

3. KURBATOV, A. K.: Material referativo del trabajo de disertación, Moscú, 1967.
4. PEREZ BARRETO, R.: "Investigaciones sobre los criterios de semejanza hidrodinámica aplicados al transporte hidráulico" en Revista Minería y Geología no. 2, ISMMMOa, 1983.
5. PEREZ BARRETO, R.: "Investigación de los parámetros del transporte hidráulico de minerales y concentrados en flujos de alta concentración". Disertación en búsqueda del grado de Candidato a Doctor en Ciencias Técnicas. Krivoy Rog, 1970.
6. YUFIN, A. P.: Hidromecanización. Gostejizdat, Moscú, 1965.

CDU: 622.73:621.926 (729.1)

## TRITURACION Y MOLIENDA DE LOS MINERALES DE HIERRO DE MINA CHIQUITA

### RESUMEN

En el presente trabajo se ha realizado un estudio de laboratorio encaminado a determinar la variante óptima de preparación mecánica de los minerales del sur de Santiago de Cuba, teniendo en cuenta los elementos teóricos de la bibliografía especializada.

Se dan algunas propiedades físicas del mineral, como son densidad, peso volumétrico y categoría de triturabilidad, las cuales determinan el proceso de beneficio a emplear.

Se realiza un estudio de la molibilidad para determinar la influencia de determinados factores sobre la misma, tales como: área y diámetro de los elementos triturantes, tamaño del mineral alimentado y tiempo de molienda; además se obtuvo una ecuación de la cinética de la molienda.

## ДРОБЛЕНИЕ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ МИНЕРАЛОВ "МИНА ЧИКИТА"

### Резюме

В данной работе проведено лабораторное исследование с целью определения оптимального варианта механической подготовки минералов из Сантьяго-де-Куба, с учётом теоретического анализа специальной литературы.

Представлены некоторые физические свойства минералов (плотность, объёмный вес, категория дробимости), которые определяют необходимый процесс обогащения.

Изучена измельчаемость для определения влияния некоторых факторов, таких как поверхность и диаметр дробящихся тел, крупность основной руды и время измельчения. Кроме того было получено кинетическое уравнение измельчения.

## CRUSHING AND GRINDING OF IRON ORE FROM MINA CHIQUITA

### ABSTRACT

This article is concerned with a lab-study aimed at determining the optimum variant of mechanical preparation of ores from the south of Santiago de Cuba, taking into account the theoretical elements present in the specialized bibliography.

Some physycal features of the mineral are given, such as: density, volumetric weight and category of crushability, which are influential factors in the ore dressing process, that most be used.

Grinding capability was studied, in order to determine the influence of certain factors on it, such as area and diameter of crushers, size of the fed ore and grinding time. The article also shows an equation of grinding kinetics.

## TRITURACION Y MOLIENDA DE LOS MINERALES DE HIERRO DE MINA CHIQUITA

Ingeniero Evelio Evans Cuello  
Instructor  
Dpto. Química Procesos del ISMMMoá

Doctor José F. Falcón Hernández  
Profesor Titular del ISMMMoá

La industria siderúrgica constituye una base indispensable para la industrialización del país, que debe abastecer a la industria mecánica.

Para el desarrollo de la siderúrgica en estos momentos se cuenta con tres fuentes fundamentales de obtención de materia prima: las colas de las plantas niquelíferas "Comandante René Ramos Latour" y "Comandante Pedro Sotelo Alba" de Nicaro y Moá respectivamente, y el mineral de hierro de Santiago de Cuba.

En el Departamento de Química Procesos del Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moá, se han realizado una serie de trabajos investigativos, encaminados a determinar la variante óptima de preparación mecánica de minerales del sur de Santiago de Cuba. Los ensayos a nivel de equipos de laboratorio se realizaron con una muestra de mineral de Mina Chiquita.

Para determinar los indicadores principales de la reducción de tamaño de los minerales de hierro con vista a la elección de los esquemas de preparación y beneficio se realizaron ensayos de trituración y molienda a escala de laboratorio.

El análisis realizado a la muestra del yacimiento Mina Chiquita pertenece al tipo de contacto metasomático. En la muestra el mineral se encuentra en forma de magnetita maciza, así como diseminada, siendo este el principal mineral; contiene además en menos cantidad la hematita [6].

Las propiedades físicas del mineral determinan el proceso de beneficio a emplear en el caso que nos ocupa.

La susceptibilidad magnética del mineral es alta; es decir, un mineral fuertemente magnético. La densidad del mineral y su peso volumétrico fueron determinados por los métodos picnométricos y de pesada hidrostática y se obtienen los valores de  $3\ 880\ \text{kg}\ \times\ \text{m}^{-3}$  y  $2\ 600\ \text{kg}\ \times\ \text{m}^{-3}$  respectivamente.

La tecnología para obtener concentrados de minerales que no alcanzan los contenidos exigidos está ligada a la liberación completa de estos, y a su separación efectiva posterior y a la aglomeración en el caso específico de los minerales de Fe, Mn y Cr.

Cuando se trata de minerales de gran dureza los esquemas de preparación mecánica de los minerales de hierro se caracterizan por presentar 3 o 4 etapas de trituración, siendo los dos primeros en circuito abierto [1]. Generalmente se emplean trituradores de cono en las diferentes etapas de trituración. Si el mineral no se libera hasta alcanzar tamaños menores de 1 mm, después vienen las operaciones de molienda, empleándose regularmente 2 o 3 etapas de estas operaciones.

Cuando se trata de minerales ricos en hierro, como resulta el de la muestra estudiada, de acuerdo con el tamaño del mineral liberado se tritura en 2 o 3 etapas hasta 25 mm,

y la fracción gruesa de este mineral se beneficia por vía seca; en dependencia de los resultados se obtiene un concentrado o se separa la cola. Comúnmente se utiliza la última variante debido a que posibilita que los gastos de molienda disminuyan. Luego el mineral grueso beneficiado se mezcla con el fino y se aplican 1 o 2 etapas de molienda.

Las menas de hierro magnético se someten generalmente a esquemas de molienda y beneficio por etapas, realizándose la separación de las colas a medida que se liberan las concreciones (entrecrecimiento) entre los minerales de Fe, y los minerales estériles acompañantes.

Para la molienda la mayor difusión la han obtenido los molinos cilíndricos de tambor con descarga a través de parrilla y (o) descarga central, aunque para plantas de grandes capacidades se utiliza también la automolienda [1].

En algunos casos se emplea un molino de barra en la primera etapa y se muele hasta el 25-30 % de la clase - 0,074 mm, este molino da un producto más uniforme y con menor cantidad de lamas; el circuito puede ser abierto o cerrado. Para las siguientes etapas se utilizan molinos de bolas [4].

En la primera etapa se emplea un clasificador de espiral, y en la segunda y tercera, por lo general, hidrociclones.

El modelo experimental consistió en determinar la característica granulométrica del mineral, realizando la trituración en un triturador de mandíbula. Mediante esta se determinó la categoría de triturabilidad del mineral. Se trabajó con dos aberturas de descarga del triturador, la máxima y la mínima; en cada una de ellas se realizaron varios experimentos y se obtuvo la aproximación por el método matemático de regresión par.

La molienda se ensayó en un molino cilíndrico (D x L 0,195 x 0,245 m), variando el diámetro de las bolas empleadas como elementos triturantes, el tamaño máximo del mineral alimentado para analizar la influencia de cada uno de estos factores, y de otros tales como área de las bolas y tiempo de molienda del mineral estudiado. Además, se determinó la ecuación de la cinética de la molienda para las condiciones empleadas.

Se realizaron ensayos de separación magnética por vía seca para la clase - 12 + 5 mm analizando los contenidos de hierro en los concentrados, colas y alimentados, con el objetivo de determinar el beneficio de esta clase, y también se calculó de forma orientativa un esquema de molienda de una etapa en circuito cerrado hasta el 40 % de la clase - 0,074 mm, cuyos resultados no se informan por no ser objetivo del presente trabajo.

Para determinar la característica típica del producto en trituradores de mandíbulas se tomaron 10 muestras para cada abertura de descarga (i) del triturador.

$$i_{\max} = 7 \text{ mm} \quad i_{\min} = 5 \text{ mm}$$

La característica granulométrica del mineral sometido a trituración se muestra en la Tabla 1. En esta aparecen sólo 3 muestras típicas del mineral sometido a ensayo. En la Tabla 2 se muestra el análisis granulométrico de los productos triturados de las 3 muestras anteriores, y en la Figura 1 se muestran las características típicas del triturador de quijada y D II 9 x 12 [2], así como las características del mineral alimentado y triturado.

TABLA 1. Análisis de tamices antes de triturar.

Clases mm	Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3	
	Gramos	% acumulativo por retenido	Gramos	% acumulativo por retenido	Gramos	% acumulativo por retenido
+ 20	63	12,6	71	14,2	51	10,2
- 20 + 16	105	33,6	70	28,2	176	45,4
- 16 + 12,5	192	72	210	70,2	170	79,4
- 12,5 + 10	73	86,6	102	90,6	65	92,4
- 10 + 8	42	95	30	96,6	21	96,6
- 8 + 5	22	99,4	12	99	10	98,6
- 5 + 0	3	100	5	100	7	100
Total	500	-	500	-	500	-

TABLA 2. Análisis de los tamices después de triturar.

Clases mm	Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3	
	Gramos	% acumulativo por retenido	Gramos	% acumulativo por retenido	Gramos	% acumulativo por retenido
+ 12,5	15	3	25	5	11	2,2
- 12,5 + 10	90	21	75	20	36	9,4
- 10 + 8	100	41	98	39,6	83	26
- 8 + 5	117	64,4	143	68,2	160	58
- 5 + 2,4	75	79,4	69	82	103	78,6
- 2,4 + 0	102	99,8	89	99,8	106	99,8
Total	499	-	499	-	499	-

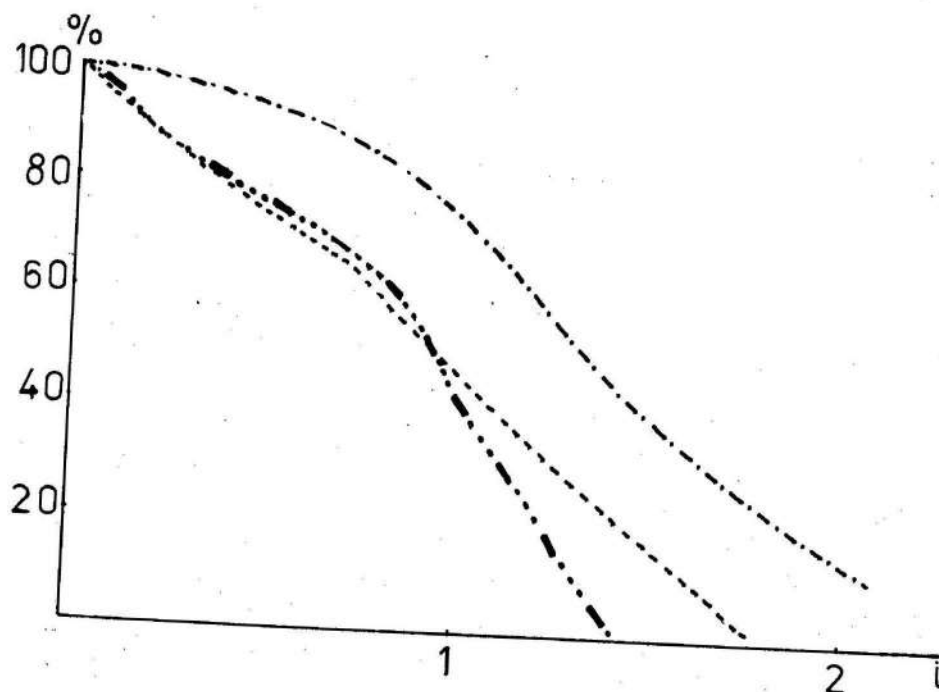


Fig. 1 Curvas de las características granulométricas.  
 Abscisa 1, 2, i.  
 Ordenada 20, 40, 60, 80, 100 %.  
 - - - - - mineral alimentado.  
 - · - · - mineral triturado.  
 - - - - - característica típica de los trituradores de mandíbula.

La característica granulométrica obtenida demostró que el mineral es duro; por lo tanto, por extensión puede recomendarse trabajar con las características granulométricas típicas de los trituradores de cono para minerales duros en la elección y cálculo de los esquemas de trituración.

Durante los ensayos se trabajó con las siguientes condiciones: cantidad de mineral: 0,5 kg y molienda por vía húmeda con una relación L:S = 0,6-1.

Para el estudio de la molienda se escogieron las cargas de bolas a utilizar que se muestran en la Tabla 3.

TABLA 3. Características de las bolas empleadas..

Diámetro de las bolas (mm)	Peso kg	Area (cm <sup>2</sup> )
35	9,6	1 847,2564
37	5,125	1 026,4839
31	4,5	1 075,21
Total	9,625	2 101,6939
30	9,48	2 375,0439

La diferencia entre los diámetros de bolas empleadas no es muy grande y por tanto la diferencia entre las áreas de estas tampoco lo es, aunque las dimensiones del molino empleado no permitían bolas de mayor diámetro.

En la Tabla 4 se muestran los datos obtenidos en los ensayos de molienda, utilizando diferentes tamaños máximos del mineral alimentado, diámetro de las bolas y tiempo de molienda.

TABLA 4. Datos obtenidos durante la cinética de molienda.

Tamaño mineral aliment. mm	Tiempo minutos	Diámetro 35 mm % por retenido		Diámetro 37 y 31 mm % por retenido		Diámetro 30 mm % por retenido	
		0,0741 mm	0,044 mm	0,074 mm	0,044 mm	0,074 mm	0,044 mm
7	5	88	97	74	84	69	79
	10	50	72	55	71	54	68
	15	36	59	39	58	36	52
	20	24	51	27	49	25	39
	25	14	39	21	40	17	29
	30	7	29	34	14	34	15
12,5	5	78	89	82	90	74	84
	10	63	79	73	87	59	70
	15	51	67	56	69	51	60
	20	40	58	40	54	42	51
	25	26	43	33	48	38	46
	30	19	30	32	44	35	41
17	5	76	87	89	95	77	84
	10	72	84	65	77	63	73
	15	52	66	57	68	57	64
	20	49	65	46	58	43	51
	25	42	55	43	54	39	45
	30	37	50	42	53	38	44

Analizando las tablas podemos ver que a medida que aumenta el tiempo de molienda, independientemente del tamaño del mineral alimentado, aumenta el por ciento en peso de la clase preparada para cualquier tamaño; pero con los tamaños de mineral, 12,5 y 17 mm, y al emplear el diámetro de bolas de 31 y 37 mm este aumento no es significativo a partir de los 25 minutos, y tampoco es muy significativo el aumento con el empleo del diámetro de bolas de 30 mm a partir de los 25 minutos, para ningún tamaño de los empleados.

Para todos los diámetros de bolas, a medida que aumenta el tamaño del mineral alimentado se va obteniendo menor por ciento en peso de la clase preparada para los mismos tiempos de molienda; esto no se cumple solamente para los 5 minutos en el diámetro de 35 mm .

Analizando las clases 0,074 y 0,044 mm, los diámetros de bolas que logran mayor por ciento en peso de la clase preparada hasta 20 minutos aproximadamente son los de 30 mm y sólo hay una variación en el tamaño de 17 mm de mineral para la clase 0,074 mm . Algunas veces se logra mayor por ciento en peso de la clase preparada con el diámetro de bolas de 35 mm y otras con el de 30 mm .

Los datos obtenidos durante la cinética de molienda se grafican construyéndose las curvas de la molibilidad (Figuras 2, 3 y 4) para obtener la ecuación de la cinética de la molienda del mineral (con las condiciones empleadas) según Tovarov [3] para la clase 0,074 mm .

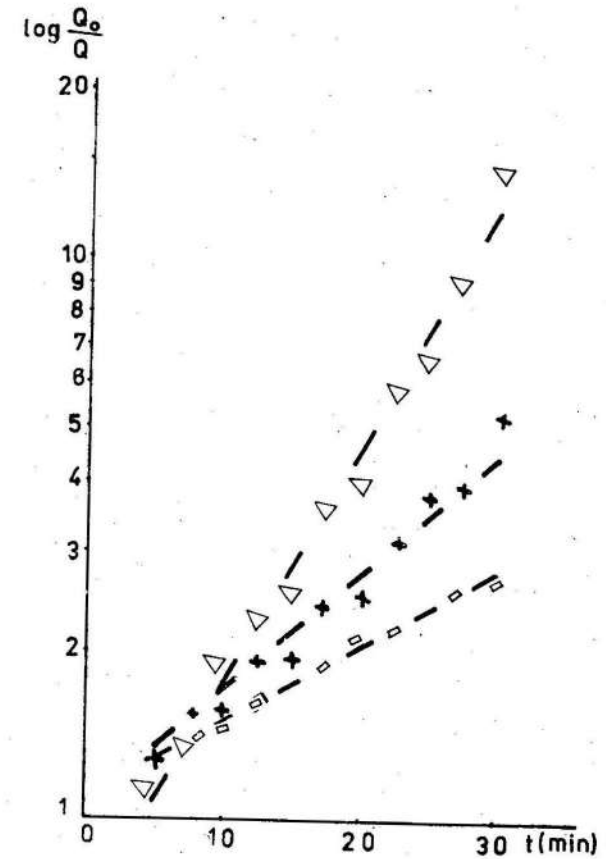


Fig. 2. Curvas de molibilidad. Diámetro de bolas de 35 mm .  
 Abscisa 0, 10, 20, 30 t (min).  
 Ordenada 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20  $\log \frac{Q_0}{Q}$ .  
 $\Delta$ - $\Delta$ - $\Delta$  Diámetro del mineral alimentado 7 mm .  
 x-x-x Diámetro del mineral alimentado 12,5 mm .  
 □-□-□ Diámetro del mineral alimentado 17 mm .

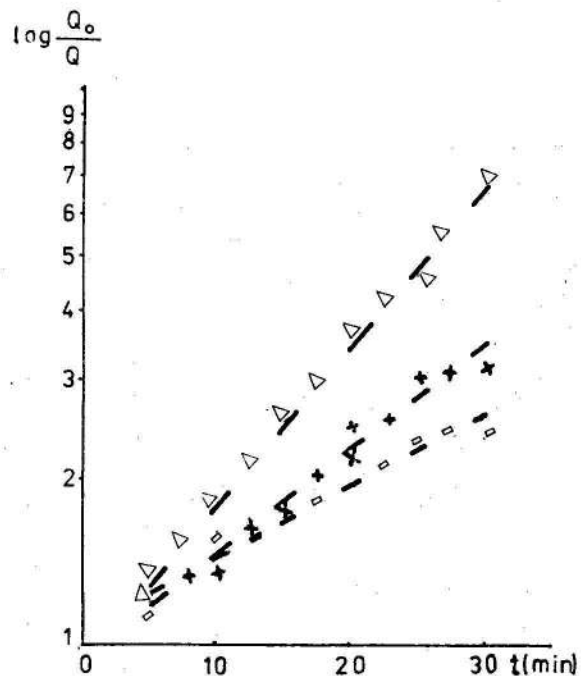


Fig. 3. Curvas de molibilidad. Mezcla de los diámetros de bolas de 31 y 37.

Abscisa 0, 10, 20, 30 t (min).

Ordenada 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,  $\log \frac{Q_0}{Q}$ .

- $\Delta-\Delta-\Delta$  Diámetro del mineral alimentado 7 mm .
- $x-x-x$  Diámetro del mineral alimentado 12,5 mm .
- $- - - - -$  Diámetro del mineral alimentado 17 mm .

$$Q = Q_0 e^{-Kt^m}$$

Donde:

Q y  $Q_0$  = peso de la clase gruesa que se tiene después de un tiempo t de molienda y que se alimenta respectivamente

K = coeficiente constante que depende de las condiciones de molienda

m = coeficiente que depende del carácter del mineral molido

t = tiempo de molienda

Las curvas en el sistema semilogarítmico aparecen en las Figuras 2, 3 y 4.

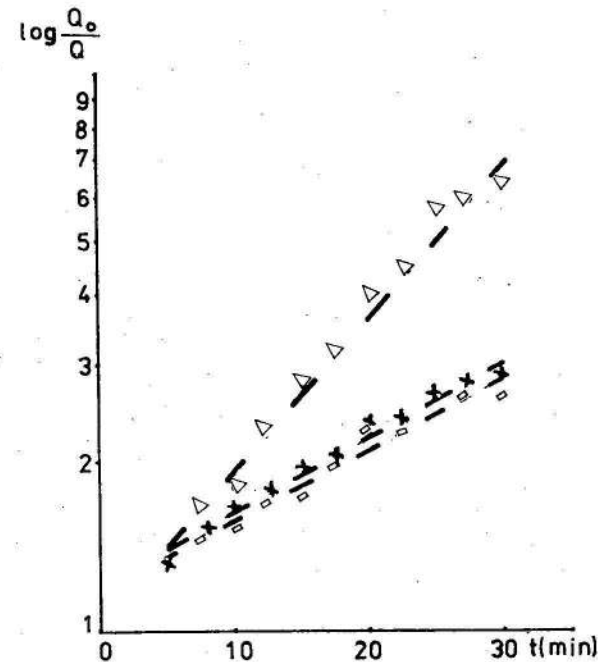


Fig. 4. Curvas de molibilidad. Diámetro de bolas de 30 mm .

Abscisa 0, 10, 20, 30 t (min).

Ordenada 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9  $\log \frac{Q_0}{Q}$ .

- $\Delta-\Delta-\Delta$  Diámetro del mineral alimentado 7 mm .
- $x-x-x$  Diámetro del mineral alimentado 12,5 mm .
- $- - - - -$  Diámetro del mineral alimentado 17 mm .



Los valores de m y K obtenidos en cada corrida se muestran a continuación.

Corridas	m	K x 10 <sup>-3</sup>
1	1,43	18,1
2	0,94	58
3	0,83	59
4	1,03	55
5	1,08	30
6	0,86	50
7	0,97	70
8	0,7	93
9	0,73	80

Con la ecuación de la cinética de molienda se puede calcular orientativamente para las mismas condiciones de molienda la molibilidad del mineral en un tiempo dado.

$$m_{\text{promedio}} = 0,952$$

$$K_{\text{promedio}} = 57 \times 10^{-3}$$

La determinación de los valores de m y K nos permite establecer las comparaciones con otras instalaciones de molienda que traten un mineral similar.

Mediante la comparación de m y K con los valores obtenidos para diferentes minerales de hierro de la URSS de la clase 0,063 mm [5] se puede apreciar que este mineral es oxidado y presenta valores similares a los minerales oxidados de la planta Inguliet, Krivoi-Rog, URSS. Por tanto, pueden tomarse los datos sobre la instalación de esta planta para la proyección de las instalaciones de molienda del mineral estudiado.

#### CONCLUSIONES

1. El estudio de la trituración de los minerales de Mina Chiquita mostró una característica similar a la característica típica de los minerales duros en trituradores de quijada.
2. En los ensayos se determinó la ecuación de la cinética de la molienda, según la ecuación propuesta por Tovarov, y los valores promedios de los coeficientes m y K resultaron 0,952 y  $57 \times 10^{-3}$ , respectivamente.
3. Recomendamos, sobre la base de los resultados obtenidos, que se realicen ensayos a escala semiindustrial y continua.

#### REFERENCIAS

1. ANDREIEV, S. E. y otros: Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales. Ed. Mir, Moscú, 1980
2. BOGDANOV, O. S. y otros: Manual de beneficio de los minerales, t. I y II. Ed. Nedra, Moscú, 1974 (en ruso).

3. DERCACH, V. G.: Métodos especiales de enriquecimiento de minerales. Ed. Nedra, Moscú, 1981.
4. KARMECIN, V. I.: Métodos magnéticos de enriquecimiento. Ed. Nedra, Moscú, 1982 (en ruso).
5. MARGULIS, V. S.: Determinación de los parámetros de la molienda. Ed. Gostejizdat, Moscú, 1963.
6. SALAS VINENT, M. y B. FROMETA LEGRA: "Separación magnética del hierro en la zona Mina Chiquita de Santiago de Cuba". Trabajo de Diploma, ISMMMOA, 1981.

CDU: 622.763:66.082 (729.1)

## ESTUDIO DE LA PULPA CRUDA DEL MINERAL LATERITICO DEL YACIMIENTO DE MOA (I): ANALISIS GRANULOMETRICO

### RESUMEN

Se realizó un estudio granulométrico de la pulpa cruda laterítica utilizando las técnicas de tamización y levigación, valorándose las fluctuaciones del contenido de las fracciones granulométricas y la existencia de grumos de diferentes grados de deleznableidad, los cuales influyen en el contenido de sólidos en la pulpa cruda para lixiviar.

REVISTA MINERIA Y GEOLOGIA, 3-84

135