

Comportamiento de las colas del proceso Caron (Moa) ante la intensidad de un campo magnético

Orleidy Loyola-Brefe
Pedro E. Beyris-Mazar
Amaury Palacios-Rodríguez
Yunior Correa-Cala

Resumen

La presente investigación tuvo el propósito de evaluar el comportamiento, ante la acción de la intensidad del campo magnético, de colas lateríticas derivadas del proceso metalúrgico Caron en la planta niquelera de Moa, con vistas a la recuperación de los metales útiles contenidos en estos residuos industriales. La investigación se realizó a escala de laboratorio para tres clases granulométricas obtenidas por vía húmeda y, posteriormente, sometidas a separación en fracciones magnéticas y no magnéticas. Se encontró que el níquel y la sílice, mayormente, se concentran en la fracción no magnética de la clase de mayor tamaño. En la fracción gruesa magnética se obtuvo hasta 0,1 % de cobalto, valor exigido por la tecnología Caron. El hierro, aunque se logró concentrar en un 50 % en la fracción fina magnética, no cumple con las expectativas tecnológicas para su uso en la obtención de aceros

Palabras clave: Colas lateríticas; proceso Caron; separación magnética. beneficio de minerales.

Behavior of tailings from the Caron process in Moa upon exposure to intense magnetic field

Abstract

The objective of this investigation is to assess the behavior of lateritic tailings produced by the Caron metallurgical process in Moa nickel industry when subjected to the action of an intense magnetic field in order to recover the useful metals contained in the industrial wastes. The trial was conducted at lab scale for three particle size classifications obtained through wet means and subsequently divided into magnetic and nonmagnetic grains. Nickel and silica were found to be mostly concentrated in the class of nonmagnetic grains of bigger size. Coarse magnetic grains had concentrations of up to 0,1 %of cobalt, which is the requirement for the Caron technology. 50% concentration of iron was found in the fine magnetic grains; however, it does not meet the technological requirement to be used in steel production.

Keywords: lateritic tailings; Caron process; magnetic separation; minerals dressing.

1. INTRODUCCIÓN

La separación magnética es un método de beneficio que se aprovecha de la susceptibilidad magnética de los minerales, sobre todo aquellos que poseen alto contenido de hierro. Las colas del proceso metalúrgico Caron contienen aproximadamente 43 % de este metal, cuyas principales fases minerales, catalogadas como de elevada susceptibilidad magnética (Dercach 1981), son la maghemita y la magnetita (Ponce 1979; Turro 2002; Rojas & Turro 2003).

Desde 1952 se trabaja por aprovechar las colas de la tecnología Caron; con tal propósito Zamora et al. (1981) enriquecen hierro hasta 62 % mediante la magnetización y separación magnética. Por su parte, Mavrommatis et al. (2002) demuestran que el 90 % del níquel y el cobalto contenido en las colas de Nicaro puede reciclarse en la producción de aceros en hornos de arco eléctrico. Sin embargo, estos métodos tienen elevados costos energéticos.

Entre los métodos utilizados para beneficiar las colas, la separación magnética húmeda a baja intensidad del campo ha sido la más aconsejada para obtener concentrados de hierro y óxidos de cromo (Ashinkov 1962; Carthy & Falcón 1985; Peña 1986; Jones 1988; López 1988; Kriboi 1992; Leyva et al. 2000). A partir de la separación magnética pueden obtenerse concentrados con contenidos de hierro entre 55 % y 59 % y de hasta un 43 % de Cr_2O_3 . Debido a las particularidades mineralógicas de las colas no ha sido posible obtener productos de mayor calidad.

Aunque la separación magnética es usada en el beneficio de minerales, no abundan investigaciones donde se emplee este método a las colas de la tecnología Caron en Moa; únicamente en el trabajo de Loyola et al. (2011) se evalúa el comportamiento de los valores metálicos, al separar tres clases de tamaño a 40,33 kA/m.

Coello et al. 1998 sostienen que el beneficio de los minerales complejos requiere de la combinación de dos o más propiedades físicas por las razones siguientes:

- Las partículas minerales se diferencian no por una propiedad física, sino por varias, lo que implica el uso de diferentes métodos de beneficio;
- las partículas minerales son portadoras no solo de un mineral útil, sino de varios componentes útiles.

Estas razones han sido corroboradas igualmente en varios trabajos (Lago & Valikov 1991; Falcón et al. 1992; Rojas & Beyris 1994) dedicados a la preparación mecánica de las lateritas.

La combinación del tamaño de las partículas con la susceptibilidad magnética ha sido aplicada a los escombros lateríticos para la concentración de metales. En tal sentido, Coello et al. (1998) concentraron el cobalto y el hierro hasta 0,14 % y 61 %, respectivamente.

Por su parte, Ferreiro et al. (2007) obtuvieron 60 % de hierro, aplicando tostación magnetizante previa. Tal método también fue utilizado por Jungah et al. (2010) en la recuperación del níquel a partir de minerales lateríticos de baja ley; además, puede ser aplicable con buenos resultados para otros minerales de hierro (Znamená ková et al. 2004).

Estos precedentes investigativos que han validado la posibilidad de combinar el tamaño de las partículas con la susceptibilidad magnética en el estudio de las colas han servido de base para la realización de este trabajo, cuyo objetivo es determinar el comportamiento de las colas del proceso Caron de Moa bajo la acción de la intensidad del campo magnético.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se conformó una muestra de colas usando el método de redes y puntos, según Mitrofanov (1982). La muestra se secó a 100 °C durante 120 min, en una estufa de control digital modelo DH6-9146A, para lograr una buena homogeneización del material, por el método del anillo y el cono.

La investigación se realizó a escala de laboratorio con muestras de 240 g que fueron pesadas en una balanza digital modelo Sartorius BS 124S. A las muestras iniciales se les midió la susceptibilidad magnética en un Kappameter KT-9, Modelo: SAIC®.

La separación granulométrica se realizó por vía húmeda, en una tamizadora modelo R.X.-29, con un juego de tamices seleccionados según la serie de Taylor (0,200; 0,150; 0,075; 0,053 y 0,038 mm), con lo que se obtuvo la composición granulométrica (Figura 1).

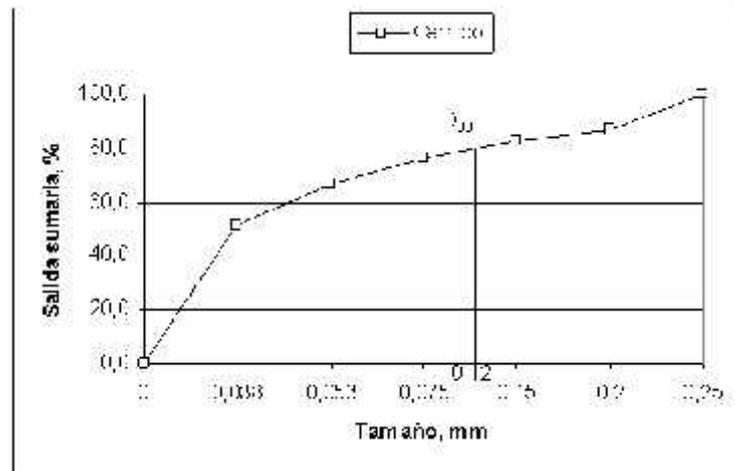


Figura 1. Característica de tamaño acumulativa según el cernido.

La Figura 1 se tomó como base del criterio para definir las clases de tamaño a separar magnéticamente; de manera tal que esté representada una clase fina ($-0,038$ mm), una media ($-0,150+0,053$ mm) y una gruesa ($+0,150$ mm), además del criterio de la concentración de los metales níquel y hierro, en estas clases, que se sometieron a un secado térmico (100 °C).

La separación magnética seca se realizó en un equipo modelo 138 T, a una intensidad del campo magnético de $40,33$ kA/m ($0,10$ A); intensidad elegida según las características magnéticas del material (Dercach 1981), y basado, además, en los criterios de otros autores (Ashinkov 1962; Carthy & Falcón 1985; Peña 1986; Jones 1988; López 1988; Kriboi 1992; Leyva et al. 2000). Por tanto, el procedimiento experimental se llevó a cabo a partir de la metodología mostrada en la Figura 2.

Tanto a las muestras iniciales como a las fracciones granulométricas, productos magnéticos (PM) y no magnéticos (PNM) se les practicó análisis químico (AQ) mediante la técnica de fluorescencia de rayos X.

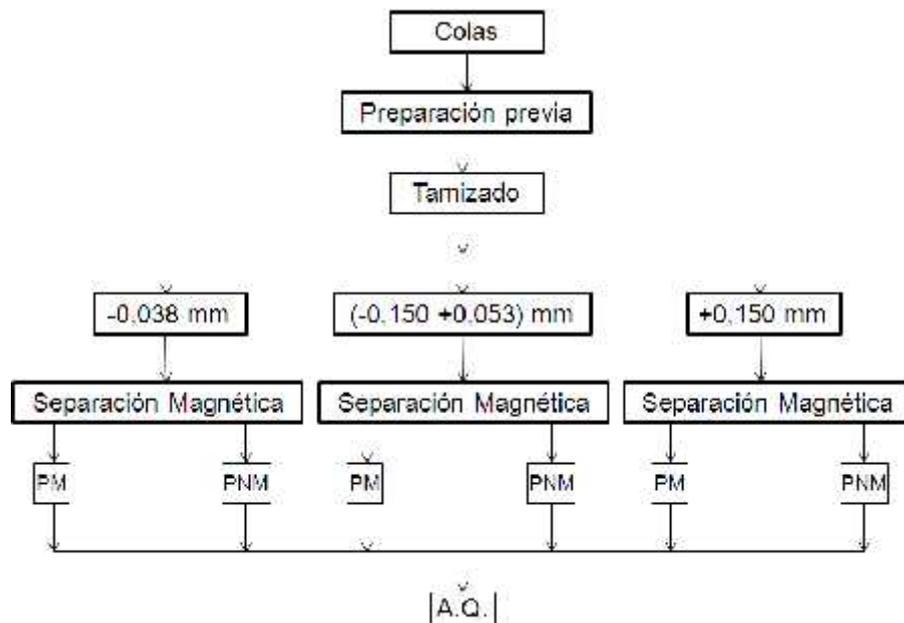


Figura 2. Procedimiento para el tratamiento de las colas por separación granulométrica y magnética.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la determinación de la composición química realizada a las muestras iniciales (Tabla 1) coincidieron con los reportados por otros investigadores (Rojas & Turro 2003; Peña 2011; Hernández 2011). Se constató que el elemento mayoritario es el hierro, seguido por grandes cantidades de sílice, aluminio, magnesio y cromo; se observa, además, un contenido apreciable de níquel como elemento de valor.

Tabla 1. Composición química de las colas

Elementos	Ni	Co	Fe	Mg	Mn	Al	Cr	Zn	Cu	SiO ₂
Contenido, %	0,36	0,09	43,09	4,06	0,64	8,00	3,04	0,03	0,01	15,81

El ensayo de susceptibilidad magnética reflejó las características ferromagnéticas de las colas, según las categorías dadas por Dercach 1981, con un valor de $58,67 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$. Tal valor se debe al elevado contenido de hierro, presente fundamentalmente en la fase maghemita-magnetita (Rojas & Turro 2003).

3.1. Análisis granulométrico

La Tabla 2 muestra las salidas para cada clase separada notándose el predominio de partículas de la clase fina (más de 50 %). Esto corrobora los resultados reportados en los trabajos de Turro (2002), Coello (2008), Hernández (2011) y Peña (2011).

Tabla 2. Composición granulométrica de las clases separadas magnéticamente

Clases de tamaño, mm	Masa, g	Salida, %
Gruesa (+0,150)	87,56	17,50
Media (-0,150+0,053)	80,36	16,07
Fina (-0,038)	255,41	51,08

El contenido de hierro se hace mayor hacia la clase fina, donde alcanzan valores notables, como se muestra en la Figura 3; y su menor porcentaje corresponde a las dos clases de mayor tamaño. Tal comportamiento se atribuye a que en el material suministrado al proceso tecnológico el hierro posee mayor concentración en las limonitas, principalmente como goethita (Laverov 1985; Ostroumov et al. 1987; Rojas 2001) y su relación con respecto a la serpentina es de 3 partes por 1; a ello se suma la mejor molibilidad de la limonita (Coello et al. 2008).

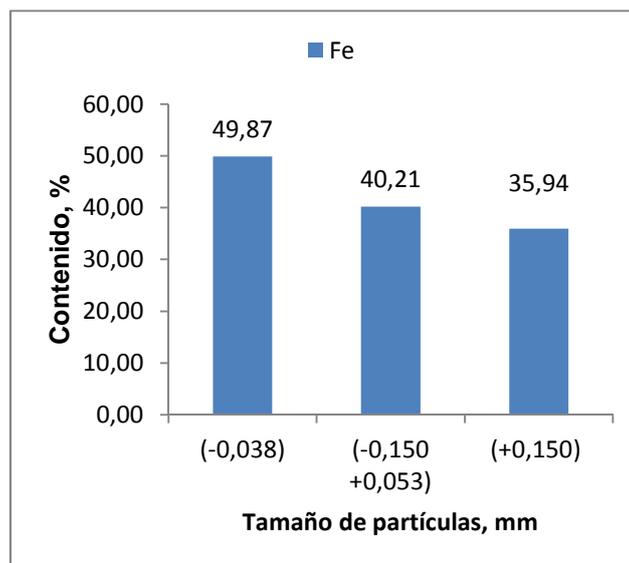


Figura 3. Contenido de hierro por clases de tamaño.

El níquel tiene un comportamiento similar, se incrementa hacia la fracción fina, como se muestra en la Figura 4; ello puede ser atribuido a su relación con el hierro en la goethita como mayor portadora de níquel (Rojas 2001). El cobalto, a diferencia del níquel, muestra una tendencia a incrementarse según aumenta el tamaño de las partículas (aunque en un rango estrecho).

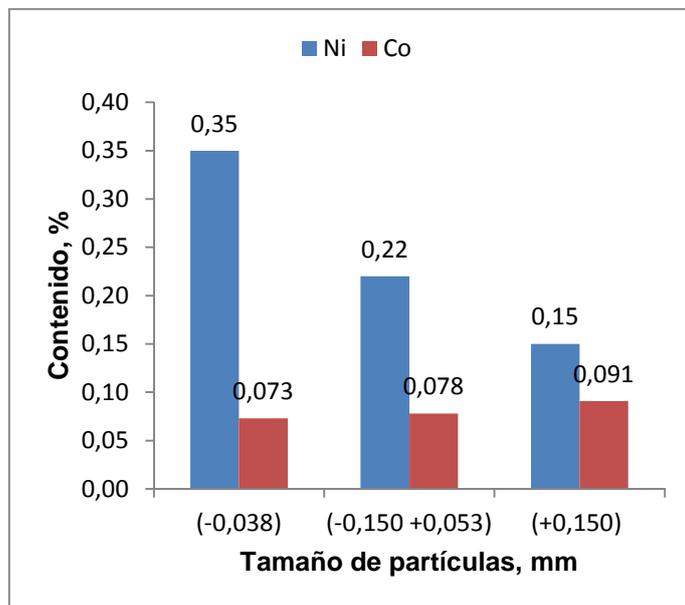


Figura 4. Contenidos de níquel y cobalto por clases de tamaño.

Por su parte, el SiO₂ se concentra en las fracciones más gruesas, con un comportamiento estable en las restantes clases de tamaño (Figura 5). El aluminio y el cromo se comportan de forma estable en todo el espectro granulométrico, aunque tienen su mayor concentración en la clase de tamaño medio, lo que corrobora los resultados de Peña (2011). El magnesio posee una mayor concentración en la fracción gruesa, y se observa un comportamiento estable en las demás clases de tamaño. El manganeso se mantiene estable, con un comportamiento similar al del cobalto, lo que evidencia que ambos metales están presentes en una misma fase mineralógica (asbolana) (Barros de Oliveira et al. 2001).

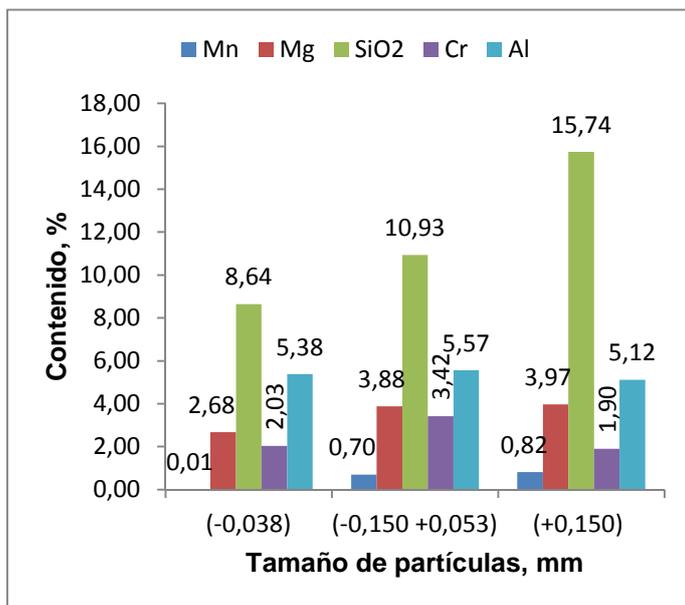


Figura 5. Contenidos de Mn, Mg, SiO₂, Cr y Al por clases de tamaño.

3.2. Análisis magnético

Con la separación magnética se observó un predominio del hierro en la fracción magnética de la clase fina, como se muestra en la Figura 6, con un menor contenido en la fracción no magnética de la clase media. En tal sentido no se evidencia ninguna concentración del elemento con respecto a lo alcanzado en la separación granulométrica.

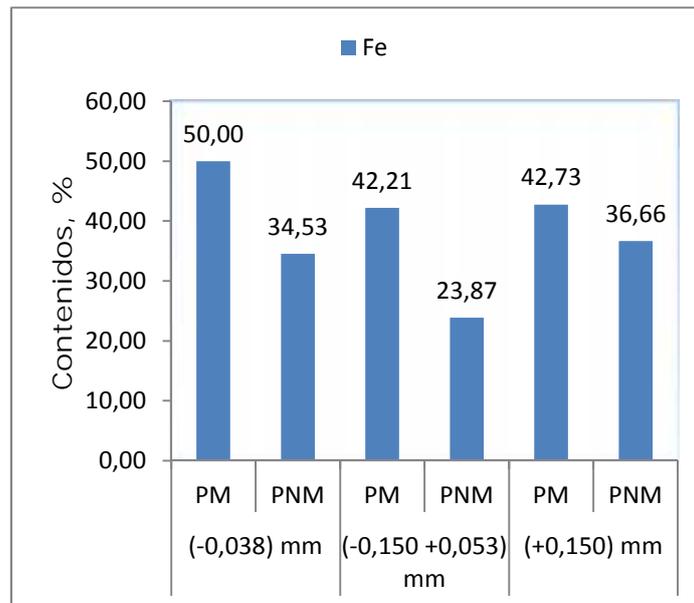


Figura 6. Contenido de hierro en la separación magnética.

El níquel se incrementa hacia la fracción no magnética de la clase de tamaño +0,150 mm, con tendencia a disminuir en las fracciones granulométricas inferiores (Figura 7). Esto es debido a que el elemento debe estar asociado a la serpentina, mineral que no se redujo totalmente en el proceso de tecnológico (Chang 1999), debido a su mayor tamaño en el mineral después de molido (Coello et al. 2008), por lo que representa pérdidas del metal en el proceso. Su concentración es en las fracciones no magnéticas, precisamente por la baja susceptibilidad magnética que presentan los minerales de serpentina.

Por otra parte, el cobalto manifiesta un comportamiento más irregular en las tres clases de tamaño separadas magnéticamente y muestra su mayor beneficio en la fracción magnética de la clase +0,150 mm.

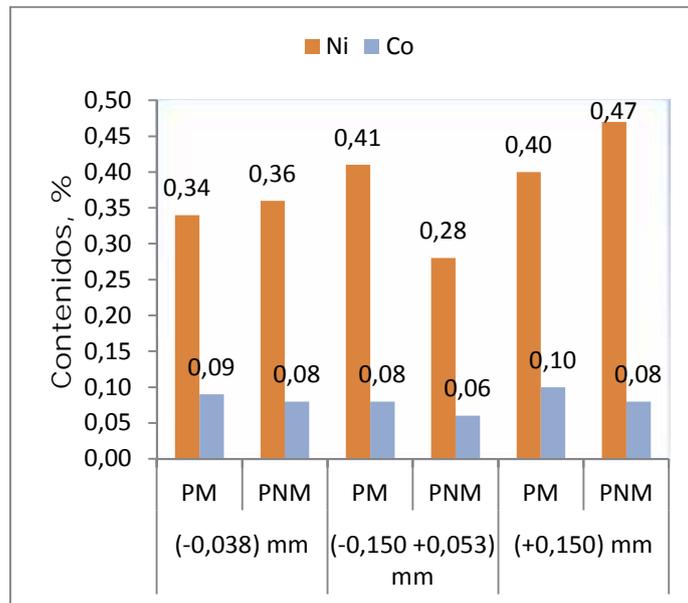


Figura 7. Contenidos de níquel y cobalto en la separación magnética.

Por otra parte, en la fracción no magnética, en la clase de tamaño +0,150 mm, se concentra el mayor contenido de sílice y se mantiene un comportamiento irregular en los elementos químicos restantes, como se muestra en la Figura 8. El manganeso presenta un comportamiento magnético por fracciones granulométricas similar al del cobalto, debido a su estrecha relación, con un aumento del contenido según aumenta la clase de tamaño. El aluminio, magnesio y cromo se presentan de forma bastante estable en todo el espectro, aunque alcanzan una mayor concentración en la clase (-0,150+0,053 mm), en la fracción no magnética para el aluminio y magnesio y en la magnética para el cromo.

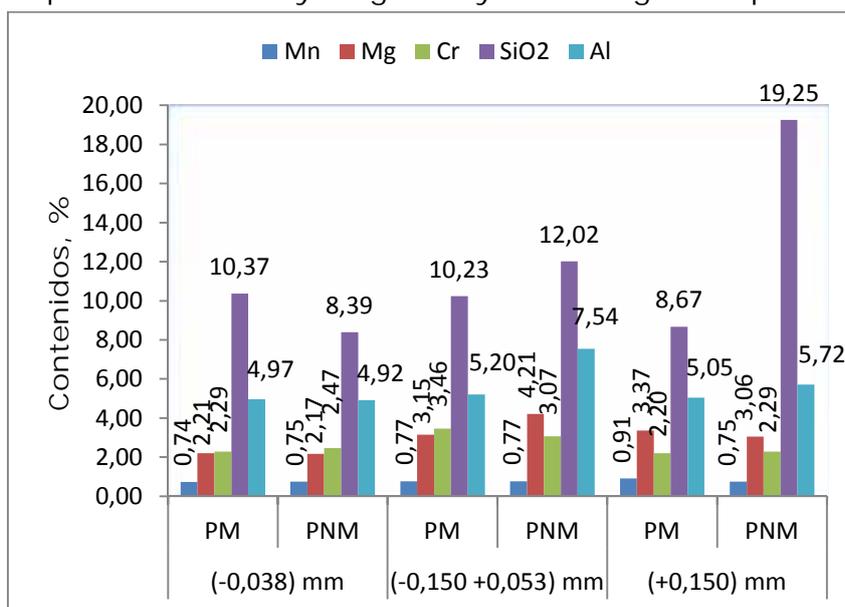


Figura 8. Contenidos de Mn, Mg, Cr, SiO₂ y Al en la separación magnética.

4. CONCLUSIONES

Al someter las colas de la tecnología Caron de Moa a la intensidad de un campo magnético el níquel y la sílice se concentran en la fracción no magnética de la mayor clase de tamaño. El hierro lo hace en los productos magnéticos, con un 50 % en la clase fina. El cobalto y el manganeso tienden a concentrarse en los productos magnéticos, con mayor porcentaje en la fracción gruesa. El magnesio y el aluminio se concentran en la clase media, fracción no magnética, mientras el cromo alcanza su mayor valor en el producto magnético de esa misma clase.

Se logró concentrar 0,1 % de cobalto, valor exigido por la tecnología Caron; sin embargo, el hierro, a pesar de alcanzar alta concentración, no cumple con las expectativas tecnológicas para la obtención de acero.

5. REFERENCIAS

- ASHINKOV, R. 1962: Beneficio de las colas de Nicaro por separación magnética. [Informe técnico] (en ruso). Biblioteca D´SIT. 62 p.
- BARROS DE OLIVEIRA, S. M.; MOYA, C. S. & ENZWEILER, J. 2001: Ochereous laterite: a nickel ore from Punta Gorda, Cuba. *Journal of South American Earth Sciences* 14(3): 307–317.
- CARTHY, G. & FALCÓN, J. A. 1985: Consideraciones preliminares sobre el beneficio de las colas de Nicaro. *Minería & Geología* 3(2): 124-131. ISSN: 1993 8012.
- COELLO, A. L.; MENÉNDEZ, J. M. & LABORDE, R. 2008: Grindability of lateritic nickel ore in Cuba. *Powder Technology* 182: 113-115.
- COELLO, A. L.; BEYRIS, P. E.; HERNÁNDEZ, A. & RAMÍREZ, B. 1998: Distribución fraccional de los valores metálicos en el escombros laterítico. *Minería & Geología* 15(1): 37-42.
- CHANG, A. R. 1999: Una visión sobre las reservas estratégicas de eficiencia metalúrgica en la tecnología carbonato–amoniaco. *Minería & Geología* 16(1): 76-82.
- DERCACH, V. G. 1981: Métodos especiales de enriquecimiento de minerales. (Traducido del ruso). Vneshtorgizdat, Moscú, 419 p.
- FALCÓN, J.; HERNÁNDEZ, A. & CARTHY, G. 1992: Beneficio de minerales lateríticos. Utilización de perspectivas. Monografía. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- FERREIRO, Y.; LEYVA, O.; SÁNCHEZ, A. & FIGUEREDO, O. 2007: Obtención de un concentrado de hierro a partir de los escombros lateríticos del yacimiento Pinares de Mayarí. *Ciencia Holguín* 3.
- HERNÁNDEZ, C. M. 2011: Recuperación de níquel, cobalto y hierro a partir del residuo sólido de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 65 p.

- JONES, D. G. 1988: Estudio preliminar de la obtención del concentrado de cromo a partir de las colas de Nicaro. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 71 p.
- JUNGAH, K.; GJERGJ, D.; HIDEAKI, T.; KATSUNORI, O.; SEIJI, M. & TOYOHISA, F. 2010: Calcination of low-grade laterite for concentration of Ni by magnetic separation. *Minerals Engineering* 23(4): 282-288.
- KRIBOI, R. 1992: Elaboración de una tecnología de enriquecimiento de los residuos que contienen hierro de los complejos minero-metalúrgicos de Nicaro y Moa. [Informe técnico]. Biblioteca D´SIT. Nicaro.
- LAGO, L. & VALIKOV, Y. 1991: Disminución de los principales consumidores de ácido en lixiviación. Seminario Internacional sobre tecnología de lixiviación ácida de los minerales lateríticos. Moa, noviembre.
- LAVEROV N. P. 1985: Yacimientos de minerales metálicos de Cuba. Nedra, Moscú, 245 p.
- LEYVA, E.; FERNÁNDEZ, M.; SANTIESTEBAN, E. & RODRÍGUEZ, J. E. 2000: Investigaciones preliminares con el concentrado de cromita obtenido de las colas de Nicaro. *Ciencia Holguín* [en línea] 2. Consulta: 18 ene 2010. Disponible en: <http://www.ciencias.holguin.cu/2000/Agosto/articulos/ARTI3.HTM>
- LÓPEZ, H. 1988: Optimización del esquema de beneficio de las colas de Nicaro con fines siderúrgicos. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- LOYOLA, O.; BEYRIS, P.; PALACIOS, A. & PALMERO, A. 2011: Comportamiento de las colas de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara ante la intensidad de un campo magnético. 1ra Conferencia Científica Internacional de la UNISS, YAYABOCIENCIAS´ 2011. Memorias [CD-ROOM], Santi Spíritus, Cuba, 28-30 de noviembre.
- MAVROMMATIS, K.; HERNÁNDEZ, A.; ZARAGOZA, R. & LEYVA, E. 2002: Aproximación sostenible al reciclado de colas de la producción metalúrgica en Cuba en el ciclo de producción de acero en horno de arco eléctrico, *Metánica´2002*. Memorias. La Habana, Cuba.
- MITROFANOV, S. I. 1982: Investigación de la capacidad de enriquecimiento de los minerales. (Traducido del ruso). MIR, Moscú, 440 p.
- OSTROUMOV, M. N.; BLANCO, J. & ROJAS, A. 1987: Caracterización mineralógica de las lateritas del sector Atlantic de la mina Moa. *Minería & Geología* 5(1): 3-20.
- PEÑA, E. G. 2011: Extracción de cobalto por lixiviación ácida de los residuales sólidos de la tecnología carbonato amoniacal. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 72 p.
- PEÑA, J. G. 1986: Estudio del esquema de beneficio de las colas de Nicaro. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 40 p.
- PONCE, N. 1979: Mineralogía y composición sustancial del yacimiento artificial Colas de Nicaro. *La Minería en Cuba*, 7 p.

- ROJAS, A. & BEYRIS, P. 1994: Influencia de la composición mineralógica en la sedimentación del material limonítico de frentes de explotación de la industria Pedro Soto Alba. *Minería & Geología* 11(1): 13-17.
- ROJAS, A. & TURRO, A. 2003: Composición mineralógica de las colas del proceso Caron en Moa, Holguín, Cuba. *Minería & Geología* 19(3-4): 21-28.
- ROJAS, A. L. 2001: Evidencias a favor de que la goethita es la principal portadora de níquel en los horizontes lateríticos de las cortezas ferroniquelíferas. *Minería & Geología* 18(3-4): 21-31.
- TURRO, A. 2002: Estudio del Hidrotransporte de las Colas en el Proceso Carbonato Amoniacal. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 154 p.
- ZAMORA, J.; VÉLIZ, J. & GILM, J. 1981: Tostación magnetizante de colas de Moa con carbón vegetal como agente reductor. Centro de Investigaciones Metalúrgicas (CIME), España, 16 p.
- ZNAMENÁ KOVÁ, I.; LOVÁS, M.; MOCKOV IAKOVÁ, A.; JAKABSKÝ, Š. & BRIAN IN, J. 2004: Modification of magnetic properties of siderite ore by microwave energy. *Separation and Purification Technology* 43(2): 169-174.

Orleidy Loyola-Breffé. oloyola@ismm.edu.cu

Máster en Metalurgia. Profesor Asistente.
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba.

Pedro E. Beyris-Mazar. pbeyris@ismm.edu.cu

Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular.
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba

Amaury Palacios-Rodríguez. apalacios@ismm.edu.cu

Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Auxiliar.
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba.

Yunior Correa-Cala. ycorreac@ismm.edu.cu

Master en Metalurgia. Profesor Asistente.
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba.