = N / N_c$$



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

La carga máxima de bolas (M_b), es la fracción del molino ocupada por la masa de bolas. Para aplicaciones industriales M_b no debe de sobrepasar el 50%. Si W es el peso de la carga de bolas, y V el volumen del molino, entonces:

$$M_b = W / V \cdot \delta_{BDM}$$

donde δ_{BDM} es la densidad de las bolas contemplando la porosidad del empaque de la carga total.

Si un molino tiene una tasa de producción (Q), la energía (E) requerida para realizar la reducción será igual a:

$$E = P / Q$$

donde P es la potencia del molino suministrada por el motor y definida como:

$$P = W \sin \theta \cdot 2\pi \cdot C_g N$$

C_g es el centro de gravedad del sistema y θ el ángulo que forma C_g con el centro transversal del molino. Relacionándolo el centro de gravedad C_g con el diámetro D del molino deducimos que :

$$C_g/D = 0.44 - 0.45 M_b$$

Existe otra manera de calcular la potencia P en base a relaciones empíricas, mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$I = 7,04 D^{3,4} \left[\frac{L}{I} \right] \text{SBDM} (M_b - 0,94 M_b^2) N^* \left[\frac{Y}{0,1 (Z)} \right]$$

donde: $Y = 10 N^* - 9$, y L es el largo del eje del cilindro.

Esta fórmula es muy practica y utilizada debido a que se encuentran incluida todas las conversiones: el caso para que el resultado se obtenga en Kilovatios (Kw), siempre y cuando se trabaje en pies y toneladas cortas (Ts).

1.6 ENSAYO AL FUEGO

El término "ensayo al fuego" es aplicado a las determinaciones cuantitativas en el cual un metal o metales son separa temperatura ambiente. Una vez que el material estuvo completamente seco, se procedio a la homogenización, que se logra mezclando y amontonando el material sucesivas veces formando una especie de cono, hasta comprobar visualmente que se ha logrado una textura externa homogénea.

Posteriormente se procedio a la reducción de la muestra, siendo el método más extendido el cuarteo.

Según este procedimiento la muestra se reduce después del mezclado y tras haber extendido el material en forma de un disco plano de espesor constante. Para ello, con la ayuda de una lámina se divide el disco en cuatro

partes iguales o cuadrantes, según los diámetros recíprocamente perpendiculares. Se rechazan dos de los cuartos opuestos, mientras que los otros dos quedan como muestra reducida.

Finalmente, el material así obtenido es el que se toma para el análisis respectivo.

II PRUEBAS DE LABORATORIO

2.2 DETERMINACION DE LA DENSIDAD

La determinación de la densidad es necesaria en el proceso de cianuración, puesto que su magnitud es importante para la preparación de la pulpa.

La determinación de la densidad se hizo utilizando una probeta de pie graduada, en la que se observa la variación de volúmen que experimenta al introducir las arenas con un peso conocido, en el interior de la probeta conteniendo un volúmen conocido de agua destilada.

La densidad se calcula mediante la ecuación:

$$\delta = \frac{M}{V}$$

donde: δ = densidad en gr/cm³
 M = masa en gr.
 V = volúmen en cm³

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla siguiente :

MASA [gr.]	Vo [cm ³]	Vf [cm ³]	ΔV [cm ³]	δ [gr/cm ³]
20.0021	112	117	5	4.0004
30.0074	172	179	7	4.2867
40.0020	161	171	10	4.0002
50.0033	140	172	12	4.1669

La Densidad promedio de las arenas es :

$$\delta = 4,1136 \text{ gr./cm}^3$$

2.3 DETERMINACION DEL INDICE DE TRABAJO DE LAS ARENAS DE PONCE ENRIQUEZ A PARTIR DEL INDICE DE TRABAJO DE UN MATERIAL CONOCIDO

El Indice de trabajo (W_i) desarrollado por Fred C. Bond y otros es uno de los mejores programas de investigación que se han realizado en el estudio de molienda de menas.

Si se determina el indice de trabajo W_i de una mena, con éste se puede calcular la energía (KW-h) requerida para moler una tonelada de esta mena hasta llevarla a cierto tamaño final deseado, también se puede conocer la potencia del motor que se necesita, así como las dimensiones del molino, velocidad de rotación, etc.

El Indice de trabajo puede ser obtenido comparando una mena conocida que tenga un " W_i " cercano al Indice de la mena desconocida; ambas menas deben ser sometidas a idénticas condiciones de molienda para así poder igualar los resultados.

La fórmula básica para determinar la energía (KW-h/Tm.) empleada en obtener cierto producto es la siguiente:

$$E = 10 W_i \left| \frac{1}{P} - \frac{1}{F} \right|$$

" P " es el tamaño en micras, por el cual el 80% de la distribución por peso del producto pasará.

" F " es el tamaño que el 80% de la alimentación al molino pasará, también esta dada en micras.

El Procedimiento para determinar el Índice de trabajo mediante este método es el siguiente:

1. Se preparó el material patrón

1. Se preparó 1000 gr. de material patrón "estibina de LOMA LARGA" de Índice de trabajo ($W_i = 10 \text{ KW-h/ Ts}$) conocido.

2. Se trituró en el molino de bolas hasta lograr una granulometría del 80% pasante tamiz 65 Mesh (Tyler).

Esta fue la alimentación " F " para la prueba.

3. Se preparó una sarta de tamices con la finalidad de realizar un diagrama de GAUDIN-SCHUHMAN para la alimentación.

4. Se sometió 500 grs. de este material a 10 min. de molienda bajo las mismas condiciones anteriores.

5. Luego de 10 min., se sacó el producto del molino de bolas, se tomó 200 grs. y se tamizó como en el paso

3. Los resultados del producto conocido posteriormente se gráfica.

6. Se tomó 500 grs. del material desconocido y se repitió los pasos 3 a 5 para este material (las arenas de Ponce Enriquez).

Los resultados obtenidos de la prueba se presentan a continuación:

ESTIBINA DE LOMA LARGA

TABLA I. ALIMENTACION

TAMIZ	Ø[um.]	Wi [gr.]	Wi/ W	F3(d)
40	+ 425	43	0.215	1.000
50	425-300	38	0.190	0.785
70	300-212	23	0.115	0.595
100	212-150	18	0.090	0.480
140	150-106	12	0.060	0.390
200	106- 75	11	0.055	0.330
< 200	75- 00	55	0.275	0.275

TABLA II. PRODUCTO

TAMIZ	Ø[um.]	Wi [gr.]	Wi/ W	F3(d)
40	+ 425	2	0.01	1.000
50	425-300	2	0.01	0.990
70	300-212	10	0.05	0.980

TAMIZ	Ø [um.]	Wi [gr.]	Wi/W	F3(d)
100	212-150	34	0.17	0.930
140	150-106	40	0.20	0.760
200	106- 75	23	0.115	0.560
< 200	75- 00	89	0.445	0.44

ARENAS DE FONCE ENRIQUEZ (MATERIAL DESCONOCIDO)

TABLA III. ALIMENTACION

TAMIZ	Ø [um.]	Wi [gr.]	Wi/W	F3(d)
40	+ 425	48	0.032	1.000
50	425-300	66	0.034	0.967
70	300-212	210	0.140	0.922
120	212-125	232	0.155	0.781
140	125-106	455	0.303	0.625
200	106- 75	233	0.155	0.321
230	75- 63	92	0.061	0.165
< 230	63- 00	156	0.104	0.104

TABLA IV. PRODUCTO

TAMIZ	Ø [um.]	Wi [gr.]	Wi/W	F3(d)
40	+ 42	1	0.003	1.000
50	425-300	1	0.005	0.995



70	300-212	3	0.015	0.990
100	212-150	10	0.050	0.975
140	150-106	64	0.320	0.925
200	106- 75	56	0.280	0.605
< 200	75- 00	65	0.325	0.325

El Índice de trabajo de las arenas de Fonce Enriquez calculado a partir de estos datos y del gráfico de Gaudin-Schuhmann (Ver anexo 1) es:

$$W_i = 13.71 \text{ KW-h/ Ts}$$

2.4 ANALISIS MICROSCOPICO

Este análisis se realizó para determinar los minerales de ganga presentes y especialmente de carbonatos. Para tal efecto, primeramente se hizo una separación de los minerales de ganga, de los minerales mena mediante microbateado, se tomó los minerales de ganga, se los secó y con ellos se preparó láminas delgadas en el Laboratorio de esta Facultad. En análisis de las láminas se efectuó en un microscópio polarizante marca Leitz del tipo Orthoplan-pol.

El conteo de los minerales se hizo por áreas, mediante un barrido total de las láminas, asignándole porcentaje total aproximado de cada mineral.



GRÁFICO GAUDIN-SCHUHMANN - ESTIBINA DE LOMA LARGA



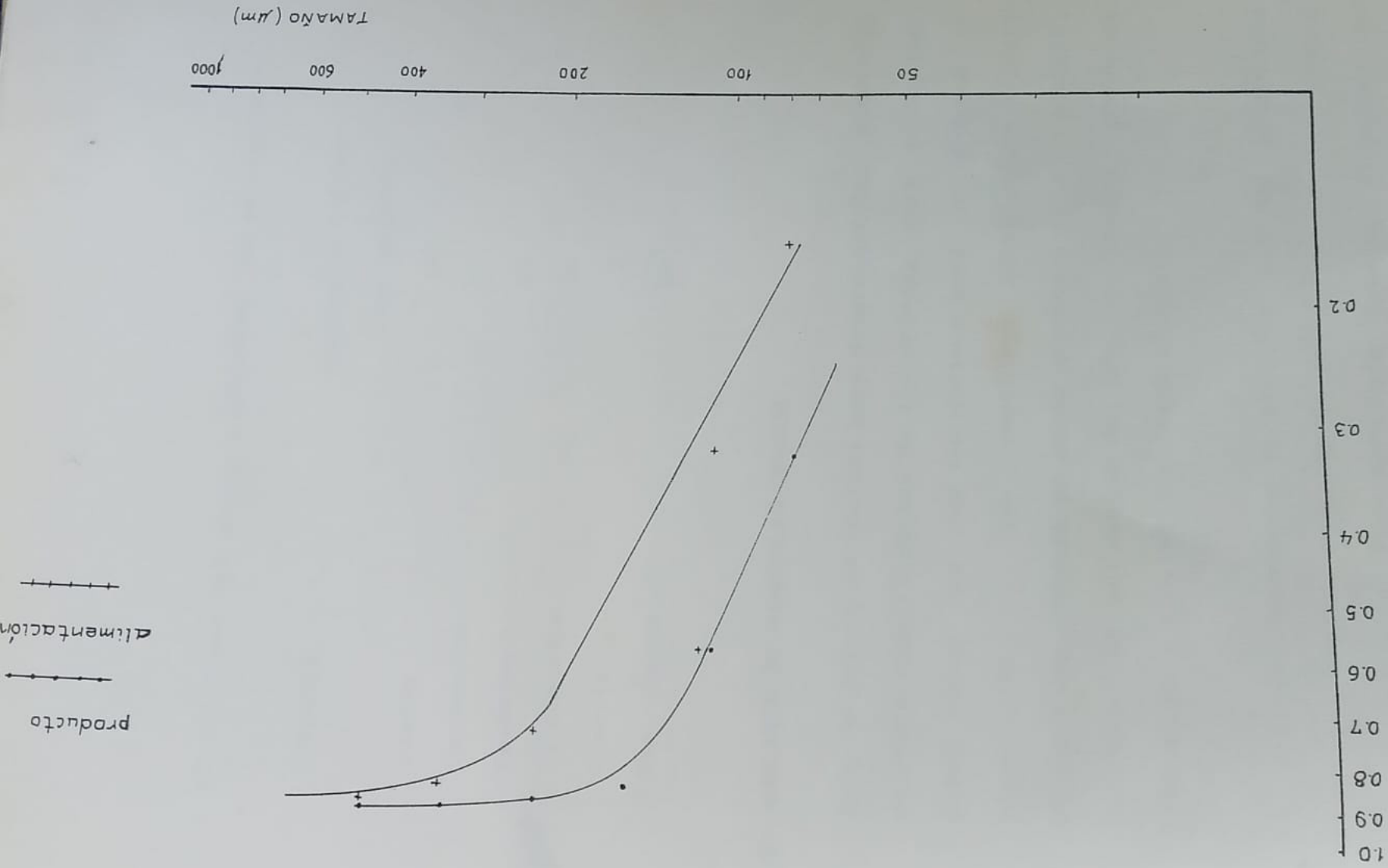
1000 600 400 200 100 50



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

GRAFICO GAUDIN-SCHUHMAN - MATERIAL DESCONOCIDO

$F_3(D)$



El resultado del análisis efectuado fue el siguiente:

MINERAL	PORCENTAJE ESTIMADO (POR VOLUMEN)
Cuarzo	11
Carbonatos	17
Epídotas	20
Feldespatos	20
Clorita	2
Mín. Opacos	30

2.5 ANALISIS DE MINERALES OPACOS

Este análisis se realizó para determinar los minerales de mena constituyentes de las arenas, para establecer entre ellos los que son nocivos para el proceso de cianuración y las posibles alternativas para eliminarlos. Además se quiso observar, si era posible, la forma de ocurrencia del oro, su tamaño, grado de liberación y asociaciones mineralógicas.

El análisis se efectuó en probetas pulidas preparadas para tal efecto, mediante un aglomerado de las arenas con resina específica para este trabajo. El pulido de las probetas se efectuó en el Laboratorio de Microscopía de PETROCAPACITACION, con resultados satisfactorios.

Para el análisis de las probetas se utilizó un

microscopio marca Leitz tipo Orthoplan-pol resultados
siguientes:

Pirita	62%
Pirrotina	17%
Calcopirita	9%
Magnetita	8%
Ilmenita	4%

En la probeta se observa abundantes granos de pirita de color amarillo claro con bordes semirendondeados y a veces manteniendo la forma cúbica. La calcopirita aparece generalmente asociada a la pirrotina, aunque también existen granos libres de este mineral. La magnetita e ilmenita aparecen como granos libres aislados.

2.6 ANALISIS PIROMETALURGICOS

El análisis pirometalurgico se hizo para determinar el tenor de oro y plata presentes en el material de colas de Ponce Enriquez. Se determinó el tenor por fracción retenida en el material de alimentación y el tenor de cabeza de la mena.

2.6.1 METODOLOGIA DE TRABAJO PARA LOS ENSAYOS PIROMETALURGICOS

Se toma un peso 1.50g del material de colas y se

sometió al tamizado en el "Ro-Tap", por un lapso de 30 min., utilizando una tanda de tamices Mesh (Tyler): 40, 50, 70, 120, 140, 200, 230, - 230.

2. Del peso total retenido en cada fracción, se tomó 50 gr. y se introdujo en el horno a una temperatura de 800 °C. aproximadamente para el proceso de tostación. Se lo dejó por 30 min., en cuyo intervalo se removió esporádicamente el material.

3. Se sacó del horno el recipiente que contenía el material "tostado", se lo dejó enfriar y se pesó.

4. Se preparó la carga fundente, pesando los reactivos necesarios en la balanza Sartorius:

60,00 gr. de Litargirio

15,00 gr. de Borax

8,00 gr. de Silice

4,00 gr. de Harina

--Carbonato, igual al peso dado en el paso 3.

5. Estos reactivos se mezclaron con la muestra en un crisol hasta obtener un producto mas o menos homogéneo.

6. Se espolvoreó la carga con Bórax antes de introducir el crisol en la mufla, la misma que debía estar a una temperatura de unos 1000 °C. Se dejó en el interior por unos 30 minutos.

7 La carga completamente fundida se sacó del horno y se la vertió sobre la lingotera donde se la dejó enfriar.

8 Al producto resultante se le separó la escoria del botón de plomo.

9 Se moldeó el botón de plomo mediante golpes con un mazo, hasta dejarlo de una forma mas o menos cónica.

10 Se introdujo la copela en el horno y se lo dejó calentar al rojo vivo. Cuando alcanzó ese punto, se introdujo el botón de plomo y se lo colocó en la copela. Se dejó en el interior hasta que quedó solamente el botón conteniendo oro y plata (dore).

11. Se pesó el doré y posteriormente se lo golpeó hasta que tomó la apariencia de un disco.

12. En un vaso pyrex, se colocó ácido nítrico y agua en una proporción 1 : 7. Se introdujo el doré en la solución y se sometió a calentamiento en la hornilla, tapando previamente el vaso con un vidrio reloj.

13. Se dejó que la solución llegue al punto de ebullición. Se bajó ligeramente la temperatura de la hornilla y se dejó hasta que la solución se evapore o haya atacado completamente a la plata.

14. Se lavó el oro resultante en el vaso con agua destilada. Como aun contenia plata, se realizó la incuarcación, a fin de refinar el oro.

15. Se preparó la siguiente carga fundente para incuarcación:

- 30.0 grs. de Litérgirio
- 5.0 grs. de Bórax
- 5.0 grs. de Carbonato
- 3.0 grs. de Sílice
- 2.5 grs. de Harina



16. Luego de fundir la carga, se obtuvo el oro libre de impurezas. Se peso y calculo el tenor de la muestra.

Los resultados obtenidos en los ensayos al fuego, se presentan a continuación:

TABLA VI.

TAMIZ RETENIDO	PESO MUESTRA [gr.]	PESO DORE [mgr.]	PESO ORO [mgr.]	TENOR ORO PLATA [gr/T] [gr/T]
40	40.0	4.9	2.5	62.5 58.3
50	50.0	2.2	1.3	26.0 16.0
70	30.0	5.6	3.1	62.0 43.0
120	50.0	7.0	3.8	76.0 62.0
140	50.0	5.2	2.5	50.0 52.3

200	40.0	5.2	2.4	60.0	68.3
230	40.0	5.7	2.6	65.0	75.8
< 230	40.0	5.7	2.5	62.5	78.3

2.6.2 DISCUSION DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS PIROMETALURGICOS

Las pruebas de ensayo al fuego dieron resultados bastante halagadores. El tenor de oro promedio es: 56 gr./T y de plata 57.3 gr./T

El material retenido en el tamiz 120 mesh, tiene el tenor mas elevado de oro: 76 gr./T

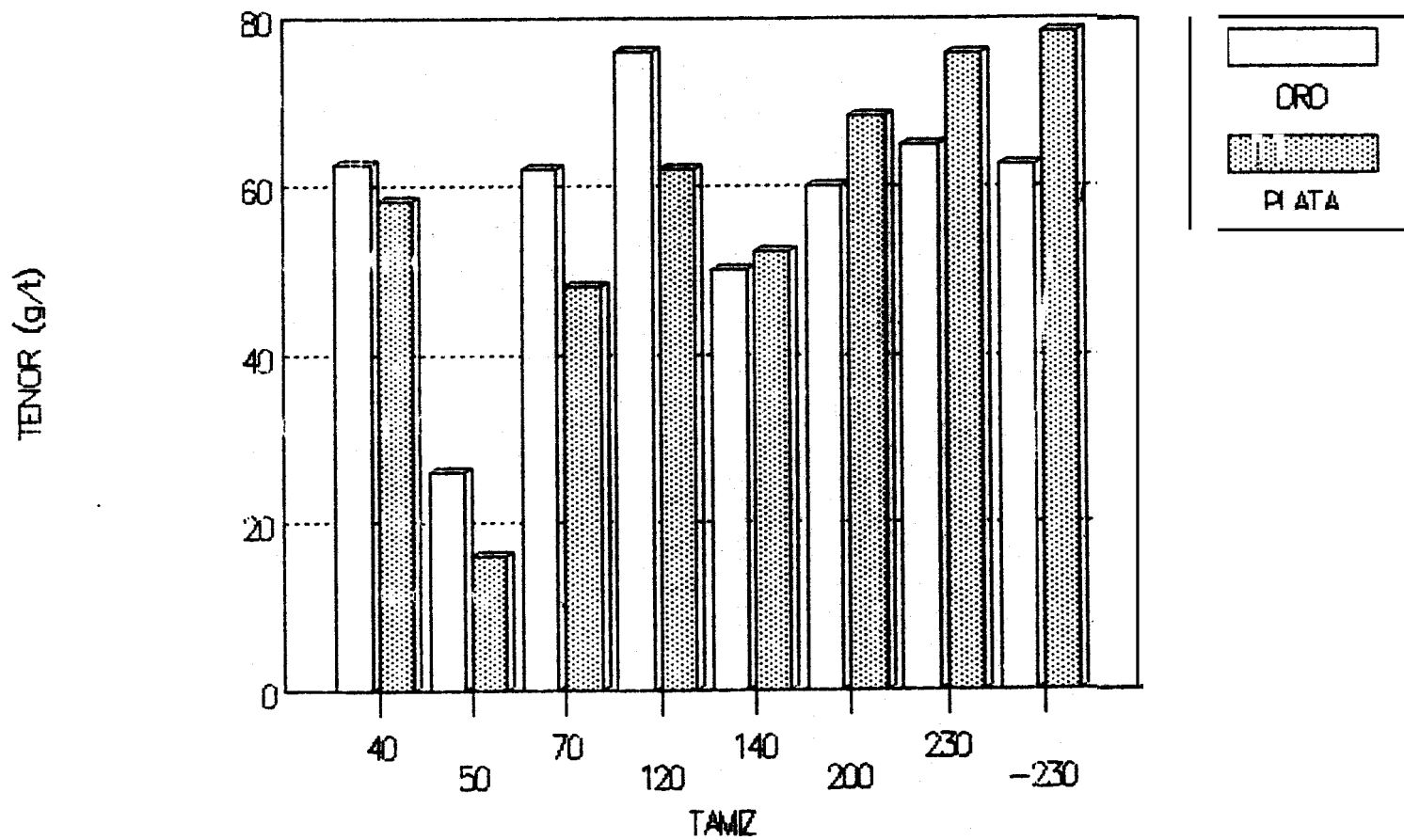
El material retenido en el tamiz - 230 mesh, y el tenor más elevado de plata: 78.3 gr./T

El material retenido en el tamiz 50 mesh, tiene los tenores mas bajos de oro y plata: 26.0 y 16.0 gr./T respectivamente.



TENOR DE ORO Y PLATA

Distribuido por Tamaño



III CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las pruebas encaminadas a caracterizar las arenas de relave se efectuarán sin mayores dificultades, salvo el análisis de minerales opacos, el mismo que por falta de práctica y experiencia no se efectuó a la brevedad esperada.

En cuanto a las conclusiones a que se llegó luego de realizarse las pruebas son las siguientes:

1.- La densidad de las arenas de relave determinada en el laboratorio dió un valor promedio de 4,1136 gr/cm³.

2.- Los gráficos Gaudín-Schuhmann de los materiales tratados tienden a formar curvas; salvo el gráfico de la alimentación de la estibina que es una recta.

El Índice de Trabajo del material desconocido (arenas de relave) dió un valor de 13,71 KwH/Ts, el mismo que es cercano al Índice de Trabajo del material conocido (estibina de Loma Large) que es de 10 Kw H/Ts.

3.- En el análisis mineralógico del material realizado en láminas delgadas para los minerales de ganga se estableció la presencia de carbonatos en un porcentaje algo significativo (≈17%); lo que es importante en el proceso de cianuración, puesto que así se va a tener un menor consumo de cal con el suficiente ahorro económico.

4.- En el análisis de minerales opacos, no se observó mineral alguno con contenido de oro o plata. El mineral

más abundante es la pirita, con un porcentaje aproximado de 62 %.

5.- En los ensayos al fuego realizados al material de arenas en las distintas granulometrías, se obtuvo en todos ellos resultados positivos. En tenor más bajo se tuvo en el material retenido en el tamiz 50 mesh, con valores de 26.0 y 16.0 gr/T de oro y plata respectivamente.

6.- El tenor de cabeza del material dió un calor de 64.0 gr./t y 62.0 gr/t de plata.

7.- De los resultados obtenidos en ensayos paralelos podemos concluir lo siguiente del presente tópicos:

- No es necesario que se realice molienda menor a la que tuvo inicialmente para el proceso de cianuración por agitación.

- La presencia de grandes porcentajes de minerales sulfuro, practicamente obliga a una tostación preliminar de las arenas previo al análisis pirometalúrgico.

- Los minerales constituyentes de la mena no presentan dificultad para el proceso de cianuración, tanto en el consumo de cianuro CN como en la formación de cianatos.

E I E L I O G R A F I A

- Aguayo Sergio, Del Greco Otello, Erazo Franklin, Gallardo Giovanni, SEMINARIO DE TRATAMIENTO Y ENRIQUECIMIENTO DE MINERALES, ESPOL, DPTO. IGMP, Junio 1982.
- Pimentel Vargas Diego, TESIS DE GRADO, FICT, ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 1990
- Cutler Shepard, Dietrich Waldemar, FIRE ASSAYING, 1st. Edition, 2nd. impression, Mc Graw-Hill Book Company, 1990
- Febrel Molinero Tirso, MICROSCOPIA DE MINERALES OPACOS Barcelona, España, 1983.