

# **Distribución fraccional de metales y minerales en la laterita de balance del yacimiento Punta Gorda, Moa, Cuba**

George Agyei  
Arturo Rojas Purón  
Alberto Hernández Flores

## **Resumen**

Laterita de balance es la denominación tecnológica de la mena procesada para la obtención de níquel en Moa mediante proceso Caron, para la cual se ha establecido un contenido de Fe superior a 35 % y no menor del 1% de Ni. El propósito de la investigación fue determinar en la laterita de balance del yacimiento Punta Gorda, la composición química y mineralógica de las clases granulométricas comprendidas en el rango entre 8 y 0,045 mm. Se emplearon técnicas de separación granulométrica por vía húmeda según la serie de Taylor, métodos de difracción y de fluorescencia de rayos X y el análisis térmico diferencial. Se llega a establecer que la laterita de balance es esencialmente ferrosa, y que la mayoría de los minerales en ella contenidos presentan una granulometría específica de concentración, de manera que en los granos minerales mayores de 2 mm se concentran los silicatos de magnesio (olivino y serpentina) y el hidróxido de aluminio (gibbsita), en cambio los óxidos de hierro (goethita) se concentran en los granos menores de 0,071 mm.

## **Palabras clave**

Laterita, mineralogía, óxidos de hierro, silicatos de magnesio, yacimiento Punta Gorda.

## **Fractional distribution of metals and minerals contained in the balanced laterite ore body in Punta Gorda, Moa, Cuba**

### **Abstract**

The balanced laterite is the technological denomination for processing oxidised nickel ore feeds to obtain Ni through the Caron technology in place in Punta Gorda, Moa; with established iron content above 35 % and ore grade of 1% for Ni. The purpose of this work was to determine the chemical and mineralogical composition of the balanced laterite from Punta Gorda orebody within the size range of 8 to 0,045 mm. Wet granulometric separation techniques as per Taylor's series, X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF) and differential thermal methods of analysis have also been used to characterise the ore. It was concluded that the ore feed essentially contains iron oxides (goethite) and that most metals contained in the laterite have a specific granulometry of concentration. Size fractions of mineral particles above 2 mm are enriched with magnesium silicates (olivine and serpentine) and aluminium hydroxide (gibbsite); whilst iron oxides (gibbsite) are concentration in particles lesser than 0,075 mm.

### **Key words**

Laterite, mineralogy, iron oxides, magnesium silicates, Punta Gorda ore deposit

## INTRODUCCIÓN

La mena oxidada que se suministra al proceso metalúrgico Caron para la extracción de níquel en el nordeste de Cuba es producto de la meteorización de potentes espesores de rocas básicas y ultrabásicas serpentizadas; en los horizontes de ocre de los yacimientos lateríticos cubanos llega a alcanzar algunas decenas de metros (Vera-Sardiñas 2001, Pérez-Melo 2003).

Para ser asimilada por el proceso metalúrgico Caron (Georgiou & Papangelakis 1998) la mena debe contener como mínimo 35 % de Fe y 1% de Ni (Vera-Yeste 1979), parámetros que la definen como **laterita de balance** (LB) en el ámbito industrial.

Atendiendo a la presencia en la LB de otros metales como Al, Cr, C y Mn que pudieran ser también extraídos, hoy en día ha empezado a considerarse su aprovechamiento integral, para lo que se precisa del conocimiento cabal de los aspectos mineralógicos de la mena (Rojas & Orozco 1994).

En Cuba, la mineralogía de la LB para el proceso Caron ha sido estudiada por Ponce & Carrillo (1984), quienes valoran la composición sustancial de la mena ferroniquelífera en el yacimiento La Delta, exponiendo además la granulometría y el carácter magnético de la misma; posteriormente, determinan para una muestra patrón de laterita, la composición mineralógica por clases granulométricas, desde granos mayores de 2 mm hasta los menores de 0,01 mm, valorando también el grado de magnetismo y electromagnetismo (Ponce & Carrillo 1988).

Estudios mineralógicos bastante completos en perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda, realizados por Oliveira *et al.* (2001) y Rojas *et al.* (2005), exponen criterios sobre la posible relación entre perfiles enriquecidos en Ni y la presencia de Al en los mismos. Valoraciones mineralógicas parecidas realizaron Ostroumov *et al.* (1987) en la mina Moa en la década del 80 del siglo pasado.

Rojas & Beyris (1994), al estudiar lateritas de diferentes frentes de explotación del yacimiento Moa, encuentran en la mena una tendencia de concentración de los minerales hacia distintas fracciones granulométricas. Posteriormente Beyris (1997), durante un estudio de sedimentación de la pulpa limonítica del proceso ácido a presión en Moa, llega a precisar que en las fracciones gruesas se concentran las fases silicatadas, en tanto en las finas predominan las fases de óxidos de hierro.

Valix & Cheung (2002) investigan las transformaciones de fases durante el calentamiento de la mena laterítica oxidada y exponen los cambios que ocurren a las principales fases de Fe, como la goethita y los silicatos de hierro y magnesio, las cuales dan lugar a la formación de las fases de magnetita y olivino, respectivamente. Es conocido que estas fases deciden en gran medida el extractable de Ni después de la reducción.

Al evaluar aspectos del beneficio mineral de la laterita de los depósitos del nordeste de Cuba deben considerarse los resultados obtenidos por Hernández (1997), Coello *et al.* (1998) y Hernández *et al.* (2000) a partir del análisis fraccional de los escombros lateríticos, utilizando como propiedades físicas para la separación de componentes el diámetro y la susceptibilidad magnética de las partículas. Coello advierte sobre la poca eficacia del empleo del criterio de Tijnov (1984) en materiales multicomponentes, como las lateritas, debido a que menas con distintos grados de beneficiabilidad, pueden tener igual índice de contraste, lo que conduce a la necesidad de valorar la separación de los componentes de la mena atendiendo a otras propiedades, que involucren la naturaleza química y mineralógica de las mismas y, a ampliar el rango del estudio granulométrico. Materiales asociados a la LB, como los escombros lateríticos, han sido valorados para su beneficiabilidad teniendo en cuenta su granulometría (Ramírez 2002).

La presente investigación tuvo el objetivo de caracterizar, desde el punto de vista químico y mineralógico, la LB previamente beneficiada

por separación granulométrica (tamización) para determinar en las fracciones desde 8,0 hasta 0,045 mm, la distribución de los metales y de las fases minerales con propósitos de beneficio de la mena.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se preparó una muestra compósito de LB del yacimiento Punta Gorda, representativa de la mena oxidada suministrada al proceso Caron. Se practicó la separación granulométrica mediante tamización por vía húmeda, empleando los tamices: 8; 4; 2; 1; 0,4; 0,2; 0,071 y 0,045 mm, siguiendo la estandarización de Tyler. Se establecieron 9 clases granulométricas, denominadas sucesivamente Cg1 hasta Cg9.

Para el análisis de composición química se utilizó un espectrómetro secuencial de Fluorescencia de Rayos X (FRX), Phillips PW 1480, con radiación de rayos X, con lámpara de Rn tipo PW2182/00, en un régimen de 3 000 W y 100 kV, al vacío, con colimador fino.

La microscopía óptica ordinaria, para determinar las características físicas de las muestras, se realizó con microscopio binocular tipo Technival, modelo Axiolab Pol de la Carl Zeiss.

Se aplicó difracción de rayos X (DRX) según método policristalino, utilizando el difractómetro de la PHILIPS, modelo PW 3710, con radiación de  $\text{CuK}\alpha 1$ . En el proceso de lectura e interpretación de los difractogramas se emplearon los softwares APD (PHILIPS) y se utilizó el *Xpert HighScore 1b*, 2002, con la base de datos de la ICDD (*Internacional Center for Diffraction Data*) de 1998. En la estimación cuantitativa de los minerales se empleó el software Autoquan de la *Seifert X, Ray Technology* (Versión 2.26) del 2001.

Los ensayos térmicos por Análisis Térmico Diferencial (ATD) se ejecutaron con el modelo PL, *STA Thermal Science*, con analizador térmico simultáneo STA 1000/1500, de la Stanton Rederoff Ltd. y velocidad de calentamiento de 20 °C/min, temperatura inicial de 25 °C y final de 1 100 °C.

Se determinó también la densidad para confirmar la presencia de fases silicatadas en las fracciones gruesas y de óxidos de Fe en las finas, con el fin de establecer otra vía de separación de minerales. Se empleó el método picnométrico, con picnómetro de 25 ml.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Granulometría

En la LB del yacimiento Punta Gorda, aproximadamente el 70 % del peso de la muestra (Tabla 1) está compuesto por granos menores de 0,045 mm. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Quintana & González (1984), Almaguer & Zamarsky (1993), Almaguer (1995) y Rojas-Purón (1995) en yacimientos lateríticos cubanos.

Tabla 1. Composición granulométrica de la LB

Clase granulométrica	Tamaño (mm)	Contenido (Kg)	% en peso
Cg1	< 8,0	0,0182	0,08
Cg2	> 8,0 < 4,0	0,1334	0,61
Cg3	>4,0 < 2,0	0,0714	0,32
Cg4	>2,0 < 1,0	0,4635	2,12
Cg5	>1,0 < 0,4	1,1443	5,24
Cg6	> 0,4 < 0,2	0,9814	4,49
Cg7	>0,2 < 0,071	2,2958	10,52
Cg8	> 0,071 < 0,045	1,5407	7,06
Cg9	> 0,045	15,1633	69,52
Total		21,812	100,00

Granulométricamente se distinguen tres grupos. El primero, constituido por las clases gruesas, mayores de 2 mm (Cg1, Cg2 y Cg3), representa sólo alrededor del uno por ciento en peso de la muestra, lo cual aunque es insignificante para este estudio pudiera tener algún interés químico o mineralógico en investigaciones futuras. El segundo grupo está constituido por las clases granulométricas medias, comprendidas entre 2 y 0,2 mm (Cg4, Cg5 y Cg6), que constituyen alrededor del 10 % en peso de la muestra. El tercero (Cg7, Cg8 y Cg9), de granulometría fina -menor de 0,2 mm- representa el 87 % en peso de la muestra.

En la composición granulométrica de la LB, las fracciones menores de un milímetro (Cg5 a Cg9) representan el 97 % en peso de la muestra, lo cual explica que para el proceso de lixiviación ácida se tome como material asimilable las partículas menores de 0,83 mm.

### Características químicas

La LB del yacimiento Punta Gorda es esencialmente ferrosa, con un 65 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , aunque contiene otros óxidos (Tabla 2), llegando a ser notables los de Ni y Co, que alcanzan 1,73 y 0,19 %, respectivamente.

Tabla 2. Composición química elemental (en %) de la LB

NiO	CoO	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	MnO	MgO	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	CuO	ZnO	$\text{H}_2\text{O}^*$
1,730	0,189	65,462	1,394	1,193	2,951	6,441	8,470	0,021	0,057	12,09

Al valorar la distribución de los metales según las clases granulométricas (Tabla 3) se observa una tendencia de concentración bien definida que sugiere la separación granulométrica como una vía efectiva de beneficio. El hierro se concentra en las fracciones granulométricas menores de 2 mm (de Cg4 a Cg9), aumentando su contenido hacia la clase menor de 0,045 mm, donde alcanza hasta un 87 % en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Por otra parte, el aluminio incrementa su contenido en las fracciones mayores de 2 mm, alcanzando el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  un 22 %. El silicio y el magnesio también se concentran en esta fracción (clases Cg3 a Cg1) llegando a alcanzar contenidos de hasta 13,9 % el óxido del primero y de 10,9 % el del segundo (Figura 1). Estos resultados apuntan a que en el beneficio de la LB el tamaño de grano de 1,0 mm constituye una "barrera granulométrica" importante para concentrar Mg, Al y Si.

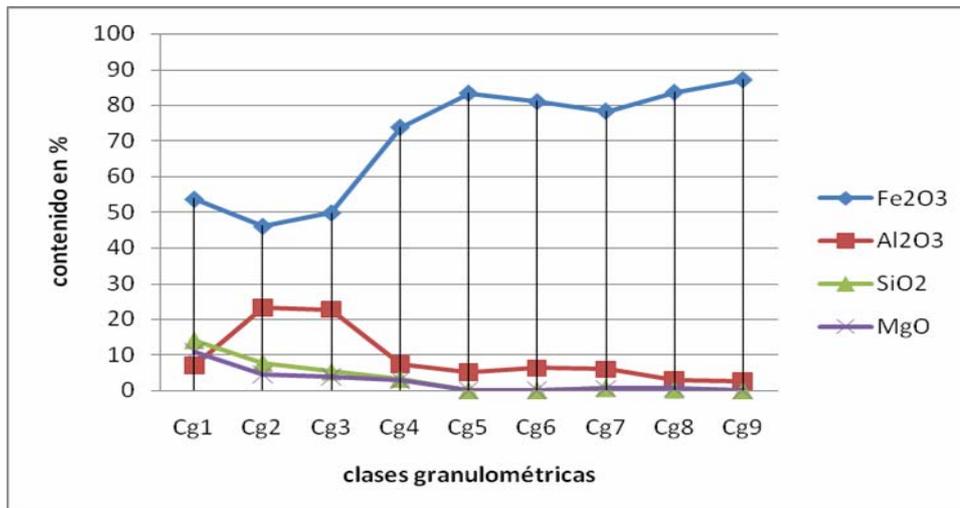


Figura 1. Variación del contenido de los macroelementos (Fe, Al, Mg y Si), según las clases granulométricas, en la LB del yacimiento Punta Gorda.

Es de significar el alto contenido de cobalto (Tabla 2) que alcanza valores por encima de de 0,15 % en la mayoría de las clases granulométricas analizadas. Su rango de concentración comprende las clases granulométricas mayores de 0,071 mm (Tabla 3), donde sus contenidos superan el 0,2 %.

El manganeso se distribuye granulométricamente de forma similar al cobalto (Figura 2). Su concentración tiene lugar en tres clases granulométricas: en la más gruesa (Cg1, mayor de 8 mm) donde el MnO alcanza contenidos de 2,91 %; en la clase intermedia (Cg3, con 3,2 %) y en la clase Cg6, con 3,67 %.

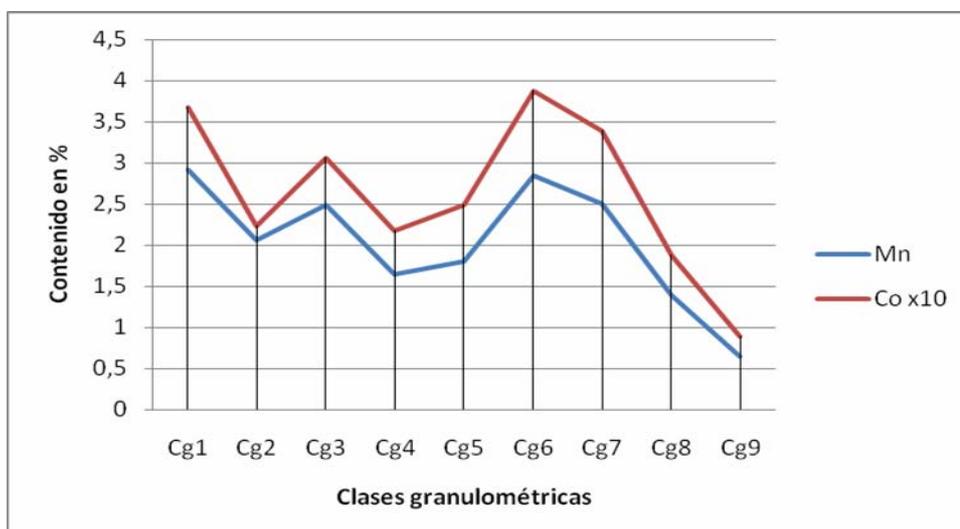


Figura 2. Variación de contenido del Mn y Co en las clases granulométricas de la LB del yacimiento Punta Gorda.

Vale decir que para el níquel no se observó una tendencia de concentración definida según una granulometría específica, pero sí es evidente un empobrecimiento en las clases Cg4 y Cg5 (Tabla 3).

### Mineralogía de la LB

La LB está compuesta fundamentalmente por fases de óxidos de Fe, siendo la goethita (FeOOH) la principal (Tabla 5). Valorando la presencia de las diferentes fases minerales según las distintas clases granulométricas, se puede constatar una tendencia de concentración de la mayoría de los minerales hacia una fracción determinada, lo que permite establecer un proceso de beneficio mineral que tome en cuenta este criterio. En las clases granulométricas gruesas (Figura 3) se concentran las fases silicatadas (lizardita) y de hidróxido de aluminio (gibbsita), las cuales tienen baja densidad (2,5 a 2,8 g/cm<sup>3</sup>), altos contenidos de Al, Si y Mg, y bajos contenidos de Fe.

Tabla 4. Composición mineralógica cuantitativa en % de LB del yacimiento

Minerales	Cg1	Cg2	Cg3	Cg4	Cg5	Cg6	Cg7	Cg8	Cg9
gibbsita	9,4	35,73	33,7	11,37	7,95	9,01	8,2	4,43	3,83
goethita	52,3	43,17	46,9	77,3	85,46	82,9	82,4	89,14	89,23
hematita	3,75	4,61	6,06	2,24	1,86	1,42	2,27	3,52	3,05
litioforita	3,25	---	---	---	---	1,58	2,12	---	---
lizardita1T	25	10,53	8,83	6,53	---	---	---	---	---
maghemita	2,95	2,74	1,67	2,14	4,73	5,1	2,05	---	3,89
magnesiocromita	---	---	---	---	---	---	2,35	2,74	---
plagioclasa	---	---	2,5	---	---	---	---	---	---
cuarzo	3,34	3,22	0,31	0,41	---	---	0,61	0,17	---
Total	99,99	100	99,97	99,99	100	100,01	100	100	100

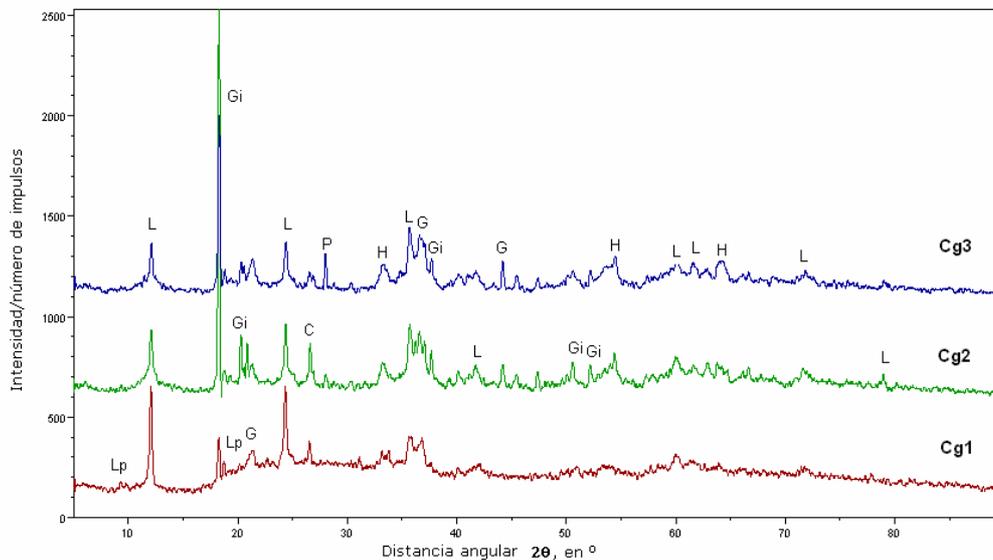


Figura 3. Difractogramas de las clases granulométricas gruesas. Minerales: G: goethita H: hematita Gi: gibbsita L: lizardita C: cuarzo P: plagioclasa (bitownita).

Las clases granulométricas gruesas (Figura 4) muestran un pico endotérmico alrededor de los 300 °C, atribuible a la deshidroxilación de la goethita, con pérdida de agua no estructural a los 60 - 70 °C. La deshidroxilación de la lizardita ((Mg, Ni)<sub>6</sub>(Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>8</sub>) provoca el endotérmico a los 630 °C, y la cristalización de la enstatita (Mg<sub>2</sub>(Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)), el exotérmico a los 800 °C. El pico endotérmico a los 459 °C indica la presencia de cierta cantidad de óxido de Mn, ya detectada por DRX en la muestra Cg1.

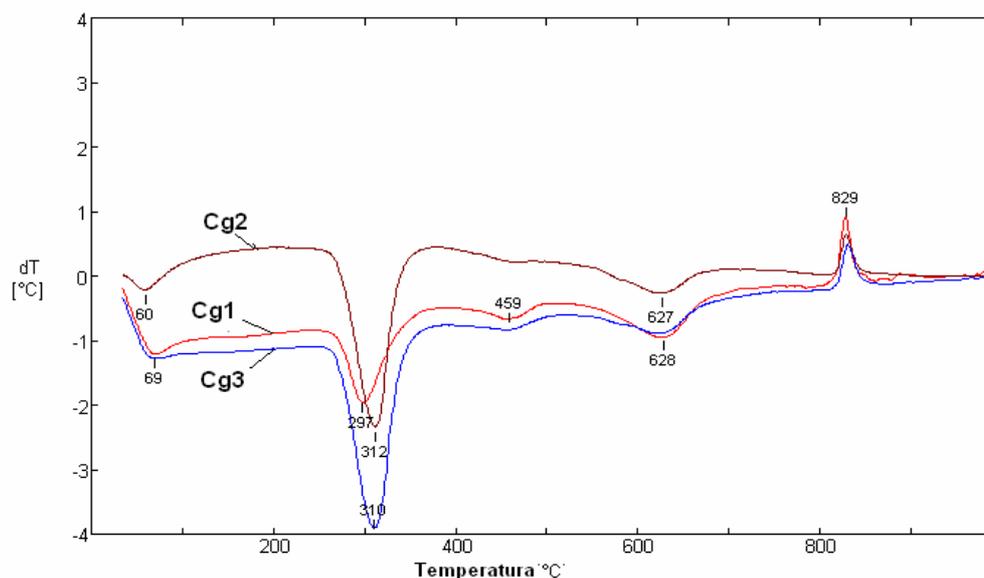


Figura 4. Curvas de ATD para las clases granulométricas gruesas.

En las clases granulométricas Cg4, Cg5 y Cg6 (Figura 5) disminuye el contenido de gibbsita hasta un 9 % y el de silicatos hasta un 5 %. Predomina la goethita, alcanzando entre un 77 y 85 %; la densidad en estas clases fluctúa entre 2,8 y 3 g/cm<sup>3</sup>.

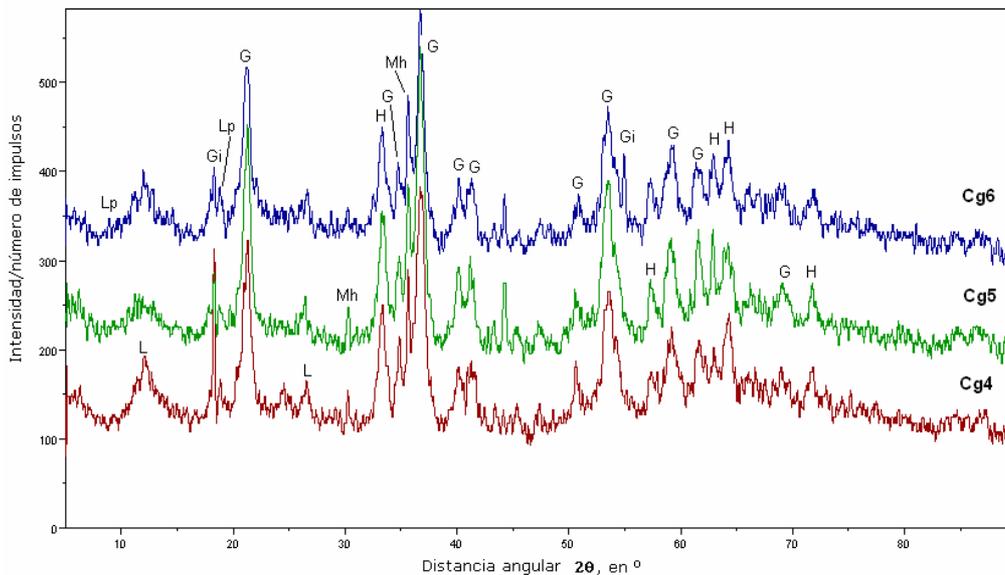


Figura 5. Difractogramas de las clases granulométricas medias. Minerales: G: goethita H: hematita Gi: gibbsita L: lizardita Mh: maghemita Lp: litioforita.

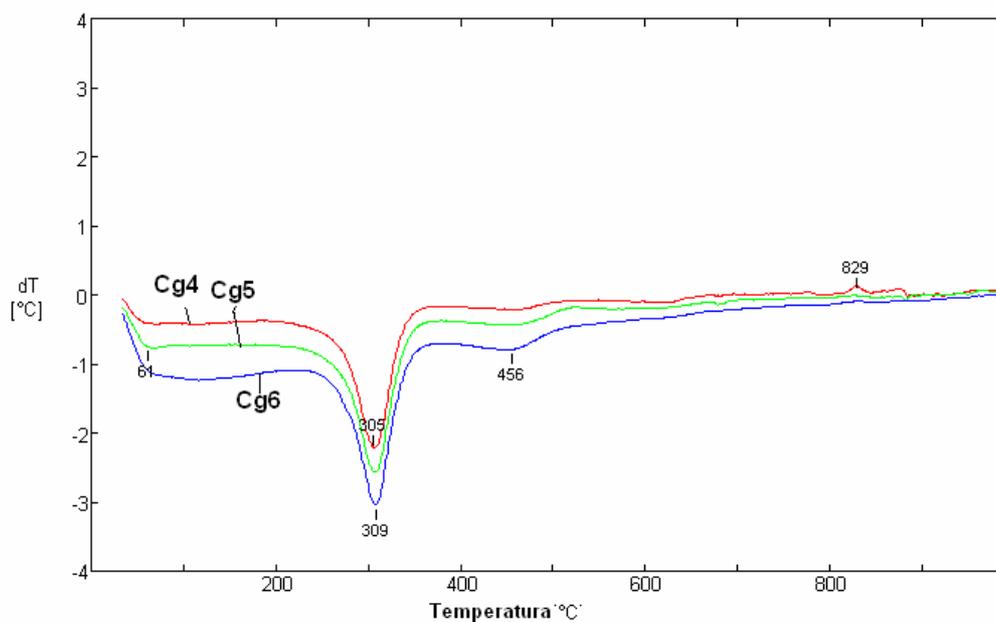


Figura 6. Curvas de ATD para las clases granulométricas medias.

El predominio de la goethita se evidencia en el termograma (Figura 6), por un pico endotérmico muy intenso a los 300 °C. Un débil pico exotérmico, próximo a los 830 °C, se atribuye a la fase silicatada, sólo detectable en la clase Cg4. Se confirma además la presencia de litioforita en la clase Cg6, según el endotérmico a los 456 °C.

En las clases granulométricas finas -menores de 0,071 mm- se concentra la goethita, representando casi el 90 % en la muestra, existiendo además hematita, maghemita y gibbsita (alrededor de un 4 %). La espinela magnesiocromita se concentra en la clase ( $> 0,071 < 0,045$ ). Los silicatos, cuya densidad ( $3,4 \text{ g/cm}^3$ ) es la más alta entre todas las fracciones, están prácticamente ausentes en estas clases.

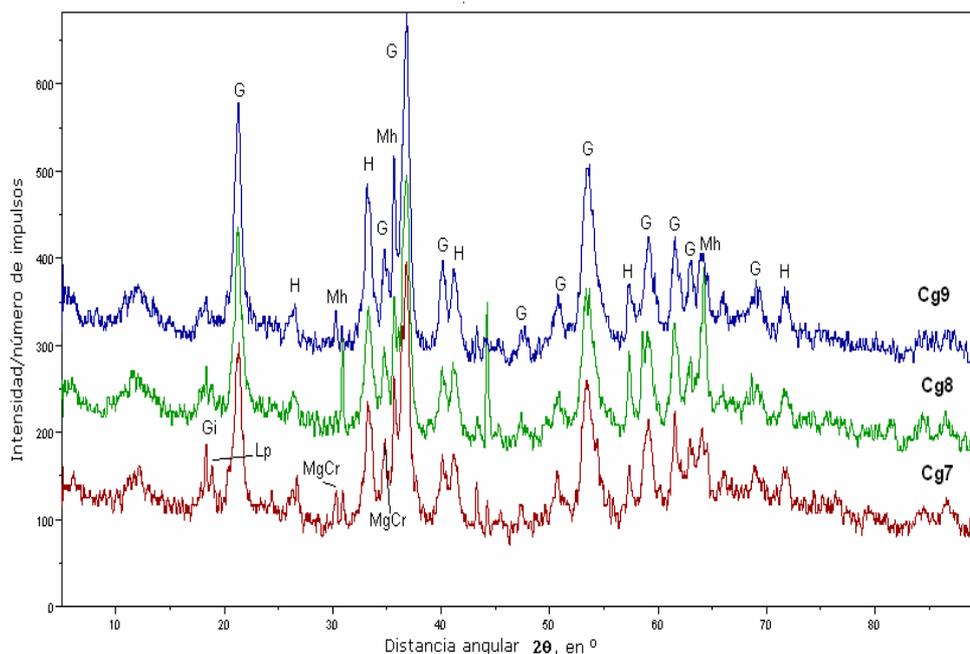


Figura 7. Difractogramas de las clases granulométricas finas/ G: goethita H: hematita Gi: gibbsita Mh: maghemita MgCr: magnesiocromita. Lp: litioforita.

Las clases más finas presentan curvas de ATD (Figura 8) que evidencian el predominio de la goethita, con los endotérmicos a los 68 y 300 °C, característicos de esta fase, y confirman la ausencia de fases silicatadas. La presencia de fases de Mn es delatada por un débil pico endotérmico a los 457 °C para la clase Cg7.

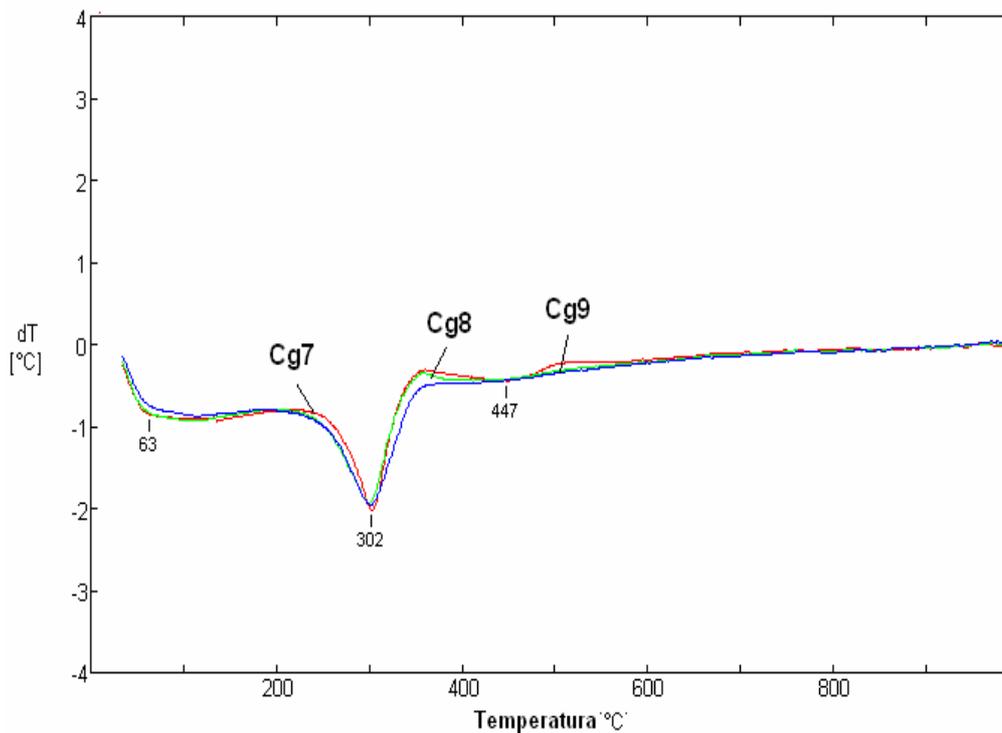


Figura 8. Curvas de ATD de las clases granulométricas finas.

En las valoraciones mineralógicas resultó interesante la presencia de la fase de Mn lithioforita, detectada por DRX según los reflejos 4,72 y 9,49 Å. Este mineral, macroscópicamente se observa en granos co-niformes de color negro y no magnéticos, concentrado principalmente en los granos mayores de 8 mm, asociado a la gibbsita y la goethita, paragénesis mineral ya reportada por Manceau *et al* (2002) y Tokashiki *et al.* (2003).

### Densidad

Los resultados evidenciaron un aumento progresivo de la densidad con la disminución del tamaño de los granos minerales. Esta relación entre densidad y composición mineralógica ya había sido reportada para los materiales que componen los distintos horizontes de las cortezas de meteorización en Moa (Rojas 1995). Los valores más bajos (2,54 - 2,59 g/cm<sup>3</sup>) se obtuvieron en la granulometría más gruesa (Tabla 5) lo cual es explicable por los más bajos contenidos de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (entre 49 a un 53 %) con poca cantidad de goethita y los más altos contenidos de SiO<sub>2</sub> (entre 5 y 13 %) y MgO (4 y 10 %), con predominio de lizardita con cuarzo y gibbsita.

Tabla 5. Densidad de la LB por clases granulométricas

Clase granulométrica	Tamaño de la clase granulométrica (mm)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Cg1	+ 8,0	2,52
Cg2	- 8,0 + 4,0	2,54
Cg3	-4,0 + 2,0	2,59
Cg4	-2,0 + 1,0	2,82
Cg5	-1,0 + 0,4	3,01
Cg6	- 0,4 + 0,2	2,92
Cg7	-0,2 + 0,071	2,94
Cg8	- 0,071 + 0,045	3,48
Cg9	- 0,045	3,40

## CONCLUSIONES

Para la mena LB del yacimiento Punta Gorda es posible realizar un proceso de beneficio efectivo basado en la clasificación granulométrica ya que los minerales se concentran según una granulometría definida. Las clases granulométricas gruesas (> 2 mm) concentran fundamentalmente la gibbsita y la lizardita, de más baja densidad (2,5 a 2,8 g/cm<sup>3</sup>) y con los contenidos más altos de Al, Si y Mg. En la granulometría fina (< 0,071 mm) se concentra la goethita junto con hematita y maghemita, y muy poca gibbsita, donde los silicatos están prácticamente ausentes. La densidad de los granos en esta fracción alcanza valores de 3,4 g/cm<sup>3</sup>.

## REFERENCIAS

- ALMAGUER, A. & ZAMARSKY, V. 1993: Estudio de la distribución del Fe, Ni y Co en los tamaños de granos que componen el perfil de las cortezas de intemperismo de las rocas ultrabásicas hasta su desarrollo laterítico y su relación con la mineralogía. *Minería y Geología* XX(2): 17-24.
- ALMAGUER, A. 1995: Cortezas de intemperismo: algunas características de sus partículas finas. *Minería y Geología* XII(1): 9-19.
- BEYRIS, P. 1997: Mejoramiento del proceso de sedimentación de la pulpa del mineral laterítico de la empresa Pedro Sotto Alba, Moa Nickel S.A. Instituto Superior Minero Metalúrgico: Moa [Tesis doctoral] 118 p.

- COELLO, A. L.; BEYRIS, P.; HERNÁNDEZ, A. & RAMÍREZ, B. 1998: Distribución fraccional de los valores metálicos en el escombros laterítico. *Minería y Geología* XV(1): 37-42.
- GEORGIU, V.G. & PAPANGELAKIS, D. 1998: Sulphuric acid pressure leaching of a limonitic laterite: chemistry and kinetics. *Hydrometallurgy* 49: 123-146.
- HERNÁNDEZ, A. 1997: Determinación de esquemas racionales para la preparación y beneficio integral de minerales lateríticos. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa [Tesis doctoral] 94 p.
- HERNÁNDEZ, A.; FALCÓN, J.; TRUJILLO, R. & TOIRAC, M. 2000: Análisis teórico del beneficio de la laterita. *Minería y Geología* XVII(3-4): 73-78. Disponible en versión digital en: [www.ismm.edu.cu/sites/revistamg](http://www.ismm.edu.cu/sites/revistamg)
- MANCEAU, A.; TAMURA, N.; MARCUS, M. A.; MACDOWELL, A.; CELESTRE, S.; SUBLETT, E.; SPOSITO, G. & PADMORE, A. 2002: Deciphering Ni sequestration in soil ferromanganese nodules by combining X-ray fluorescence, absorption and diffraction at micrometer scales of resolution. *Am. Mineral* 87: 1494-1499.
- OLIVEIRA, S. M.; DE MOYA PARTITI, C. & ENZWEILER, J. 2001: Ochreous laterite: a nickel ore from Punta Gorda, Cuba. *Journal of South American Earth Sciences* 14: 307- 317.
- OSTROUMOV, M.N.; BLANCO, J. & ROJAS, A. 1987: Caracterización mineralógica de las lateritas del sector Atlántico de la mina Moa. *Minería y Geología* 5(1): 3-20.
- PÉREZ-MELO, N. 2003: Comparación de métodos de estimación y simulación para el cálculo de los recursos tomando como ejemplo el bloque O48 del yacimiento Punta Gorda. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa [Tesis de Maestría] 80 p.
- PONCE, N, & CARRILLO, D. 1984: Mineralogía y composición sustancial de las menas ferro níquelífera del yacimiento Delta, Moa, *Serie Geológica* 1: 316.
- PONCE, N, & CARRILLO, D. 1988: Mineralogía y composición sustancial de las muestras patrones de lateritas. *Serie Geológica* 3: 75-82.
- QUINTANA, R. & GONZÁLEZ, R. 1984: Estudio de la pulpa cruda del mineral laterítico del yacimiento Moa: Análisis granulométrico. *Minería y Geología* II(3): 135-146.

- RAMIREZ, M. 2002: Estudio de beneficiabilidad de los escombros lateríticos de la región Moa. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa [Tesis de Maestría] 54 p.
- ROJAS, A. L. 1995: Principales fases minerales portadores de níquel en los horizontes lateríticos. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa [Tesis doctoral] 75p.
- ROJAS, A. L. & OROZCO, G. 1994: Iniciación al estudio de las fases minerales portadoras de Ni en el horizonte limonítico del yacimiento Moa. *Minería y Geología* XI(2): 11-15.
- ROJAS, A. L. & BEYRIS, P. 1994: Influencia de la composición mineralógica en la sedimentación del material limonítico de frentes de explotación de la industria Pedro Sotto Alba. *Minería y Geología* XI(1): 13-17.
- ROJAS-PURON, A.L.; OROZCO, G; VERA, O & ARDERÍ, A. 2005: Caracterización mineralógica de los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda. En: I Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. (Memorias) La Habana, abril 2005, ISSN 0258 5979.
- TIJONOV, O. N. 1984: *Regularidades de la separación de minerales en los procesos de beneficio mineral* (en ruso). Editorial Nedra. Moscú. 294 p.
- TOKASHIKI, T.; HENTONA, M.; SHIMO, L. & ARACHCHI, P. 2003: Improvement of the successive selective dissolution procedure for the separation of birnessite, lithiophorite, and goethite in soil manganese nodules. *Soil Science Society American Journal, Division S,5. Petrology* 67:837-843.
- VALIX, M. & CHEUNG, W.H. 2002: Study of phase transformation of laterite ores at high temperature. *Minerals Engineering* 15:607-612.
- VERA-SARDIÑAS, O. 2001: Procedimiento para la determinación de las redes racionales de explotación de los yacimientos de níquel y cobalto en la región Moa. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa [Tesis doctoral] 111 p.
- VERA-YESTE, A. 1979: *Introducción a los yacimientos de níquel cubanos*. Editorial Orbe, La Habana, 213 p.

**Arturo Rojas Purón**

Profesor Auxiliar. Doctor en Ciencias Geológicas. Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba.

[artrojaspuron@ismm.edu.cu](mailto:artrojaspuron@ismm.edu.cu)

**Alberto Hernández Flores**

Profesor Titular Adjunto. Doctor en Ciencias Técnicas. Oficina Nacional de Recursos Minerales, Cuba.

[ahflores@ecg.moa.minbas.cu](mailto:ahflores@ecg.moa.minbas.cu)