

# LA EFICIENCIA EN LA PREPARACION HUMEDA DE LA LATERITA

## THE EFFICIENCY IN THE WASHING PREPARATION OF LATERITES

**ALBERTO HERNANDEZ FLORES**

**JOSE FALCON HERNANDEZ**

**MARIA M. TOIRAC SUAREZ**

E-mail: ahflores@ismm.edu.cu

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

Universidad de Oriente

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

**RESUMEN:** Se estudia la influencia de los factores tiempo de molienda, tamaño de trituración y tiempo de lavado en la eficiencia del proceso de preparación de la mena laterítica en la empresa mixta Moa Nickel S.A.-Pedro Soto Alba. Se realiza un diseño de experimentos (a escala de laboratorio) por el método clásico de Saydel-Gauss. Se emplea el criterio *t* de Student para la comparación de las réplicas de los experimentos. Se efectúan pruebas a escala de banco para corroborar los resultados obtenidos en el laboratorio. Como resultado se demuestra que la trituración previa de la mena antes del proceso de lavado permite aumentar la eficiencia a más del 90 % sin necesidad de modificar las condiciones actuales del lavado.

Palabras clave: molienda, trituración, lavado, mena laterítica.

**ABSTRACT:** Determined is the influence of factors like: time of mill, triturating size and time of laundry in the efficiency of the mineral preparation process in the Moa Nickel S.A.- Pedro Soto Alba nickel enterprise. A design of experiments (to laboratory scale) was carried out for the classic method of Saydel-Gaus. In all experiments corresponding replicas were made for the comparison by the approach *t* of Student. To corroborate the results obtained in the laboratory, tests were made to bank scale. As a result is demonstrated that the previous reduction of the ore before the laundry process increases the efficiency above 90 % without modify the current conditions of the laundry.

Key words: mill, grind, laundry of mineral, lateritic ore.

### INTRODUCCIÓN

La preparación de la mena laterítica para el proceso extractivo por vía húmeda en la empresa mixta Moa Nickel S.A.-Pedro Soto Alba, hasta el presente se ha efectuado mediante el lavado y cribado. Al separar las partículas gruesas (mayores de 0,833 mm), el contenido de minerales de magnesio y otros de alta solubilidad en el ácido sulfúrico disminuye, al tiempo que se incrementa el de níquel en la pulpa (Falcón y otros, 1991; Falcón y Hernández, 1993; Chaukley, 1995). Desde los inicios de la explotación de la planta, la eficiencia en la preparación de mineral ha oscilado entre 80 y 86 %, y la pérdidas por rechazo son alrededor de 20 %. Por esta razón se vierten anualmente más de 400 000 toneladas al medio como producto de rechazo y de estas alrededor de 280 000 toneladas están compuestas de partículas menores de 0,833 mm, las cuales constituyen un componente valioso para el proceso extractivo; esto conlleva una explotación minera más intensiva para compensar las pérdidas por

rechazo, lo que origina un notable impacto sobre el medio ambiente y un uso poco racional del recurso.

Estudios realizados con anterioridad por Rojas-Purón y Carballo-Peña (1993), demuestran que en el producto de rechazo ocurren pérdidas de componentes valiosos y que más de 50 % de este producto constituye una mena útil para el proceso extractivo ácido a presión. Por otra parte, Hernández y Falcón (1993) se refieren a la relación que existe entre el diámetro de las partículas, la densidad y otras propiedades físicas y la concentración de los minerales contenidos en las menas lateríticas; sin embargo, resulta poco estudiado el efecto que provoca la reducción del tamaño en el grado de liberación de los componentes de la mena, lo cual tiene gran importancia en el beneficio mineral (Taylor, 1995).

El objetivo de este trabajo es determinar la influencia que ejercen factores como el tiempo de molienda, el tamaño de trituración y el tiempo de lavado, en la eficiencia del proceso de preparación de la mena en la empresa mixta Moa Nickel S.A.-Pedro Soto Alba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de las pruebas, tanto a escala de laboratorio como de banco, se tomaron muestras de la mena en los transportadores de banda que alimentan la planta de preparación de mineral de la Moa-Nickel S.A.-Pedro Soto Alba; el muestreo se efectuó de forma manual cada una hora y se obtuvieron compósitos en cada jornada de labor de la fábrica. En total se tomaron 24 muestras con la siguiente composición química (en %): Ni (1,35); Co (0,145); Fe (44,2); Mg (0,57) y Al (4,38).

En las investigaciones a escala de laboratorio se utilizó el triturador de mandíbula con superficie de las mandíbulas ranuradas, suspensión superior y movimiento simple, diámetro en la descarga de 6 mm y, según fue requerido, se usó un molino de bolas con capacidad de 1 000 gramos, un agitador de tabiques verticales, tamices y criba plana semindustrial con área de 0,5 m<sup>2</sup>. En la molienda la razón líquido sólido (L:S) fue 1:1 y la carga de bolas como sigue: 50 % de bolas de 50 mm, 30 % de bolas de 30 mm y 20 % de bolas de 20 mm. En el lavado, la relación L:S según el proceso industrial fue de 3:1, manteniendo constante la frecuencia de rotación del eje del agitador.

Los experimentos se realizaron por el método factorial completo para tres variables independientes según la matriz que aparece en la tabla 1.

Los coeficientes de regresión se calcularon según las ecuaciones:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^n y_u}{N} ; \tag{1}$$

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^n a_{iu} y_u}{\sum_{u=1}^n a^2_{iu}} ; \tag{2}$$

TABLA 1. MATRIZ EXPERIMENTAL				
No. de ensayos	Variables			Parámetro de control
	1	-1	-1	
2	-1	-1	-1	Y <sub>2</sub>
3	-1	+1	+1	Y <sub>3</sub>
4	+1	+1	+1	Y <sub>4</sub>
5	+1	+1	+1	Y <sub>5</sub>
6	+1	-1	-1	Y <sub>6</sub>
7	+1	-1	-1	Y <sub>7</sub>
8	-1	+1	+1	Y <sub>8</sub>

La interacción de primer orden:

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^n a_{iu} a_{ju} y_u}{\sum_{u=1}^n a^2_{iju}} ; \tag{3}$$

La varianza de los coeficientes de regresión:

$$s^2_b = \frac{s^2_y}{N} ; \tag{4}$$

donde:

s<sup>2</sup><sub>y</sub> : es la varianza de reproducibilidad del experimento.

En todos los experimentos independientes se hicieron las réplicas correspondientes para la comparación (por el criterio t de Student) de las fases conjugadas (Guerra Bustillo, 1989)

Para determinar la influencia de los factores predeterminados, se empleó el método clásico de Saydel-Gauss, posteriormente fue utilizado el experimento con réplicas fraccionarias o sin ellas. En todos los casos los ensayos de las matrices se hicieron por triplicado y se verificó la dispersión en el parámetro elegido para el control. El esquema usado para los ensayos a escala de laboratorio se muestra en la figura 1. Los niveles establecidos para las tres variables estudiadas por la matriz de experimento (Hernández y Falcón, 1993), fueron los siguientes:

Variable	Nivel máximo	Nivel mínimo
Tamaño de la descarga del triturador (mm), X <sub>1</sub>	12	4
Tiempo de molienda (s), X <sub>2</sub>	900	0
Tiempo de lavado (s), X <sub>3</sub>	360	120

Como parámetros de control o función respuesta se fijaron:

(γ<sup>-0,833+0</sup>) - Salida de la clase - 0,833 + 0 mm.

(γ<sup>-0,074+0</sup>) - Salida de la clase - 0,074 + 0 mm.

(β<sup>-0,074+0</sup><sub>Ni</sub>) - Contenido de níquel en la clase -0,074 + 0 mm.

(β<sup>-0,074+0</sup><sub>Mg</sub>) - Contenido de magnesio en la clase - 0,074 + 0 mm.

(β<sup>-0,149+0,074</sup><sub>Ni</sub>) - Contenido de níquel en la clase - 0,149 + 0,074 mm.

(β<sup>-0,149+0,074</sup><sub>Mg</sub>) - Contenido de magnesio en la clase - 0,149 + 0,074 mm.

Las pruebas a escala de banco se desarrollaron en la instalación ubicada en la planta de beneficio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (Fig. 2). Se incluye-

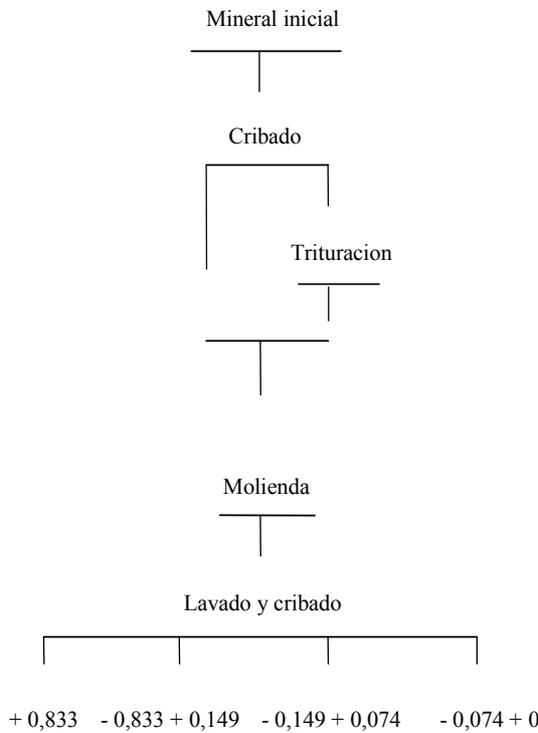


Fig. 1 Esquema de trabajo para el estudio de preparacion del mineral.

ron las operaciones de cribado de forma manual de los trozos mayores de 100 mm; trituración en un triturador de mandíbula semindustrial con distancia entre mandíbulas en la descarga de 6 mm, suspensión superior de las mandíbulas y movimiento simple; lavado en lavadora de paletas con eje de 1 100 mm de longitud, con paletas rectangulares (50 x 40 mm) fijadas al eje, que forman un ángulo de 22° (66 % de las paletas están dispuestas para agitar y transportar la pulpa, y el resto para agitar y retener la pulpa dentro del equipo); el tiempo de lavado y la relación líquido sólido se tomaron según la práctica industrial; se empleó además una criba plana con un área de trabajo de 0,45 m² y orificios rectangulares de 0,833 mm de diámetro.

Los análisis químicos se efectuaron por espectroscopia de absorción atómica (espectrofotómetro CDN-18) en los laboratorios de la empresa Moa Níquel S.A.-Pedro Soto Alba y en el Centro de Investigación de las Lateritas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados a escala de laboratorio

Las ecuaciones de regresión obtenidas para cada uno de los parámetros de control son las siguientes:

$$\gamma^{-0,833+0} = 90,60 - 2,68X_1 + 9,41X_2 - 0,54X_3 + 0,08X_1X_2X_3 \tag{5}$$

$$\gamma^{-0,074+0} = 82,39 - 3,75X_1 + 12,32X_2 - 0,21X_3 - 0,24X_1X_2X_3 \tag{6}$$

$$\beta_{Ni}^{-0,074+0} = 1,39 - 0,003X_1 - 0,045X_2 + 0,013X_3 - 0,015X_1X_2X_3 \tag{7}$$

$$\beta_{Mg}^{-0,074+0} = 0,51 + 0,014X_1 + 0,091X_2 + 0,006X_3 - 0,007X_1X_2X_3 \tag{8}$$

$$\beta_{Ni}^{-0,149+0,074} = 1,22 + 0,004X_1 - 0,019X_2 + 0,016X_3 - 0,014X_1X_2X_3 \tag{9}$$

$$\beta_{Mgi}^{-0,149+0,074} = 0,48 - 0,015X_1 + 0,03X_2 + 0,015X_3 - 0,005X_1X_2X_3 \tag{10}$$

En la tabla 2 se exponen los resultados del análisis de regresión para determinar la adecuación del modelo y en la tabla 3 aparece el valor medio de las pruebas.

El análisis de regresión indica que la salida del producto -0,833 + 0 mm cuando se utilizan operaciones de trituración y molienda, no depende del tiempo de lavado y requiere de un menor tamaño de trituración y de mayor tiempo de molienda. Los contenidos de níquel para el nivel básico disminuyen respecto al alimentado en la fracciones -0,149 + 0 mm y -0,074 + 0 mm cuando se incrementa el tiempo de molienda; las variables tiempo de lavado y tamaño de trituración resultan menos definidas.

En los niveles básicos de las variables existe una tendencia al incremento del magnesio hacia las clases más gruesas. En el caso particular de la clase -0,149 + 0,074 mm, el aumento del tiempo de molienda del mineral puede disminuir el contenido de magnesio de la misma al pasar este elemento a granulometrías más finas, de aquí el valor negativo del coeficiente, lo que indica que si se disminuye el valor de esta variable, se incrementará el contenido de magnesio en la clase.

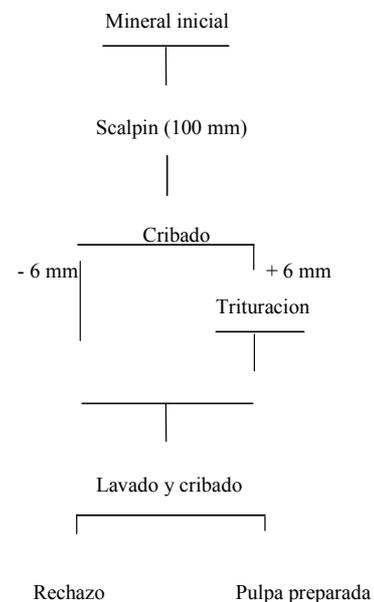


Fig. 2. Esquema de trabajo para el estudio de preparacion de mineral a escala de banco.

TABLA 2. RESUMEN DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Clase de tamaño (mm)	Coeficientes de la regresión					$S_y^2$	$t \cdot S_b$	$F_{cal}$	$F_{tab}$	Parámetro de control
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{123}$					
- 0,833 + 0	90,60	-2,68	9,41	-0,54	0,08	5,03	1,50	2,47	3,84	$\gamma$
-0,074 + 0	82,39	-3,75	12,32	-0,21	-0,24	7,23	1,80	3,42	3,84	$\gamma$
-0,074 + 0	1,39	-0,003	-0,045	0,013	-0,015	0,0026	0,023	0,31	3,84	$\beta_{Ni}$
-0,074 + 0	0,51	0,014	0,091	0,006	-0,007	0,0028	0,035	1,82	3,84	$\beta_{Mg}$
- 0,149 + 0,074	1,22	0,004	-0,019	-0,016	-0,014	0,0018	0,03	0,52	3,84	$\beta_{Ni}$
- 0,149 + 0,074	0,48	-0,015	0,03	0,015	0,005	0,001	0,020	0,85	3,84	$\beta_{Mg}$

Las ecuaciones de regresión que resultan del estudio de la preparación mecánica del mineral, generalizan la tendencia de los componentes a concentrarse en determinadas granulometrías. El mayor contenido de níquel se obtiene en la clase -0,074 + 0 mm; por el contrario, el magnesio se enriquece hacia la clase -0,149 + 0 mm; esto apunta también hacia una adecuada liberación de componentes.

El modelo que describe el campo experimental en la preparación de pulpa (salida de la clase -0,833 + 0 mm), expresa que al incluir operaciones de reducción de tamaño, el proceso de lavado puede mejorar sin modificar sus parámetros principales. Al romper los vínculos mecánicos creados por las arcillas entre las partículas que componen la mena, resulta más efectiva la acción lavadora del agua. El incremento del tiempo de molienda afecta el contenido de níquel y aumenta el de magnesio. Conociendo lo perjudicial que resulta el magnesio en la lixiviación y, además, que sólo se requiere romper los vínculos entre partículas y no la estructura cristalina de la roca, puede obviarse el proceso de molienda, y obte-

ner índices tecnológicos adecuados disminuyendo el tamaño de trituración.

La función de aproximación para la preparación de la mena se puede expresar de la siguiente manera:

$$Y = b_0 - b_1 X_1 \quad (11)$$

Al descartar la molienda atendiendo al análisis de regresión efectuado y a la no significación de las variables de entrada en el proceso de lavado, cuando se incluyen operaciones previas de trituración en el proceso de preparación de la mena laterítica y según los resultados de la tabla 3, se puede establecer la ecuación del modelo estadístico:

$$Y = 81,68 - 4,86 X_1 \quad (12)$$

Si (-1) equivale al valor mínimo de la variable  $X_1$  (4 mm) y (1) a su valor máximo (12 mm), entonces el diámetro del producto triturado

$$l = aX_1 + b, y$$

$$(4 = -a + b) + (12 = a + b) = (16 = 2b),$$

TABLA 3. VALOR MEDIO DE LAS PRUEBAS

No.	Variables			Salida de las clases, %				-0,83 +0,149		-0,149 + 0,074		-0,074 + 0	
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	-0,83 + 0	-0,83 + 0,149	-0,149 + 0,74	-0,074 + 0	Ni	Mg	Ni	Mg	Ni	Mg
1	+	+	+	100	0,57	3,52	94,90	1,10	0,61	1,18	0,55	1,33	0,59
2	-	+	+	100	0,88	3,09	95,02	1,11	0,55	1,22	0,54	1,36	0,55
3	-	-	+	85,32	5,55	2,99	76,77	1,19	0,66	1,20	0,50	1,42	0,37
4	-	-	-	87,78	3,16	4,96	78,67	1,20	0,52	1,27	0,48	1,43	0,38
5	+	-	-	76,75	11,81	4,07	62,78	1,21	0,53	1,27	0,43	1,48	0,28
6	+	+	-	100	0,54	3,79	94,82	1,13	0,48	1,23	0,49	1,33	0,58
7	-	+	-	100	0,86	2,98	96,15	1,18	0,60	1,19	0,48	1,34	0,55
8	+	-	+	74,84	9,89	4,95	62,05	1,15	0,41	1,23	0,41	1,48	0,42

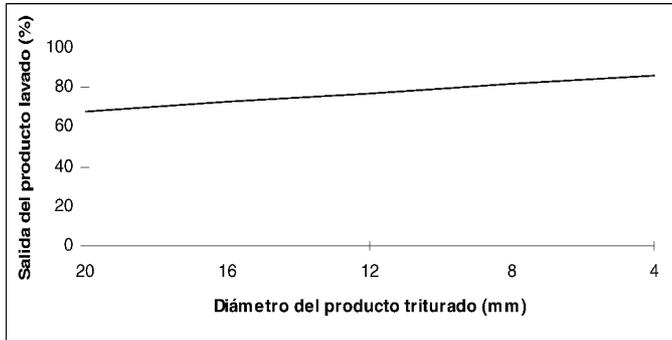


Fig. 3. Relacion entre el tamaño de trituracion y la eficiencia del lavado.

siendo  $a = 4$  ,  $b = 8$  y  $X_1 = \frac{l - 8}{4}$

por tanto:

$$Y = 91,04 - 1,17 l \quad (13)$$

La ecuación (13) establece la relación del diámetro de las partículas con la efectividad del proceso de preparación de la mena laterítica. Se puede apreciar la dependencia de la salida del producto lavado con respecto al diámetro de trituración lo que pone de manifiesto la importancia de incluir esta operación previo al proceso de lavado (Fig. 3).

Resultados a escala de banco

El análisis granulométrico de la mena alimentada y del producto de rechazo se exponen en la tabla 4.

El porcentaje de rechazo se calculó por la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\beta_A^{+0,833}}{\beta_R^{+0,833}} \cdot 100 \quad (14)$$

donde:

R : porcentaje de rechazo.

$\beta_A^{+0,833}$  : contenido de la clase + 0,833 mm en el mineral alimentado.

$\beta_R^{+0,833}$  : contenido de la clase + 0,833 mm en el producto de rechazo %.

El valor obtenido para R fue de 5,81 %.

La eficiencia del proceso se determina según la ecuación:

$$\dot{E} = 100 - R \frac{\beta_R^{-0,833}}{\beta_A^{-0,833}} \quad (15)$$

$E = 98,60$  %.

Los resultados obtenidos corroboran en la práctica (a escala de banco) la veracidad de las ecuaciones de regresión. Cuando se utilizan operaciones de reducción de tamaño, no es necesario modificar las condiciones de lavado, quedando demostrado que la trituración antes del lavado permite lograr una eficiencia en la preparación del mineral de 98,6 % y disminuir el porcentaje de rechazo a 5,81 %.

TABLA 4. COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE LOS PRODUCTOS		
Clases de tamaño, mm	Salida de los productos, %	
	Alimentado	Rechazo
+ 0,833	4,5	77,45
- 0,833 + 0,4	8,09	2,08
- 0,4 + 0,2	17,50	1,40
- 0,2 + 0	69,91	19,07

En el proceso de preparación de mineral para la tecnología extractiva ácida a presión, la sustitución del proceso de lavado por la reducción fina (molienda) para tratar la masa mineral, no indica resultados satisfactorios debido al incremento del magnesio en las fracciones pequeñas, lo que traería consecuencias negativas en los índices de consumo de ácido sulfúrico en la lixiviación; sin embargo, es posible incrementar la eficiencia en la preparación mecánica del mineral por vía húmeda a más de 90 % (en las condiciones actuales sólo se logra una eficiencia de alrededor de 80 %), sin necesidad de modificar las condiciones actuales del lavado introduciendo simplemente la trituración previa de la mena; esto facilita la operación de lavado al romper los vínculos mecánicos establecidos entre las partículas por las sustancias arcillosas, y disminuye las pérdidas de componente valioso en el producto de rechazo.

CONCLUSIÓN

1. La trituración previa de la mena antes del proceso de lavado permite incrementar la eficiencia del proceso de preparación de la mena laterítica por vía húmeda a más de 90 %, sin necesidad de modificar los parámetros tecnológicos del proceso de lavado.
2. La reducción fina (molienda) de la masa mineral es desfavorable para la tecnología ácida a presión porque incrementa el contenido de magnesio en la pulpa.

BIBLIOGRAFÍA

CHAUKLEY, M.: "Update on operations at Moa Bay pressure acid leach plant", Nickel/Cobalto Laterites Seminar, Melbourne, Australia, 1995.

FALCÓN, J. F. Y A. HERNÁNDEZ: "Preparación mecánica de los minerales lateríticos", Tecnología Química, IX (3) : 87-92, 1993.

FALCÓN, J. F.; A. HERNÁNDEZ Y G. CARTHY: "Beneficio de minerales lateríticos, utilización y perspectivas", I Evento Internacional Geomin, ISMMM, Moa, Cuba, 1991.

GUERRA BUSTILLO, C. W.: Estadística, Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 1989.

HERNÁNDEZ, A. Y J. FALCÓN H.: "Preparación y beneficio de minerales lateríticos en el proceso ácido a presión", Minería y Geología, 3 : 51-54, 1993.

ROJAS-PURÓN A. Y A. CARBALLO-PEÑA: "Valoración mineralógica-económica del material de rechazo de la planta de preparación de pulpa del yacimiento Moa", Minería y Geología, 3 : 69-73, 1991.

TAYLOR, A.: "Laterites-has the finally come", Mining Magazine, 112 (3) :12-15, 1995.