

LA UNIVERSIDAD DE LA HABANA Y EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE LA REPÚBLICA DE CUBA, TIENEN EL PLACER DE AMPLIAR LA INFORMACIÓN SOBRE EL PRIMER TALLER DE BIBLIOTECAS UNIVERSITARIAS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, QUE SE CELEBRARÁ EN LA UNIVERSIDAD DE LA HABANA, DEL 20 AL 24 DE OCTUBRE DE 1987.

TEMÁTICAS

1. Lenguajes de búsqueda informativa
2. Formatos bibliográficos en portadores magnéticos
3. Elaboración de bases de datos
4. Evaluación de hardware y software
5. Organización de sistemas y servicios bibliotecarios
6. Actividad editorial universitaria
7. Formación de usuarios, especialistas y técnicos de información

ACTIVIDADES

Disertaciones especiales por invitación
Conferencias sobre temas actuales
Mesas redondas
Sesiones de presentación y discusión de ponencias y carteles
Otras actividades científicas

REQUISITOS PARA LA PRESENTACIÓN DE PONENCIAS

Los interesados en presentar ponencias deben enviar al comité organizador, junto con el talón de inscripción, antes del 30 de junio de 1987:

- Extracto de hasta 10 cuartillas
- Resumen de hasta 300 palabras

EL PLAZO DE ADMISIÓN DE SOLICITUDES DE INSCRIPCIÓN PARA LOS PARTICIPANTES QUE NO TENGAN INTENCIÓN DE PRESENTAR PONENCIA, CERRARÁ EL 1º DE SEPTIEMBRE DE 1987.

CDU : 622 . 73 : 621 . 926 . 5

CONSIDERACIONES

SOBRE LA MOLIENDA A ESCALA SEMI-INDUSTRIAL DE LOS MINERALES

DE HIERRO DE SANTIAGO DE CUBA

Ing. Evelio Evans C., Ing. Odalys Ramos R., Instituto Superior Minero Metalúrgico .

RESUMEN

El presente estudio es la continuación del trabajo realizado a escala de laboratorio, acerca de la determinación de algunos indicadores básicos de la molienda a escala semi-industrial de los minerales de hierro de Santiago de Cuba.

En el mismo se comparan algunos resultados obtenidos en ambos trabajos, además de determinar nuevos indicadores como son: carga circulante óptima, potencia útil consumida y otros.

ABSTRACT

The present study is a continuation of the work prepared at laboratory scale, dealing with the determination of some basic indicators of the semi-industrial scale grinding of iron ores from "Santiago de Cuba".

In this paper, some results from both works have been compared, and new indicators such as : optimal circulating load, input useful-power and others are determined, as well.

El presente trabajo es la continuación de otro desarrollado en el I.S.M.M. acerca de la trituración y molienda de los minerales de hierro de "Mina Chiquita".

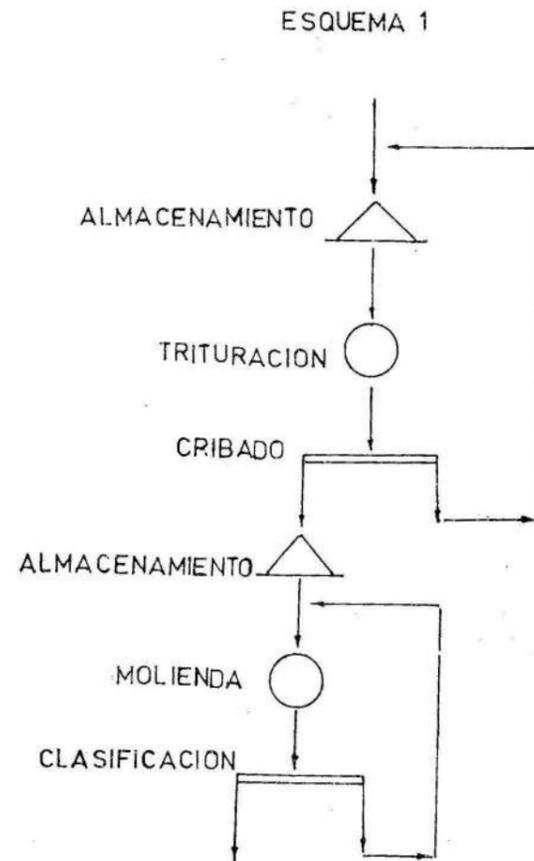
En el mismo se continúan estudiando los indicadores óptimos que son necesarios establecer en el proceso de preparación mecánica de los minerales del sur de Santiago de Cuba y es realizada sobre la base de una serie de ensayos a escala semi-industrial con muestras del mismo yacimiento, pero con la lógica determinación de otros indicadores que se pueden determinar en un proceso de esta índole, comparando en algunos casos los resultados obtenidos en unos y otros ensayos.

Las muestras tomadas para los ensayos fueron extraídas del yacimiento "Mina Chiquita". Los ensayos se efectuaron en una instalación semi-industrial existente en el I.S.M.M. la cual consta de un triturador de quijada del tipo D-160 checoslovaco, una criba vibratoria VT-150, dos transportadores de banda, dos tolvas, un molino de bolas con descarga a través de parrilla, un clasificador de espiral no sumergida y los correspondientes canales de transportación del producto molido y de las arenas, el cual se muestra en el esquema No. 1 [5] .

A continuación se brindan las características más importantes de estos equipos :

Triturador de quijada

Tamaño máximo de alimentación: 60 mm



Capacidad: 100-200 kg h^{-1} ;
 Potencia del motor: 3 kW
 Abertura de descarga (máxima y mínima): 16 y 6 mm

Molino de bolas

Dimensiones: (D x L) 41,4 . 44,5 cm
 Volumen: 58,9177 dm^3
 Velocidad de rotación del tambor:
 6,7 rad s^{-1} (95 % de la crítica).

Potencia del motor: 1,1 kW
 Corriente nominal: 6 A

Clasificador de espiral

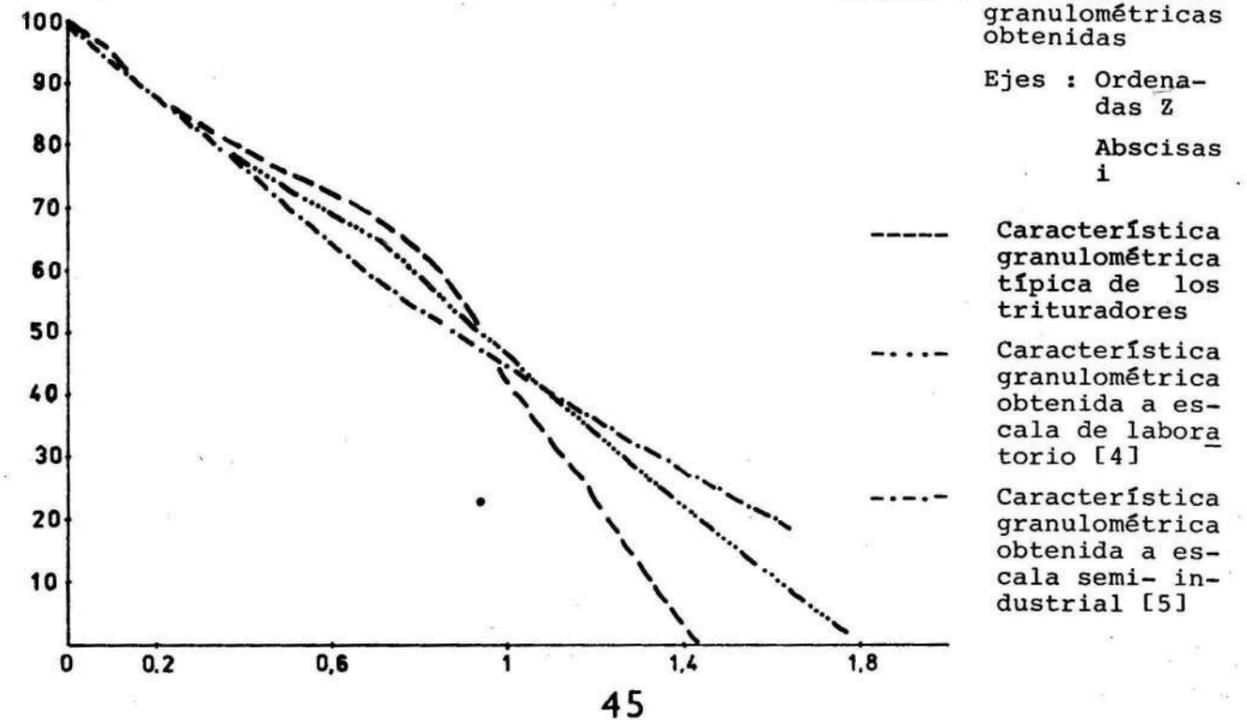
Dimensiones: (L x A) 125,5 . 16,5 cm
 Diámetro de la espiral: 14,5 cm

Velocidad de rotación de la espiral: 3,88 rad^{-1}
 Potencia del motor: 0,26 kW
 Corriente nominal: 1,3 A
 Angulo de inclinación: 18°

Para la realización de los ensayos se realizaron 6 corridas experimentales cuya duración era de 2,5 h con una capacidad horaria que oscilaba entre 30 - 40 kg h^{-1} , durante las cuales se tomaron los datos necesarios para el cálculo de los siguientes indicadores: capacidad teórica y real del triturador, coeficiente de llenado, características granulométricas del mineral alimentado y triturado, potencia consumida y grado de reducción de la operación

También se determinaron los gastos de agua a la entrada y salida del molino, la carga circulante, contenidos de sólidos y relaciones líquido - sólido. Por último se obtuvieron indicadores muy importantes de la operación de molienda como son la efectividad de la clasificación, potencia útil, efectividad de la molienda, capacidad del molino y otros

Se determinó la característica granulométrica del mineral alimentado y triturado y al compararse esta última tanto con [3] y [4] figura No. 1, se comprobó que coincide con los ya observados anteriormente, es decir categoría de triturabilidad de minerales duros.



Luego fue calculado el grado de reducción del triturador (i), el cual viene dado por la ecuación [1]

$$i = \frac{D_{med}}{d_{med}}$$

donde:

D_{med} y d_{med} - Dimensión de los agujeros cuadrados de tamiz a través del cual pasa un 80 % del material alimentado y triturado respectivamente y sus valores son 50 y 9,5 mm

El grado de reducción obtenido fue de 5,26 : Aunque el grado de reducción de las trituradoras de mandíbulas debe oscilar entre 3 y 4 , pero el valor obtenido está en el rango permisible que pueden alcanzar dichos equipos que es de 8 [2] .

La capacidad teórica dada por la fórmula [2]

$$Q_t = 0,1 L b \text{ th}^{-1}$$

donde:

Q- capacidad de la trituradora

L- longitud de la cámara de trituración (cm)

b- ancho de la abertura de descarga (cm)

$$Q = 3,3 \text{ th}^{-1}$$

Al determinar la capacidad se obtuvo un valor de $2,45 \text{ th}^{-1}$, lo cual es lógico debido a que la capacidad de los trituradores está en dependencia de la dureza del mineral y como se ha comprobado, la categoría

de triturabilidad del mineral es dura, por lo tanto, debe existir una disminución de la capacidad real respecto a la teórica.

El coeficiente de llenado de la trituradora (K) es igual a 0,74 el cual está en el rango permisible para las trituradoras de mandíbulas que generalmente se emplean en la primera etapa de trituración.

El empleo de las leyes de la trituración nos permite conocer la dependencia del trabajo empleado en la trituración con respecto al resultado de la operación, en este caso según la ley de P. A. Rebinder [1] que plantea :

$$E_R = \frac{A_R}{Q_0} = K_R \left(\frac{1}{D_{med}} - \frac{1}{d_{med}} \right) = K_K D_{med}^3 + K_{Ri} D_{med}^2$$

donde:

E_R - Energía consumida en la operación

A_R - Trabajo realizado

Q_0 - Volumen de todo el material (de forma esférica y con la misma granulometría)

K_R , K_K y K_{Ri} - coeficientes de Rebinder, Kirpichov y Rittinger respectivamente.

Las fórmulas anteriores nos van a posibilitar el cálculo aproximado del rendimiento probable de la trituradora trabajando con el mismo mineral.

Los valores de D_{med} y d_{med} que pueden ser utilizados se brindan con anterioridad.

La potencia del motor durante la operación de trituración fue determinada por la fórmula:

$$P_m = \sqrt{3} \cos \varphi U I$$

donde:

P_m - potencia del motor (kW) . Su valor fue de 2,8

U - tensión (V). El valor medido fue de 230

I - corriente (A). Con un valor de 8,8

$\cos \varphi = 0,83$

La potencia útil considerando el sistema de transmisión es 2,24 kW

Para los ensayos de molienda, las condiciones de trabajo empleadas se muestran a continuación:

Tiempo de molienda 2,5 h
 Tamaño máximo de mineral alimentado 0,6 cm
 Volumen del molino 58,911 7 dm³
 Cantidad de bolas 636
 Diámetro de las bolas (cm) 2,5-3,0-3,5-4,1
 Área de las bolas 5 451,22 cm²
 Volumen de bolas 12,909 6 dm³
 Régimen de molienda Catarata
 Coeficiente de llenado del molino con bolas 22 %
 Clasificador de espiral no sumergida 1 espiral
 Gasto de agua a la entrada del molino 650 - 750 mL min⁻¹
 Gasto de agua a la salida del molino 400 - 600 mL min⁻¹

Toma de muestras cada 20 min
 Cantidad de mineral 30 - 40 kg h⁻¹

Durante los ensayos, la toma de muestra se efectuó cada 20 min . Los análisis más importantes los analizamos con una durabilidad de 60 y 120 min , por ser estos los más representativos.

Todo esto nos permitió determinar los indicadores que eran objetivos nuestro establecer en el proceso de molienda.

En las tablas Nos. 1 y 2 se muestran los principales datos obtenidos durante la cinética de la molienda y un resumen de estos.

La carga circulante depende de las condiciones de molienda, propiedades del mineral y de la efectividad de la clasificación [1] .

La efectividad de la molienda es directamente proporcional al contenido de la clase gruesa en el molino, siendo la carga circulante el indicador que nos permite elevar el contenido del tamaño grande en el mismo.

Los valores de C pueden ser calculados sobre la base de la relación L : S y además por la granulometría del producto molido, nosotros la determinamos por la primera vía empleando la fórmula [2]

$$C = \frac{R_4 - R_3}{R_3 - R_5}$$

donde:

R_3 , R_4 y R_5 - Relación L : S a la salida del molino reboso del clasifica -

TABLA 1 DATOS OBTENIDOS DURANTE LA CINETICA DE LA MOLIENDA

No.	Corridas Tiempo minutos	Puntos de muestreo	Líquido gr	Sólido gr	Relación L:S	Contenido de sólido %	Carga circulante (c)
1	60	1	320	235	1,36	42	2,82
		2	515	115	4,47	18	
		3	125	397	0,31	76	
	120	1	340	278	1,22	44	2
		2	345	168	3,24	23	
		3	105	510	0,2	82	
2	60	1	275	400	0,68	59	3,75
		2	550	270	2,03	32	
		3	155	479	0,32	75	
	120	1	248	275	0,9	53	2,34
		2	725	320	2,26	30	
		3	140	435	0,32	75	
3	60	1	363	330	1,1	47	2,34
		2	335	90	3,72	24	
		3	161	555	0,29	77	
	120	1	230	710	0,46	55	2,55
		2	520	536	0,97	38	
		3	170	640	0,26	79	
4	60	1	305	465	0,65	60	2,72
		2	565	340	1,66	40	
		3	142	497	0,28	77	
	120	1	300	260	1,15	46	2,78
		2	565	280	3,66	21	
		3	142	430	0,25	79	
5	60	1	355	360	0,98	50	3,16
		2	625	200	3,1	24	
		3	175	550	0,31	75	
	120	1	340	325	1,04	48	2,44
		2	485	215	2,25	30	
		3	170	829	0,2	53	
6	60	1	750	321	0,78	56	3
		2	520	210	2,47	28	
		3	111	464	0,23	80	
	120	1	295	310	0,95	51	1,23
		2	490	280	1,75	36	
		3	190	614	0,3	76	

1. Salida del molino
2. Rebose del clasificador
3. Retorno al molino

TABLA 2 PRINCIPALES INDICADORES DURANTE LA CINETICA DE LA MOLIENDA

No.	Corridas Tiempo (min)	Efectividad de la clasificación (%)	Carga circulante (c)	% en peso de la clase preparada
1	60	57,4	2,82	55,82
	120	48	2,0	56,84
2	60	34	3,75	57,58
	120	69	2,34	65,37
3	60	69	3,23	52,63
	120	45	2,55	60,92
4	60	88	2,72	53,01
	120	65	2,78	68,07
5	60	70	3,16	56,09
	120	36	2,44	47,68
6	60	95	3,0	61,91
	120	39	1,23	65,05

dor y arenas respectivamente.

Analizando las tablas No. 1 y 2 vemos que la carga óptima circulante oscila entre 2,55 y 3 ya que la efectividad de la clasificación para estos valores siempre está en un rango mayor de 57 % exceptuando los 120 min de la tercera corrida donde el valor es de 45 %. El porcentaje en peso de la clase preparada (0,074 mm) está por encima del 56 % salvo a los 60 min de la cuarta corrida donde es igual a 53 %, es decir que son valores de la efectividad y por ciento en peso de la clase preparada elevados, encontrándose C en el rango permisible según la literatura especializada (1 : 5)

El circuito de molienda se estabiliza aproximadamente a los 40 min de trabajo, ya que durante los primeros 20 los resultados de C oscilan entre 5,56 y 25 en las diferentes corridas, además los contenidos de sólido a los 20 min en el reboso del clasificador son muy bajos, variando los valores desde 7 % a 18 % exceptuando la tercera corrida cuyo valor es de 38 % todo lo cual se puede apreciar en la Tabla No. 3

Los datos obtenidos durante la cinética de la molienda se grafican, obteniéndose las curvas de la molibilidad (Fig. No. 2 y 3) para obtener la ecuación de la cinética de la molienda del mineral (con las condiciones empleadas) según Tovarov [2] para la clase preparada 0,074 mm

$$Q = Q_0 \exp(-K t^m)$$

donde:

Q y Q₀ - Peso de la clase gruesa que se tiene después de un tiempo t de molienda y que se alimenta respectivamente

K y m - Coeficientes que dependen de las condiciones de la molienda y del carácter del mineral respectivamente.

Las curvas correspondientes de las seis corridas experimentales aparecen en un sistema logarítmico en las Figuras No. 2 y 3.

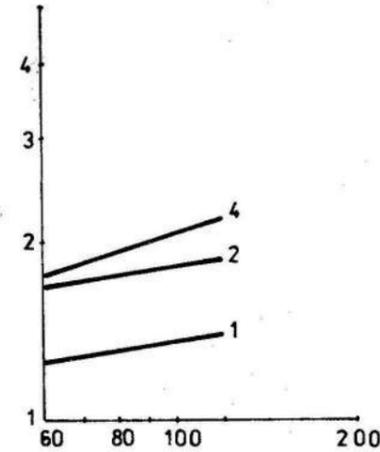


Fig. 2 Curvas de la cinética de la molienda

Ejes : Ordenadas
 $\log \left(\log \frac{Q_0}{Q} \right)$

Abscisas $\log t$

corridas experimentales 1,2 y 4

TABLA 3 DATOS FUNDAMENTALES OBTENIDOS A LOS 20 MINUTOS DE LA MOLIENDA

Corridas	Puntos de muestreo	Contenido sólido (%)	Relación L:S	Carga circulante (c)
1	1	50	1,0	16,34
	2	7	12,24	
	3	76	0,3	
2	1	43	1,29	10,41
	2	8	10,25	
	3	69	0,43	
3	1	57	0,37	7,5
	2	38	1,57	
	3	82	0,21	
4	1	47	5,11	5,56
	2	14	5,9	
	3	79	0,25	
5	1	55	0,78	7,13
	2	18	4,49	
	3	78	0,26	
6	1	58	0,7	25,21
	2	7	12,3	
	3	80	0,4	

1. Salida del molino
2. Reboso del clasificador
3. Retorno al molino

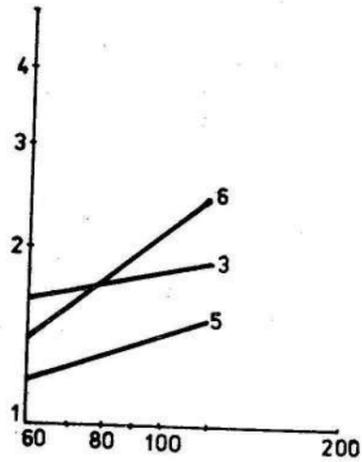


Fig. 3 Curvas de la cinética de la molienda

Ejes : Ordenadas

$$\log \left(\log \frac{Q_0}{Q} \right)$$

Abcisas $\log t$

Corridas experimentales 3, 5 y 6

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

Corridas	m	K x 10 ³
1	0,703	12,9
2	0,426	90,0
3	0,426	86,0
4	0,52	64,4
5	0,81	8,4
6	1,43	0,933
Promedios	0,72	43,7

Con la ecuación de la cinética de la molienda se puede calcular orientativamente para las mismas condi-

ciones de molienda, la molibilidad del mineral en un tiempo dado.

Estos valores de m y K nos permiten establecer comparaciones con otras instalaciones de molienda que traten un mineral similar.

Comparando los valores promedios con los de [4] se ve que las diferencias no son muy notables : 0,952 y 0,72 son las correspondientes a m y 57×10^3 y $43,7 \times 10^3$ son los de K, aunque en el trabajo de laboratorio variaban tanto el diámetro de las bolas como el tamaño del mineral alimentado en cada corrida, lo cual no ocurre en éste. También fueron comparados con los valores obtenidos para diferentes minerales de hierro de la URSS, pero de la clase 0,063 mm [6] y se puede apreciar que este es un mineral oxidado que presenta valores similares a los minerales oxidados de la planta de Inguliet, Krivoi Rog. Por tanto pueden tomarse los datos sobre la instalación de esta planta para la proyección de molienda del mineral estudiado.

Otros indicadores que fueron calculados durante la molienda fueron :

Potencia del motor $P_m = 1,25$ kW ,
Tensión $U = 230$ v ; Corriente $I = 4,5$ A ; $\cos \varphi = 0,73$

Teniendo en cuenta la relación de transmisión que es de correas y cadenas, la potencia útil es $P_u = 1,0$ kW .

La efectividad de la molienda respecto a la clase preparada (0,074 mm) tiene un valor de :

$$\vartheta = \frac{Q}{P_u} = \frac{0,0054}{1,0} = 5,4 \times 10^{-3} \text{ t kW}^{-1}$$

El coeficiente K, que está en dependencia de una serie de constantes, tiene un valor de 1,486 .

donde :

γ - coeficiente de amontonamiento de las bolas $4,6 \text{ t m}^{-3}$

φ - coeficiente de llenado del molino con la carga de bolas, en partes de la unidad 0,22

$\sin \theta$ - valor del ángulo de la vuelta de la carga de bolas que depende de la velocidad de rotación del molino, del grado de llenado con bolas 0,68 .

$\sin^3 \frac{\Omega}{2}$ - ángulo central que sostiene el sector lleno de bolas en el molino 0,66

El valor de la constante C es de $8,024 \times 10^{-3}$

$$C = \vartheta K$$

El rendimiento del molino (Q) tiene un valor de $3,94 \times 10^{-4} \text{ t h}^{-1}$

$$Q = C D^{2,5} L$$

donde :

D y L - diámetro interior y longitud del molino, m

El valor de la constante a es de 1,021 69

$$a = \frac{4C}{\Pi}$$

El rendimiento específico (q) es igual a $6,574 \times 10^{-3} \text{ t m}^{-3} \text{ h}^{-1}$

$$q = a D^{0,5}$$

La velocidad de rotación crítica (n_{crt}) es de $6,92 \text{ rad s}^{-1}$

$$n_{crt} = \frac{42,3}{D}$$

Todos estos índices y constantes fueron determinadas según la metodología de Andreiev.

El consumo de energía en la reducción de una tonelada de mineral en cada una de las operaciones es de :

$$P_{\text{trituration}} = 0,914 \text{ kW h t}^{-1}$$

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a nivel de laboratorio y semi-industrial y sus comparaciones con las características típicas de los trituradores de mandíbula se puede afirmar que la categoría de triturabilidad del mineral es dura. Los gastos de energía en las operaciones de reducción del mineral (trituration y molienda) por una tonelada de mineral son de $25,914 \text{ kW h t}^{-1}$.

Los valores promedios de los coeficientes que dependen del carácter del mineral (m) y de las condiciones de molienda (K) que se han obtenido en los ensayos de laboratorio y semi-industrial difieren en peque-

ñas magnitudes entre σ ($m = 0,952$ y $0,72$) ($K = 57 \times 10^3$ y $43,7 \times 10^3$) y ambos casos, la comparación con valores de m y K de [6] se aprecia que este mineral presenta características similares a los minerales oxidados de la planta de Inguliet, Krivoi Rog, URSS.

Analizando los resultados obtenidos en el circuito cerrado de molienda en los diversos ensayos podemos considerar que la carga circulante óptima oscila entre 2,55 y 3 es decir 255 % 300 % .

Por la importancia que tienen muchos de los indicadores aquí obtenidos como son efectividad de la trituración y la molienda, potencia útil consumida en ambas operaciones carga circulante óptima y otros, recomendamos sean tomados en consideración para la proyección de la futura planta de preparación mecánica que procese estos minerales, pues orientativamente se puede saber como se comportan estos parámetros en la instalación.

REFERENCIAS

1. AKKERMAN, U. E. y OTROS: Manual de beneficio de los minerales. Tomo I. Moscú, Editorial Nedra, 1982.
2. ANDREIEV, S. E. y OTROS: Trituración, desmenuzamiento y cribado. Moscú, Editorial Mir, 1980.
3. BOGDANOV, O. S. y OTROS: Manual de beneficio de los minerales. Tomo I. Moscú, Editorial Nedra, 1974.
4. EVANS, C. E. y JOSE FALCON H.: "Trituración y molienda de los minerales de hierro de Mina Chiquita", en Revista Minería y Geología No. 1985.
5. IZQUIERDO I., R. y A. GUTIERREZ: "Estudio de los parámetros básicos de la molienda a escala semi-industrial de hierro de Santiago de Cuba".

CDU: 66 - 971: 66. 06

CONSIDERACIONES SOBRE LA TERMODINAMICA DEL PROCESO DE LIXIVIACION CARBONATO-AMONIAICAL. PRIMERA PARTE

Ing. Antonio Chang C., y Armín Mariño P., Instituto Superior Minero Metalúrgico.

RESUMEN

En la primera parte del presente trabajo se calculan los potenciales standards de 47 reacciones redox de los complejos amoniacales a partir de diferentes metales y sus iones en solución por dos métodos diferentes, con la obtención de los parámetros termodinámicos relacionados con este cálculo.

Se preevalúa la prioridad termodinámica de oxidación de los metales e iones con el oxígeno disuelto en la solución, y el papel que desempeñan los iones complejos en el proceso de lixiviación. En el mismo se establecen las bases para un análisis más completo del proceso incluyendo el mecanismo de las reacciones que se tratará en la segunda parte.

ABSTRACT

In the first part of this work, the standard potentials of 47 redox reactions of ammonia complexes from different metals, and their ions in solution, are computed by two different methods; obtaining as a result the thermodynamic parameters related to this computation.

The thermodynamic priority of oxidation of metals and with the oxygen present in the solution, as well as, the role played by complex ions in the leaching process are both pre-evaluated.

This work, also paves the way for a more comprehensive analysis of the process, including the mechanism of reactions, which will be dealt with in the second part of this work. (the second part is likely to appear in another issue of this magazine).