

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 delezabilidad, los cuales influyen en el contenido de sólidos en la pulpa cruda para lixiviar.

REVISTA MINERIA Y GEOLOGIA, 3-84

135

ИССЛЕДОВАНИЕ СЫРОЙ ПУЛПЫ ЛАТЕРИТОВЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
МОА: ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Резюме

Проведено гранулометрическое исследование латеритовой сырой пульпы, используя ситовую технику. Оценена флуктуация содержания гранулометрических фракций и наличие групп разных размеров с различными степенями хрупкости, влияющими на содержание твердого вещества в сырой пульпе, предназначенной для выщелачивания.

STUDY OF THE RAW PULP OF LATERITIC MINERAL  
FROM THE MOA DEPOSIT (I): GRANULOMETRIC ANALYSIS

ABSTRACT

A granulometric study of lateritic mineral pulp was made using sifting and levigation techniques, appraising the fluctuation of the granulometric fraction content, considering the existence of grumes of different sizes and different slaking degrees, which exert influence on the solid content in the final pulp to lixivate.

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

Candidato a Doctor Rafael Quintana Puchol

Lic. Rómulo González, Universidad Central  
de las Villas

INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo es contribuir en cierta medida a elevar el conocimiento que existe sobre el comportamiento del proceso sedimentacional de la pulpa cruda del mineral laterítico en los espesadores de la empresa "Comandante Pedro Sotto Alba" de Moa.

Varios autores han estudiado diferentes propiedades de la pulpa cruda que influyen en cierta medida sobre el proceso sedimentacional en los espesadores [4, 5, 7, 11]. Sin embargo, no se encuentran en la literatura datos sobre el análisis granulométrico referente a la fracción menor que  $41 \mu$  y tampoco existen muchos criterios sobre las causas de que no se alcance el por ciento de sólidos proyectados que se envían a los lixiviadores.

MATERIALES Y METODOS

Las tomas de pulpa cruda corresponden fundamentalmente a muestras representativas del mineral laterítico de las zonas Atlanta y Yamanigüey.

El análisis granulométrico de la pulpa cruda (20 mesh = 0,84 mm) se efectuó mediante las técnicas de tamización y sedimentación. Utilizando un tamiz de 400 mesh, se separó por vía húmeda la pulpa cruda en dos fracciones principales: una fracción  $< 37 \mu$  destinada al análisis granulométrico por levigación y otra  $> 37 \mu$  dedicada al proceso de tamización.

Para realizar adecuadamente el análisis granulométrico por levigación se empleó una concentración de sólido que osciló entre 0,4 y 0,7 %, de acuerdo con los criterios de Di Gleria e Iraniy. El medio de dispersión empleado fue agua destilada sin dispersante alguno. Las características de los recipientes que se emplearon para el análisis granulométrico por levigación se exponen en la Figura 1.

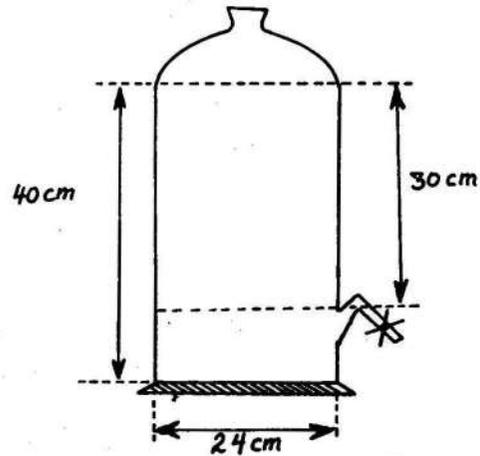


Fig. 1. Recipiente empleado para la extracción de diferentes fracciones granulométricas  $< 37 \mu\text{m}$  por el método de levigación.

El cálculo de los tiempos empleados para el análisis por levigación se efectuó según la ecuación (1).

$$\frac{h}{t} = \frac{2 \cdot g \cdot (d_s - d_l) \cdot D_{eq}^2}{3 \cdot \eta} \quad (1)$$

donde:

h: trayecto de las partículas al sedimentar (cm)

t: tiempo de sedimentación (s)

$d_s$ : densidad de las partículas en caída libre ( $3,75 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )

$d_l$ : densidad del medio dispersante ( $0,997 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )

$\eta$ : viscosidad del líquido ( $0,084 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )

$D_{eq}$ : diámetro equivalente de las partículas (cm).

Sustituyendo los valores de cada uno de los parámetros en ecuación (1) y transformándola, donde:  $D_{eq}$  se expresa en  $\mu\text{m}$  y t en min, queda de la siguiente forma:

$$t = 77,9 \cdot \frac{h}{D_{eq}^2} \quad (2)$$

En la Tabla 1 se exponen los tiempos calculados que se emplearon para la extracción de las fracciones granulométricas correspondientes.

TABLA 1. Tiempos de sedimentación empleados para la extracción de fracciones granulométricas por levigación

$D_{eq}$ ( $\mu\text{m}$ )	10 cm	15 cm
$< 1$	12 h 59 min 5 s	19 h 28 min 30 s
$< 5$	31 min 10 s	46 min 44 s
$< 10$	7 min 47 s	11 min 41 s

## RESULTADOS Y DISCUSION

El contenido másico porcentual (m-%) de la fracción  $< 37 \mu\text{m}$  de la pulpa cruda oscila entre 80-90 %. Los valores más frecuentes para esta fracción se encuentran en el rango de 82-87 %, los cuales concuerdan aceptablemente con los datos reportados por la literatura (Tabla 2).

TABLA 2. Datos reportados por la literatura sobre el contenido de la fracción  $< 40 \mu\text{m}$ .

Autor	(año)	Contenido de la fracción $> 40 \mu\text{m}$
Grave de Peralta	(1975)	78,4 %
Sobol	(1978)	84-86 %
Falcón	(1981)	85 %
Falcón	(1983)	82 %
Quintana	(1983)	82-87 %

Utilizando los parámetros expuestos en la Tabla 1 para el análisis sedimentacional se obtuvo una amplia gama de valores para cada fracción granulométrica. En la Tabla 3 se exponen los resultados más frecuentes de cada método de separación empleado.

TABLA 3. Valores más frecuentes del análisis granulométrico obtenidos por las técnicas de tamización y levigación.

$D_{eq}$ ( $\mu\text{m}$ )	Contenido (m-%)	Promedio (m-%)	(m-%)	$\Phi = -\log_2 D_{eq}$
590	0,1-1,5	0,80	0,80	- 0,097
105-590	2,0-4,5	2,30	3,10	+ 1,63
53-105	0,5-4,5	2,50	5,60	+ 2,48
37-53	3,3-7,5	5,40	11,00	+ 3,46
10-37	19-28	23,50	34,50	+ 5,11
5-10	5-11	8,00	42,50	+ 5,41
1-5	13-19	16,00	58,50	+ 5,87
$< 1$	37-48	41,50	100,00	+ 6,64

Una de las causas que influyen en gran medida en la estabilidad de las suspensiones y la velocidad de sedimentación es el complejo de interacciones electrostáticas entre

partícula-partícula, líquido-partícula, partícula-líquido-partícula y también entre estas y los cationes solvatados, entre ellos,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$  los cuales pueden actuar como pares de efectos contrarios simultáneos (coagulación-suspensión, ácido-base, y oxidación-reducción). Entre otras causas hay que señalar influencias importantes tales como la composición mineralógica de las fracciones, fundamentalmente las dispersas ( $< 37 \mu\text{m}$ ), que pueden provocar que partículas con la misma velocidad de sedimentación la alcancen en diferentes tiempos y además alteran otras propiedades reológicas de la suspensión y de la pulpa sedimentada.

La fracción granulométrica más abundante corresponde a las partículas, cuyo diámetro equivalente es de  $< 1 \mu\text{m}$  y representa del 37 al 48 % de la masa total de la pulpa cruda (Tabla 3). El rango relativamente amplio de 11 %, en el cual oscila el contenido de la fracción  $< 1 \mu\text{m}$  está fuertemente influido, no sólo por las causas mencionadas, sino también por el grado de destrucción de los grumos ( $D_{eq} \approx 10-53 \mu\text{m}$ ) presentes en la pulpa y en grado considerable por las características del lugar donde fue tomada la muestra en el yacimiento y por la intensidad y escrupulosidad con que se ha efectuado el "lavado" de la fracción gruesa.

Una peculiaridad frecuente de la fracción  $< 37 \mu\text{m}$  es el contenido relativamente pequeño de la fracción 5-10  $\mu\text{m}$ , que a menudo es inferior al 3 %, pero su promedio oscila entre 5-11 %, llegando raras veces hasta un 13 %.

A pesar de que la fracción 10-37  $\mu\text{m}$  abarca un rango de tamaño de partícula relativamente estrecho es, en casi todos los casos, la segunda más abundante y cuyo contenido más frecuente oscila entre un 19-28 %, alcanzando en ocasiones valores entre 15 y 20 %. Es de destacar que al

observar esta fracción bajo el microscopio se detectaron aún abundantes grumos, los cuales, en general, provocan que el grado de polidispersidad de la fracción  $< 37 \mu\text{m}$  se incremente aparentemente; para disminuir este fenómeno, que en cierta medida, altera los datos de la distribución granulométrica, se debe agitar de forma continua la muestra de la pulpa cruda por lo menos 24 horas.

La fracción granulométrica  $> 37 \mu\text{m}$ , que representa la fracción gruesa, constituye la parte menos abundante; sin embargo, es muy susceptible a variaciones grandes en su contenido, el cual oscila entre un 10 y un 20 %, siendo la fracción  $37-53 \mu\text{m}$  la que mayor contribución brinda a estas fluctuaciones. Este resultado depende en alta medida de la agitación y de la intensidad del lavado, debido a la adherencia de partículas pequeñas ( $< 1 \mu\text{m}$ ) a granos de mayor tamaño y a la existencia de grumos formados por partículas  $< 1 \mu\text{m}$ .

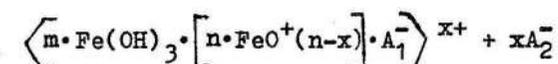
De las observaciones de las diferentes fracciones granulométricas efectuadas bajo el microscopio, se apreció que el contenido total de grumos de diferentes tamaños alcanza valores discretos entre 15-25 % y además estos grumos presentan tamaños cuyo diámetro equivalente es de  $5-53 \mu\text{m}$ . La facilidad con que estos grumos se deleznan es diferente, incrementándose en la medida que aumenta el tamaño del grumo.

Empleando los criterios de [8], se calculó el espaciado poroso entre los grumos, o sea, el volumen dejado entre ellos en la pulpa, el cual es variable y puede alcanzar valores de 25-65 % del volumen total. La retención del agua percolada entre los grumos depende también del dominio de los microporos sobre los macroporos, dificultando de esta forma el movimiento de cierta cantidad de agua

desde las zonas más profundas de los espesadores hacia las superiores. La densidad de las fracciones dispersas está en relación inversa con el contenido y tamaño de los grumos, disminuyendo su valor desde 3,80 hasta 3,40  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . La densidad disminuye también en la medida que aumenta el contenido de hidrogoethita en la fracción estudiada.

La formación en condiciones naturales de estos grumos se produce mediante la coagulación de soluciones coloidales acarreadas por las aguas superficiales.

El núcleo de formación de estos grumos parte de una "partícula compleja coloidal" o "micela laterítica" cargada positivamente, cuya fórmula aproximada se propone como:



Una parte de estas "micelas" se va coagulando, en primer término por la interacción con los silicatos amorfos o semiamorfos fundamentalmente en estado coloidal y simultáneamente con otros oxihidróxidos de Al, Mn, Ni y otros; y la otra parte forma los cristales de óxidos de hierro hidratados con distintos grados de ordenamiento reticular.

En sus estudios, [1] observó que el óxido de hierro (III) hidratado coloidal electropositivo en contacto con una suspensión de arcilla da lugar a una mutua floculación por anulación de cargas y que este proceso es totalmente irreversible, siendo la relación óxido hidratado de hierro y la arcilla del tamaño de los grumos formados de hidróxido de hierro hidratado. Se considera que la fortaleza de la

cementación de estos grumos se incrementa principalmente a causa de sustituciones isomórficas en la goethita e hidrogóethita de  $Fe^{3+}$  por  $Al^{3+}$  y en segundo lugar de  $Fe^{3+}$  por  $Mn^{2+}$  o por otros cationes como  $Ni^{2+}$ ,  $Co^{2+}$  y  $Cr^{3+}$ . También el contenido de agua de la hidrogóethita, así como su contenido en el mineral laterítico está relacionado con estas sustituciones isomórficas.

Es conocido que estos grumos presentan en su masa poros de escaso diámetro, lo cual facilita la retención del agua por capilaridad y al depositarse dejan entre ellos espacios de mayor tamaño entre los cuales se retiene agua adicional debido también a cargas electrostáticas residuales del tipo Van der Waal.

Existen ejemplos de arcillas y de otros minerales criptogranulares que no manifiestan tan pronunciadamente estas propiedades y presentan dicha interfase muy reducida, por lo que se apelmazan fuertemente, lo cual dificulta la retención de agua en el sedimento.

Es notable señalar que en el informe rendido por [10] se observa (en la Tabla 7) un aumento considerable de  $SiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $MnO$ ,  $CoO$  y  $NiO$  en la fracción 10-50  $\mu m$ , justamente en la fracción granulométrica donde se ha observado la mayor cantidad de grumos.

#### CONCLUSIONES

El contenido másico de la fracción dispersa (< 37  $\mu m$ ) en la pulpa laterítica cruda es por lo regular de 82-87 %, en la cual la fracción < 1  $\mu m$  alcanza valores entre 37 y 48 %. El contenido total de grumos de diferentes tamaños (5-53  $\mu m$ ) alcanza valores de 15 hasta 25 % de la masa de la pulpa cruda, incrementándose aparentemente el grado de polidispersidad de la fracción dispersa.

El espaciado poroso entre los grumos de las fracciones granulométricas de la parte dispersa es variable y puede alcanzar valores entre 25-65 % del volumen total, por lo cual la densidad de las fracciones dispersas está en relación inversa con el contenido y tamaño de los grumos en las mismas, disminuyendo su valor desde 3,80 hasta 3,40  $g \cdot cm^{-3}$ . También el contenido mineralógico por fracción granulométrica influye en la densidad, estando en correspondencia aproximada con lo expuesto anteriormente.

La coagulación de la micela laterítica compleja se debe, entre otros factores, a la interacción de ella con silicatos coloidales amorfos y con oxihidróxidos de  $Al$ ,  $Mn$ ,  $Ni$  y otros, incrementándose el contenido de agua por sustituciones isomórficas en la goethita de  $Fe^{3+}$  por otros cationes trivalentes y divalentes.

La magnitud del espaciado poroso entre los grumos y su relación entre los macroporos y los microporos influye en la retención del agua percolada entre los grumos, lo que dificulta el movimiento del agua desde las zonas de compresión de los espesadores hacia las superiores.

#### REFERENCIAS

1. BABIER, G.: "Fixation de L'hydrate ferrique par lagelie des sols." Ann. Agron. no. 1, pp. 34-43, 1938.
2. DI GLERIA, J., A. KLIMES-SZMIK y M. DVORACSEK: Bodenphysik und Bodenkolloid. VEB Gustav Fischer Verlag; Jena, 795 pp., 1962.
3. FALCON HERNANDEZ, J.: Comunicación oral. I Encuentro Científico-Técnico del Niquel, Moa, enero 1981.
4. FALCON HERNANDEZ, J.: "Consideraciones sobre la sedimentación de la pulpa limonítica en la planta "Comandante Pedro Sotto Alba". Minería y Geología no. 2, 173-188 pp., 1983.

5. GRAVE DE PERALTA, M.: "Sedimentación de la pulpa cruda del mineral laterítico del yacimiento de Moa". La Minería en Cuba, vol. 1, no. 2, pp. 36-49, 1975.
6. IRANI, R. R. y C. F. CALLIS: Particle Size: Measurement, Interpretation and Application. John Wiley and Sons, New York, London, 165 pp., 1963.
7. KONDUKOV, J.: "Informe sobre la sedimentación". Biblioteca de la empresa "Comandante Pedro Sotto Alba", Moa-Holguín, 1970.
8. MELA MELA, P.: Tratado de edafología y sus distintas aplicaciones, 2da. ed., Instituto del Libro, La Habana, 615 pp., 1970.
9. QUINTANA PUCHOL, R.: "Algunas consideraciones sobre la distribución granulométrica de la pulpa limonítica cruda en los espesadores de la empresa "Comandante Pedro Sotto Alba", Moa, Exposición en el Segundo Encuentro Científico-Técnico del Níquel: ISNE Moa, 1983.
10. SCHIRIKOVA, I. Y.: "Informe geológico". Empresa "Comandante Pedro Sotto Alba". Moa-Holguín, 1966.
11. SOBOL, S. I.: "Propiedades reológicas de las pulpas del mineral laterítico". La Minería en Cuba, vol. 4, no. 2, pp. 34-44, 1978.

CDU: 546.732:543.2 (729.1)

## ESTUDIO SOBRE DETERMINACION POLAROGRAFICA DE COBALTO DIVALENTE

### RESUMEN

En este trabajo se realiza un estudio sobre el comportamiento polarográfico de cobalto divalente, utilizando O-fenilendiamina como agente complejante.

Se selecciona el nitrato de potasio 0,1 M, entre los diferentes electrolitos soportes investigados, como el más adecuado para el desarrollo de la onda del complejo estudiado.

Se reportan, a partir del registro polarográfico de este sistema, dos ondas, una anódica a -0,13 V vs. E.C.S y otra catódica a - 1,08 V vs. E.C.S.; esta última fue seleccionada para las determinaciones cuantitativas.

Se estudia la influencia del pH sobre la estabilidad del complejo y se determina también la dependencia lineal entre la corriente de difusión en un intervalo adecuado.