

Separación y concentración de fases minerales en la mena laterítica

Alberto Hernández Flores¹
Rafael Arturo Trujillo Codorníux²
María Magdalena Toirac Suárez²

ahflores@ecq.moa.minbas.cu
rtrujillo@ismm.edu.cu
mayera@ismm.edu.cu

Resumen

A través de la aplicación de la teoría de separación de minerales útiles se logra, desde el punto de vista teórico, un enriquecimiento de la mena laterítica para el proceso extractivo, al separar y concentrar en productos homogéneos, las principales fases minerales que la componen. Se toma como base para el análisis los resultados de los estudios geológicos realizados en yacimientos cubanos, extranjeros y en la mena de alimentación de la tecnología ácida.

Palabras clave

Beneficio mineral, fases minerales, mena laterítica, separación de minerales, yacimientos cubanos.

Separation and concentration of mineral phases in the lateritic ore

Abstract

By means of the theory of separation of useful minerals, an enrichment of the lateritic mine is achieved for the extraction process by separating and concentrating the main mineral phases in homogenous products. This is based on the results of geological studies on ore bodies in Cuba, overseas and ore feed to sour technology.

Key words

Benefit of mineral, lateritic ore, mineral phases, separation, Cuban ore deposits

INTRODUCCIÓN

La preparación de los minerales lateríticos para el proceso extractivo tradicionalmente se ha efectuado, para el proceso carbonato amoniacal, mediante el secado y la reducción de tamaño, y mediante el lavado y cribado para el proceso ácido a presión (Hernández Flores & Falcón, 1993, Chaukley, 1995, Falcón *et al.*, 1991). En el proceso carbonato amoniacal, al reducir el tamaño de las partículas se logra mayor eficiencia en las operaciones industriales de reducción y lixiviación. En el proceso ácido, al separar las fracciones gruesas (mayores de 0,833mm) disminuye el contenido de minerales de magnesio y otros de alta solubilidad en el ácido sulfúrico, al tiempo que se incrementa el contenido de níquel en la pulpa.

Actualmente, la preparación mecánica a que es sometido el mineral no garantiza la calidad de la mena de alimentación al proceso metalúrgico extractivo, al no regular la composición mineralógica, la cual resulta un factor importante para alcanzar los índices técnico-económicos adecuados en el proceso de extracción; de aquí que el objetivo de esta investigación haya sido evaluar, mediante el modelo Teoría de Separación de Minerales Útiles, sugerido por Tijonov (1990), la separación de fases mineralógicas a partir del contraste que manifiestan las propiedades físicas: diámetro y susceptibilidad magnética de las partículas.

Fases mineralógicas presentes en la mena laterítica

Se conoce que entre las principales fases mineralógicas que constituyen las menas lateríticas cubanas está la goethita, en la que se encuentra del 58 al 78 % del níquel alojado en las lateritas, según Sobol (1968). En la maghemita y la magnetita se distribuye del 15 al 25 % y en las asbolanas el níquel constituye entre el 12 y 17 %. El cobalto se distribuye de la siguiente forma: del 80 al 90 % en las asbolanas, del 10 al 20 % en la maghemita y la magnetita, y en unidades de por ciento en la goethita. Es conocido también que en los reactores del proceso ácido a presión, el níquel y el cobalto contenido en la fracción magnética prácticamente no se lixivian (Sobol, 1968), creando dificultades tecnológicas y ocasionando pérdidas en las colas del proceso.

El aluminio, se encuentra en minerales como gibbsita, goethita y espinelas fundamentalmente; en las dos últimas fases minerales, además de estar en menor concentración, no ocasiona muchas dificultades durante la extracción. Sin embargo, la gibbsita, por su pequeña densidad y forma irregular, es un elemento esencial en la formación de las llamadas mallas, que se originan en los espesadores de pulpa cruda y obstruyen el proceso de espesamiento de la pulpa (Almaguer & Cerpa, 1995). Por otra parte, el magnesio, principal consumidor de ácido durante la lixiviación, se encuentra mayormente en la serpentina, por lo que se hace necesario separar, todo cuanto sea posible, esta fase mineral antes del proceso metalúrgico.

Los estudios mineralógicos en yacimientos cubanos revelan distribuciones desiguales de las principales fases minerales en las diferentes zonas del perfil de meteorización. En la Tabla 1 se expone la composición mineralógica, por litologías, de los yacimientos Pinares de Mayarí, Moa y Nicaro (Almaguer, 1989; Onodera, 1987; Rojas-Purón, 1995).

Tabla 1. Composición mineralógica de los yacimientos Moa, Nicaro y Pinares de Mayarí (en %)

Minerales	Concreciones			Ocres			Serpentinita alterada			Serpentinita dura		
	Moa	Nic.	P.M.	Moa	Nic.	P.M.	Moa	Nic.	P.M.	Moa	Nic.	P.M.
Goethita	67	77	65	74	65	57	18	15	20	5,0	5,0	8,0
Espinelas	8,0	4,0	1,0	10	4,0	3,0	2,0	1,0	2,5	3,0	0,5	-
Magnetita	-	3,0	2,0	5,0	2,0	3,0	-	4,0	2,7	-	4,0	4,0
Minerales de Mn	3,0	0,7	2,0	3,0	1,5	2,0	-	0,4	-	-	0,1	-
Gibbsita	15	9,0	16	8,0	6,0	9,0	2,0	-	-	-	-	-
Cuarzo	2,5	1,0	-	2,5	1,0	-	2,0	1,0	-	-	2,0	-
Serpentina	-	2,0	1,6	2,5	9,0	6,5	62	63	50	85	73	75

(Moa- Yacimiento Moa, Nic.- Yacimiento Nicaro, P.M.- Yacimiento Pinares de Mayarí).

Se tiene un predominio de la goethita en las zonas ocrosas del perfil, con tendencia al incremento hacia los ocres inestructurales o superiores. Similar comportamiento exhiben otros minerales importantes como la gibbsita, espinelas y minerales de manganeso, portadores, respectivamente, de aluminio, cromo y manganeso-cobalto. Por otra parte, los minerales portadores de sílice y magnesio, entre los que se encuentran serpentinas, cloritas, nepouita y enstatita, se localizan en las zonas bajas del perfil, o sea, en los horizontes de serpentinitas alteradas y serpentinita dura (roca madre).

Al revisar estudios similares (Ammon–Chokrun, 1977; Brindley, 1975; Onodera, 1987) realizados en muestras del yacimiento Aldo, región Nakatey, en Nueva Caledonia, se observa una tendencia similar en la distribución de las fases minerales en las diferentes zonas del perfil. En el referido yacimiento los cuatro horizontes que conforman el perfil, de abajo hacia arriba son: serpentinita masiva, roca alterada, garnierita y ferralita. La garnierita, representa una estrecha franja compuesta por una mezcla de serpentinita lixiviada y ocres estructurales iniciales; la ferralita, se observa en una zona amplia que va desde los ocres estructurales finales hasta la zona de concreciones. La Tabla 2 expone la composición mineralógica reportada para el yacimiento Aldo.

Tabla 2. Mineralogía del yacimiento Aldo (en %), Nueva Caledonia

Minerales	Serpentinita masiva	Roca alterada	Garnierita	Ferralita
Minerales primarios	1,0	28	12	1,0
Serpentinas	35	28	20	1,0
Goethita	1,0	4	11	75
Talco	33	5,0	19	4,0
Silicato residual + agua	13	18	26	5,0
Óxido de níquel	6,4	1,9	2,8	1,9
Minerales de manganeso	0,3	0,5	0,5	5,0
Cromita	1,0	1,5	1,3	3,0

La Figura 1 expresa el contenido de las fases mineralógicas goethita y gibbsita en las clases de tamaño $-1,5 + 0,833$ mm; $-0,833 + 0,045$ mm y $-0,045 + 0$ mm. La muestra fue tomada en el yacimiento Pinares de Mayarí (Almaguer, 1989). Se verifica una concentración desigual de las fases minerales con respecto al diámetro de las partículas. La goethita, fase principal portadora de níquel, se concentra en las partículas de menor tamaño, mientras la gibbsita lo hace hacia los granos de mayor diámetro; se manifiesta además el predominio de la goethita en todas las fracciones granulométricas.

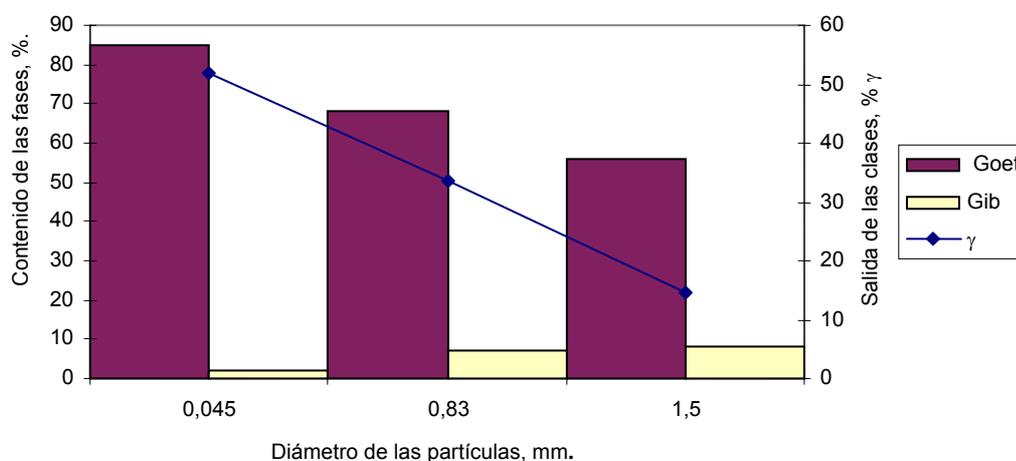


Figura 1. Contenido de las fases mineralógicas goethita y gibbsita.

En las investigaciones relacionadas con la susceptibilidad magnética de las partículas minerales (Tabla 3) se expresa el predominio de las fracciones débilmente magnéticas, tanto en los horizontes del perfil como en los distintos tipos de menas, así como muy poco contenido de fracciones amagnéticas (Ammon-Chokrun, 1977; Onodera, 1987; Almaguer, 1989; Rojas-Purón, 1995)

Tabla 3. Caracterización magnética del perfil de meteorización del yacimiento Nicaro (en %)

Litologías	Fracción magnética	Fracción débil-magnética	Tipo de mena	Fracción magnética	Fracción débil-magnética
Ocres inestructurales con perdigón	32	68	Laterita de Balance	48	52
Ocres inestructurales sin perdigón	53	46	Serpentinita de Balance	31	65
Ocres Estructurales.	40	60	Serpentinita Dura	16	83
Serpentinita Alterada	25	73	Serpentinita Blanda	23	76
Serpentinita Dura	16	83	Serpentina Fuera de Balance	38	62

Investigaciones similares, realizadas con mineral del yacimiento Moa, ofrecen resultados de 26 % de fracciones magnéticas y 74 % débilmente magnéticas (Rojas-Purón, 1995). En la Tabla 4 se

observan contrastes significativos en cuanto al contenido de las fases mineralógicas, diámetro de las partículas en las que estas se concentran y susceptibilidad magnética. Los datos que se exponen son el resultado de estudios previos realizados en los yacimientos Moa y Pinares de Mayarí y de la bibliografía consultada (Ammon-Chokrun, 1977; Almaguer, 1989; Brindley, 1975; Onodera, 1987; Rojas-Purón, 1995).

Tabla 4. Comportamiento de las propiedades de separación en las distintas fases minerales

Fases Minerales	Contenido en la mena (%)	Propiedades físicas.	
		Diámetro de las partículas, (mm)	Susceptibilidad Magnética (χ)
Goethita	74	- 0,045	$25 \cdot 10^{-8}$
Magnetita	2,0	- 0,5 + 0,045	$4,5 \cdot 10^{-4}$
Espinelas	4,0	- 0,833 + 0,045	$90 \cdot 10^{-8}$
Gibbsita	7,0	+ 0,833	$-2 \cdot 10^{-8}$
Serpentina	3,0	+ 0,833	$20 \cdot 10^{-8}$

Si el beneficio de minerales se fundamenta en la diferencia de las propiedades físicas y físico-químicas de los minerales que componen la mena, para su separación y concentración en productos homogéneos por su composición química y mineralógica, entonces es posible mediante el uso del modelo teoría de separación propuesto por Tijonov (1990), evaluar la posibilidad de separar y concentrar las fases mineralógicas que componen la mena laterítica, atendiendo al contraste que manifiestan sus propiedades físicas de diámetro y susceptibilidad magnética.

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO UTILIZADO

Para evaluar la posibilidad de separación de las fases minerales en las lateritas, se utilizó el método propuesto por Tijonov (1990): *Teoría de separación de minerales útiles*. Suponiendo que la propiedad física se puede expresar a través de una variable real ξ , que puede ser vista como una variable aleatoria al tomar muestras de partículas de forma casual y midiendo ξ para cada una de ellas, los resultados serán diferentes y aleatorios expresando la heterogeneidad del mineral inicial con respecto a ξ . El porcentaje de partículas que pasan al concentrado con respecto a la masa total será:

$$\bar{\gamma}_{Conc} = 100 \int_{\xi_{min}}^{\xi_{max}} \gamma(\xi) \varepsilon(\xi) d\xi \quad (1)$$

Donde: $\gamma(\xi)$ representa la función de distribución y $\varepsilon(\xi)$ es la característica de separación del equipo.

La concentración del componente útil en el mineral inicial y en el concentrado final se podrá obtener según:

$$\bar{\beta}_{Inic} = \int_{\xi_{min}}^{\xi_{max}} \beta(\xi) \gamma(\xi) d\xi \quad (2)$$

$$\bar{\beta}_{Conc} = \frac{100}{\gamma_{Conc}} \int_{\xi_{min}}^{\xi_{max}} \beta(\xi) \varepsilon(\xi) \gamma(\xi) d\xi \quad (3)$$

$\beta(\xi)$ - contenido de componente útil en las fracciones.

La integral o la suma a través de todas las posibles fracciones expresa la masa del componente útil en todo el concentrado. La división por la salida $\bar{\gamma}_{Conc}$ permite encontrar el valor medio de la concentración del componente útil $\bar{\beta}_{Conc}$, los parámetros iniciales resultan las fracciones $\gamma(\xi)$ y $\beta(\xi)$ que caracterizan a las partículas de la materia prima por sus propiedades físicas y por la concentración del componente útil en ellas. Estos valores junto a $\varepsilon(\xi)$, que resulta la característica principal del equipo de beneficio, permite calcular los índices comunes de beneficio, la salida $\bar{\gamma}_{Conc}$, el contenido $\bar{\beta}_{Conc}$ y la extracción y recuperación $\bar{\varepsilon}_{Conc}$ (Sobol, 1968).

$$\bar{\varepsilon}_{Conc} = (\bar{\gamma}_{Conc} \cdot \bar{\beta}_{Conc}) / \bar{\beta}_{Inic} \quad (4)$$

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Caso de Estudio. Separación y concentración de fases minerales por el diámetro de las partículas

En los estudios de separación desarrollados con anterioridad (Falcón & Hernández-Flores, 1991; Hernández-Flores & Falcón, 1993) se observa la tendencia de los metales (Ni, Co, Fe, Al, Mg) a concentrarse en determinados productos de la separación; el níquel, hacia los productos finos y débilmente magnéticos; el aluminio y el magnesio, en los productos gruesos. Resulta entonces de mucha importancia saber cuáles son las fases minerales en las que se encuentran estos metales, pues de ello dependerá los resultados del proceso extractivo.

En la Tabla 5 aparecen los resultados del análisis granulométrico y mineralógico efectuado a una muestra mineral de entrada (yacimiento Pinares de Mayarí) de la fábrica Comandante René Ramos Latour (Almaguer, 1989). El contraste que manifiesta la concentración de las fases mineralógicas en las diferentes clases granulométricas hace posible su separación o concentración, tomando como criterio para la separación el diámetro de las partículas.

Tabla 5. Composición granulométrica y mineralógica de una muestra del yacimiento Pinares de Mayarí

No	Clase de Tamaño (mm)	Salida (%)	Composición mineralógica (%)				
			Goethita	Serpentina	Gibbsita	Magnetita	Espinelas
1	+ 0,833	14,49	59	22	8	1	2
2	- 0,833 + 0,045	33,51	68	4	7	3	13
3	- 0,045 + 0	52	85	3	2	2	1
Mineral		100	73	6	5	2	4

Considerando el reboso o producto fino como concentrado, y conociendo que la separación en hidrociclón, de minerales con un contenido inicial del 60 al 85 % de la clase -0,045 + 0 mm, para un diámetro interior del cuerpo del hidrociclón de 75 – 300 mm, contenido de sólido alrededor del 20 % y presión en la entrada de 0,02 a 0,025 MPa, produce un reboso que contiene de un 98 a un 99 % de la clase fina (-0,045 %) y sabiendo además que la salida en el concentrado (reboso) es de 50 a 55 %, entonces la característica de separación del hidrociclón puede calcularse por la ecuación (5):

$$\bar{\varepsilon}_{\text{conc}}(I_i) = \bar{\gamma}_{\text{conc}} [(\gamma_{\text{conc}}(I_i) / (\gamma_{\text{Inic}}(I_i))] \quad (5)$$

Donde:

$\bar{\gamma}_{\text{conc}}$ - salida del concentrado (50 -55 %)

$\gamma_{\text{conc}}(I_1)$ - salida de la fracción en el concentrado, en %.

$\gamma_{\text{Inic}}(I_2)$ - salida de la fracción en el producto inicial en %.

La separación ocurrirá a partir de las siguientes consideraciones:

ΔI_i , mm	0 - 0,045	0,045 - 0,833	0,833 - 1,6
$\gamma(I_i)\Delta I_i$	0,52	0,335	0,145
$\bar{\varepsilon}_{\text{conc.}}(I_i)$	0,63	0,11	0
$\bar{\varepsilon}_{\text{conc.}}(I_i)\gamma(I_i)\Delta I_i$	0,32	0,037	-

La salida del concentrado, denominado así convenientemente al reboso o producto fino del hidrociclón, sería :

$$\bar{\gamma}_{\text{conc.}} = (0,32 + 0,037) = 35,7 \%$$

$$100 \gamma (I_i)_{\text{conc.}} (I_i)_{\Delta i} / \bar{\gamma}_{\text{conc.}} \quad 0,89 \quad 0,10$$

Finalmente se calcula por las ecuaciones (3) y (4) la recuperación y contenido de las fases minerales en el concentrado. Los resultados se muestran en la Tabla 6

Tabla 6. Resultados de la separación de fases minerales

Producto de separación	γ (%)	Contenido de las fases (%)					Recuperación de las fases (%)				
		Ght	Srp	Gbt	Mgt	Esp	Ght	Srp	Gbt	Mgt	Esp
Reboso	35,7	82,45	3,0	2,5	2,1	2,2	40,32	17,85	17,85	37,48	19,63
Arenas	64,3	67,75	7,6	6,39	1,9	5,0	59,68	82,15	82,15	62,52	80,37
Mineral	100	73,0	6,0	5,0	2,0	4,0	100	100	100	100	100

Ght- Goethita, Srp- Serpentina, Gbt- Gibbsita, Mgt- Magnetita, Esp.-Espinelas

De la separación es posible obtener un producto fino, con alto contenido de la fase goethita y menor contenido de serpentina y de gibbsita, ambas perjudiciales no solo para la tecnología ácida, sino también para la carbonato amoniacal. De otra parte, en las arenas de la separación se concentran la gibbsita, serpentina y las espinelas, que al ser separadas de la mena pueden ser utilizadas como materias primas para otros fines.

Beneficio por la susceptibilidad magnética del mineral

Las investigaciones desarrolladas por Sobol (1968) con el mineral del yacimiento Moa dieron como resultado que la fracción fuertemente magnética se concentra en las clases relativamente gruesas (mayores de 0,5 mm), la cual representa del 15 al 30 % de la mena. La fracción no magnética lo hace hacia las clases granulométricas finas, inferiores a 0,02 mm. Además demostró que la laterita de Moa contiene componentes de propiedades magnéticas muy fuertes en forma de espinelas, constituidas en lo fundamental por maghemita (γ - Fe_2O_3) y una pequeña cantidad de magnetita.

En las pruebas efectuadas en el reactor A de la planta de lixiviación del proceso ácido, se observó que la mayor parte de níquel, cobalto y manganeso presentes en la fracción magnética no se lixivian, debido a las grandes dimensiones de las partículas, su mayor densidad, de 4 800 Kg/m^3 , superior a la densidad media del mineral, la cual es

de 3 550 Kg/m³, y a la descomposición más lenta de la magnetita. Esto ocasiona una disminución en la velocidad del proceso de lixiviación, un incremento de níquel y cobalto en las colas y la formación de costras en los reactores, que ocasionan grandes dificultades en las operaciones de la planta de lixiviación.

El producto grueso (arenas de la separación) se caracteriza por un rango de tamaño de -0,833 a 0,045 mm, al cual pasan partículas, como agua, con dimensiones muy pequeñas; además, de acuerdo con las experiencias de Sobol (1968), debe ser en este producto donde se concentren fundamentalmente las fracciones fuertemente magnéticas, que ocasionan muchas más dificultades al proceso extractivo, en comparación con el níquel y cobalto que aportan, de aquí la necesidad de estudiar el comportamiento de este producto al ser sometido a separación magnética.

La Tabla 7 ofrece los resultados, partiendo del análisis magnético efectuado a una muestra mineral (-0,833 +0,045 mm) con la siguiente composición mineralógica (%):

Goethita	Serpentina	Gibbsita	Magnetita	Espinelas
67,75	7,6	6,39	1,9	5,0

Tabla 7. Resultados del análisis magnético (Hernández Flores & Falcón, 1993)

Intensidad de corriente A	Salida de la fracción en la alimentación 100γ(I _i) Δ I _i , %	Contenido (%)					Salida de la fracción en el concentrado 100γ _{conc} (I _i)ΔI _i , %	ε _{conc} (I _i)
		Ni	Co	Fe	Al	Mg		
1	5,91	1,08	0,28	40,09	3,81	0,996	5,85	0,989
3	19,86	1,26	0,26	33,71	7,49	1,08	8,58	0,432
5	9,74	1,09	0,37	43,94	6,26	2,12	1,47	0,15
7	6,26	1,50	0,30	22,50	6,75	1,48	0,58	0,09
> 7	58,23	0,83	0,11	18,40	6,79	0,77	0	0

De acuerdo con los resultados del análisis magnético, los índices para el estudio de la separación resultan de la siguiente manera:

Δ I _i , A	0 - 1	1 - 3	3 - 5	5 - 7	7 - 10
γ (I _i) ε _{conc} .(I _i) Δ I _i	0,06	0,086	0,015	0,005	0

$$\bar{\gamma}_{conc.} = 100 \sum_{i=1}^n \gamma (I_i) \varepsilon_{conc.} (I_i) \Delta I_i = 16,6 \%$$

100 γ (I _i) ε _{conc} . (I _i) Δ I _i / $\bar{\gamma}_{conc.}$	0,36	0,51	0,09	0,03	--
---	------	------	------	------	----

El contenido de los elementos en el producto magnético por la ecuación:

$$\bar{\beta}_{\text{conc.}} = 100 / \gamma_{\text{conc.}} \sum_{i=1}^n \gamma(I_i) \beta(I_i) \varepsilon_{\text{conc.}}(I_i) \Delta I_i; \text{ será:}$$

$$\bar{\beta}_{\text{goethita}} = 80,57\%; \quad \bar{\beta}_{\text{serpentina}} = 9,04\%; \quad \bar{\beta}_{\text{gibbsita}} = 5,88\%; \quad \bar{\beta}_{\text{magnetita}} = 2,44\%;$$

$$\bar{\beta}_{\text{espinelas}} = 7,10 \%$$

Y la recuperación calculada por la fórmula convencional (4) queda:

$$\bar{\varepsilon}_{\text{goethita}} = 19,45\%; \quad \bar{\varepsilon}_{\text{serpentina}} = 19,46\%; \quad \bar{\varepsilon}_{\text{gibbsita}} = 15,05\% \quad \bar{\varepsilon}_{\text{magnetita}} = 21,01\%$$

$$\bar{\varepsilon}_{\text{espinelas}} = 23,23\%$$

En la Tabla 8 se exponen los resultados totales de la separación. Si sólo se toma en cuenta el contenido de los metales, parecería como producto más conveniente, el magnético; pero este representa solamente el 16,6 % de la operación y un 10 % de la pulpa inicial; en el producto no magnético se obtiene la mayor extracción o distribución de cada uno de las fases, por representar el 83,4 % de la separación. Además, la separación del 19,74 % de serpentina, el 15,27 % de gibbsita y 21,31% de magnetita, del producto arenas de la clasificación, constituye un enriquecimiento sustancial de la mena para el proceso extractivo.

Tabla 8. Resultados de la separación magnética

Productos del Beneficio	Salida (%)	Contenido de las fases, %					Recuperación de las fases, ξ (%)				
		Ght	Srp	Gbt	Mgt	Esp	Ght	Srp	Gbt	Mgt	Esp
Magnético	16,6	80,57	9,04	5,88	2,44	7,10	19,74	19,74	15,27	21,31	23,57
No Magnético	83,4	65,20	7,31	6,49	1,79	4,58	80,26	80,26	84,73	78,69	76,43
Alimentado	100	67,75	7,6	6,39	1,9	5,0	100	100	100	100	100

Ght- Goethita, Srp- Serpentina, Gbt- Gibbsita, Mgt- Magnetita, Esp.-Espinelas

Los estudios realizados permiten hacer la propuesta de integrar en un esquema teórico (Figura 2) los resultados de la separación y concentración de las fases mineralógicas por el diámetro y susceptibilidad magnética, lo que conseguirá mejorar la calidad de la mena para la metalurgia extractiva.

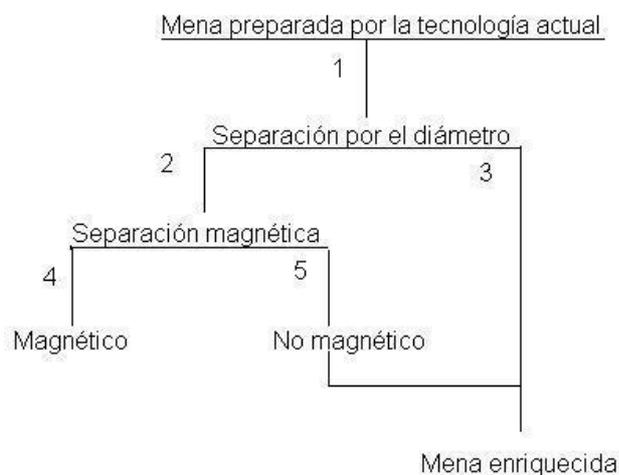


Figura 2. Esquema teórico para la separación de fases minerales de la mena laterítica.

La Tabla 9 resume los resultados de la separación que teóricamente se puede lograr mediante el método de separación de minerales útiles considerando la diferencia entre el diámetro y la susceptibilidad magnética de las fases minerales que componen la mena laterítica.

Tabla 9. Resultados de la separación de fases por el esquema teórico

Productos del Beneficio	γ (%)	Contenido (%)					Recuperación o Distribución ξ (%)				
		Ght	Srp	Gbt	Mgt	Esp	Ght	Srp	Gbt	Mgt	Esp
Magnético	10,67	87,98	3,56	6,44	2,57	5,68	12,68	12,66	9,81	13,71	15,15
Mena enriquecida	89,33	72,33	2,93	7,06	1,93	3,80	87,32	87,34	90,19	86,29	84,85
Mena actual (inicial)	100	74	3,0	7,0	2,0	4,0	100	100	100	100	100

Ght- Goethita, Srp- Serpentina, Gbt- Gibbsita, Mgt- Magnetita, Esp.-Espinelas

Como resultado del beneficio se logra separar de la mena inicial un 12,66; 9,81 y 13,71 % de serpentina, gibbsita y magnetita, respectivamente, que constituyen componentes estériles para el proceso actual; la magnetita, por las dificultades que causa en los reactores de lixiviación; la serpentina y la gibbsita por los altos consumos de ácido sulfúrico que ocasionan. Al mismo tiempo se concentra la fase goethita (principal portadora de níquel) en la mena beneficiada.

CONCLUSIONES

El contraste del diámetro y la susceptibilidad magnética en las fases mineralógicas en las menas lateríticas hace posible su beneficio. Con la inclusión de variantes de esquemas tecnológicos que contemplen operaciones de clasificación-separación magnética se mejora la calidad de la mena al separar y concentrar componentes y fases minerales.

REFERENCIAS

- AMMON - CHOKRUN, M. 1977. Contribución a la valorización de las Ferralitas Niquelíferas de Nueva Caledonia. (Traducción). CIPIMM, La Habana. 150 p.
- ALMAGUER, F.A. 1989. Mineralogía y geoquímica de las cortezas de intemperismo lateríticas de las rocas ultramafitas de la provincia Holguín. Ostrava. (Tesis doctoral).
- ALMAGUER, F.A. & A. CERPA. 1995. Composición de las pulpas limoníticas de la planta P.S.A. I parte. *Minería y Geología*. 12 (3) :19-21
- BRINDLEY, G.W. & HSIEN - MING, W. 1975. Compositions, Structures and therm Behaviour of Nickel - containing minerals in the Lizardite - Nepovite Series. *American Mineralogist*, 60 :863-871.
- CHAUKLEY, M. 1995. Update on operations at Moa Bay pressure acid leach plant, Nickel / Cobalto Laterites Seminar, Melbourne, Australia.
- FALCÓN, J.F.; A. HERNÁNDEZ & G. CARTHY C. 1991. Beneficio de minerales lateríticos, utilización y perspectivas. I Evento Internacional de Lixiviación Ácida a presión, Moa, Cuba. (Memorias)
- HERNÁNDEZ FLORES, A. 1998. Preparación por vía húmeda de la mena laterítica [ISMM, Moa] (Tesis doctoral) 108 p
- HERNÁNDEZ FLORES, A. & J. FALCÓN H. 1993. Preparación y beneficio de minerales lateríticos en el proceso ácido a presión. *Minería y Geología*. 11 (3) :51-54
- ONODERA, I. 1987. Attempts of the beneficiation of laterite Nickel ore. *Inst. J. of mineral processing*, Bélgica. 78 p.
- ROJAS PURÓN, A. 1995. Principales minerales portadores de Níquel en los horizontes limoníticos del yacimiento Moa. ISMM-Moa (Tesis doctoral). 100 p.
- SOBOL, S.Y. 1968. Composición de las lateritas de Moa y su influencia sobre los procesos de lixiviación por ácido sulfúrico en autoclaves. *Rev. Tecnología*, 5-6 :4- 9
- TIJONOV, O.N. 1990. Beneficio de minerales útiles en Asia, África y América Latina. Ed. Nedra, San Peterburgo. 260 p.