

CONTRIBUCION AL ESTUDIO ESTRUCTURAL DE LOS MINERALES COMPONENTES DE LAS COLAS DE NICARO

Ing. Emilio Leyva Ramírez
Lic. Jesús E. Rodríguez García
Ing. Jesús Ortíz Barsena

Centro de Investigaciones Siderúrgicas. Dique Norte, La Pasa, Nicaro, Holguín

RESUMEN:

Se ofrece la composición elemental cualitativa o cuantitativa así como cierta información acerca de la morfología de algunas partículas minerales presentes en muestras de colas de Nicaro, obtenidas a partir de dos clasificaciones sucesivas en un clasificador mecánico de espiral, separación magnética húmeda y concentración en mesa de sacudidas.

ABSTRACT:

From the results of samples characterization of Nicaro's tailings obtained by two consecutive classifications carried out in a mechanical spiral classifier, wet magnetic separator and shakeout concentration, its showed in this paper an elemental qualitative or quantitative composition of some ore particles in tailings and its morphology.

Las colas de Nicaro son los residuos de la elaboración pirohidrometalúrgica en las menas lateríticas mediante el proceso de tecnología Caron y constituyen el material ferroso nacional más investigado después de 1959. El aprovechamiento de esta eminente fuente de materia prima se ha dificultado por su compleja composición química, sustancial y mineralógica, lo que hasta ahora ha impedido su empleo para la producción, por métodos convencionales baratos, de materiales capaces de ser usados en la fabricación de ferroaleaciones.

El hecho de constituir un recurso polimetálico de baja ley en cualquiera de los valores metálicos de interés, hacen que la primera etapa de su aprovechamiento sea, la concentración mediante métodos de beneficio, los que se basan en las propiedades físicas o fisico-químicas de los componentes a separar; al mismo tiempo éstas dependen de la estructura de los minerales y de su intercrecimiento mutuo.

Desde 1990 hasta 1994 en el Centro de Investigaciones Siderúrgicas (CIS), Nicaro; Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), Madrid, España y el Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEADEN), Ciudad de La Habana, se han estudiado muestras tomadas en una instalación, donde se ha ensayado una tecnología a escala de laboratorio ampliado para el beneficio de dichas colas, con vista a obtener materias primas de uso en la industria siderúrgica y otras ramas de la economía nacional. Este trabajo, a partir de los resultados obtenidos por E. Leyva, y otros (1991) y V. Herrera, y otros (1994), pretende mostrar la composición elemental cualitativa de algunas partículas minerales detectadas, así como, brindar cierta información acerca de su morfología y de esta forma contribuir al conocimiento estructural de los minerales que componen estas colas.

Muchos investigadores, entre los que se encuentran L. García, y otros (1989) y E. Leyva, y otros (1991), han estudiado la composición química, granulométrica y mineralógica de las colas, aunque pocos de ellos han analizado la estructura y la composición ele-

mental de algunos de los minerales existentes. Se desconoce si en alguna investigación se ha profundizado en la interrelación de los minerales con la morfología y la distribución de las partículas minerales, que son sus portadores y por tanto, las que se eliminan o pasan al concentrado en el aprovechamiento mediante el beneficio.

METODOLOGÍA DEL TRABAJO

Origen de las muestras

Las muestras son los productos de dos clasificaciones sucesivas de una muestra de cola en un clasificador mecánico de espiral, separación magnética húmeda en un separador magnético de tambor con imán permanente y concentración en mesa de sacudida, donde en la etapa de clasificación mecánica el reboso de la primera clasificación es la alimentación de la segunda. Las muestras estudiadas pertenecen a distintas corridas experimentales efectuadas en condiciones de operación muy similares.

TABLA 1. Composición granulométrica típica de las colas, según I. García, y otros (1989)

Tamaño de granos (µm)	Retenido % en peso	Retenido acumulado %
+ 210	3,80	3,80
- 210 + 150	4,10	7,90
- 150 + 100	8,50	16,40
- 100 + 74	7,20	23,60
- 74 + 53	6,80	30,40
- 53 + 43	33,70	64,10
- 43 + 30	13,90	78,00
- 30 + 20	6,40	84,40
- 20 + 10	5,90	90,30
- 10	9,70	100,00



Visitenos

Como se observa, este es un material de fina granulometría, más del 80 % en peso es inferior a 100 μm . Las operaciones en el clasificador de espiral tiene como objetivos, primero, separar una arena donde se agrupan las partículas de mayor diámetro, en la que deben estar las fases entrecrecidas y segundo, eliminar la mayor cantidad de lamas para evitar su efecto nocivo sobre la eficiencia de las posteriores operaciones de concentración.

La separación magnética separa el material magnético, formado en el proceso de reducción del mineral laterítico, del producto no magnético.

Por último, la concentración en mesa de sacudidas tiene la finalidad de separar los minerales de alto peso específico de los de menor peso.

Estudios realizados

El estudio realizado por especialistas del CIS y el CENIM comprendió: análisis químico cuantitativo; análisis de fases por difracción de rayos X (DRX), con un difractómetro PHILLIPS con microprocesadores PW 1 710 y anticátodo de Cu; análisis elemental cualitativo y cuantitativo por microscopía electrónica (ME) a partículas pertenecientes a diferentes muestras, con una microsonda JOEL modelo YSM-840 con analizador LINK AN-10 000; además las probetas fueron observadas al microscopio petrográfico. Todo esto permitió evaluar la distribución granulométrica cualitativa y la composición química elemental cualitativa y cuantitativa de algunas fases detectadas.

Las muestras de los productos de la clasificación, vistas a través del microscopio (Fotos 1, 2, y 3) dejan ver poca efectividad en la clasificación por tamaños en los clasificadores mecánicos de espiral, esto se debe, fundamentalmente, a que en estos

equipos realmente no se logra la clasificación por tamaños, sino que la misma se hace en base a la velocidad con que caen los granos de mineral en un medio fluido, de tal modo que el material de más baja velocidad de asentamiento es llevado en el derrame líquido (reboso) y el material con más alta velocidad de asentamiento se deposita en el fondo del equipo, siendo arrastrado por la espiral sin fin a lo largo del fondo hasta la descarga (arena).

TABLA 2. Resultados del análisis químico en las muestras estudiadas en el CIS

No.	Muestras	Elementos u óxidos, en % en peso					
		Fe	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	Ni
1	Colas de cabeza	43,80	2,46	6,32	-	15,4	0,43
2	Arena de la clasificación en espiral	46,50	2,57	6,32	-	15,9	0,41
3	Reboso de la clasificación en espiral	41,30	2,34	6,12	-	17,7	0,45
4	Producto medio de clasif. en espiral	44,10	2,46	6,12	-	15,9	0,41
5	Producto magnético	49,20	2,34	5,81	-	12,3	0,38
6	Producto no magnético	35,30	2,81	6,12	-	21,6	0,48
7	Producto pesado de la mesa	6,86	42,00	22,64	9,46	11,8	-
8	Producto medio de la mesa	32,30	3,28	6,02	16,77	22,8	0,48
9	Producto ligero de la mesa	39,70	1,76	6,02	11,29	19,4	0,45

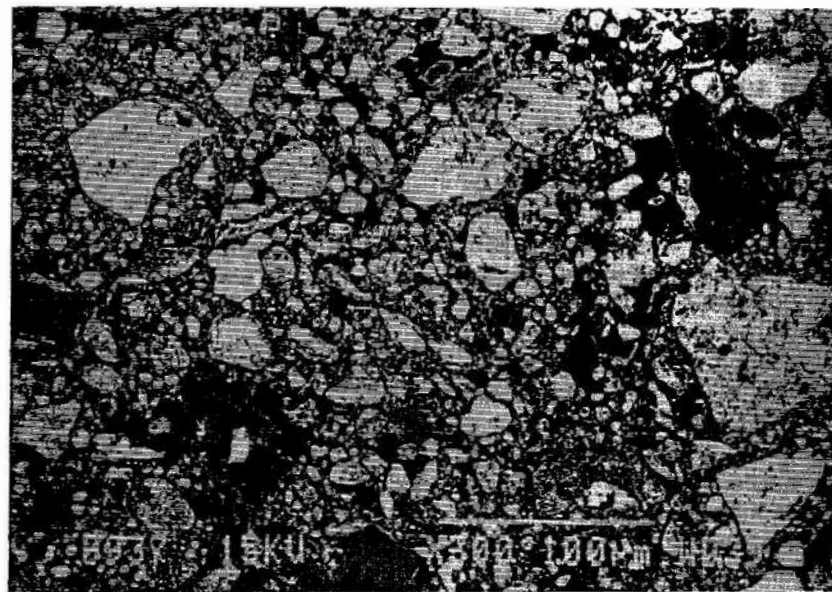


FOTO 1. Aspecto general de la muestra no. 2 x 300

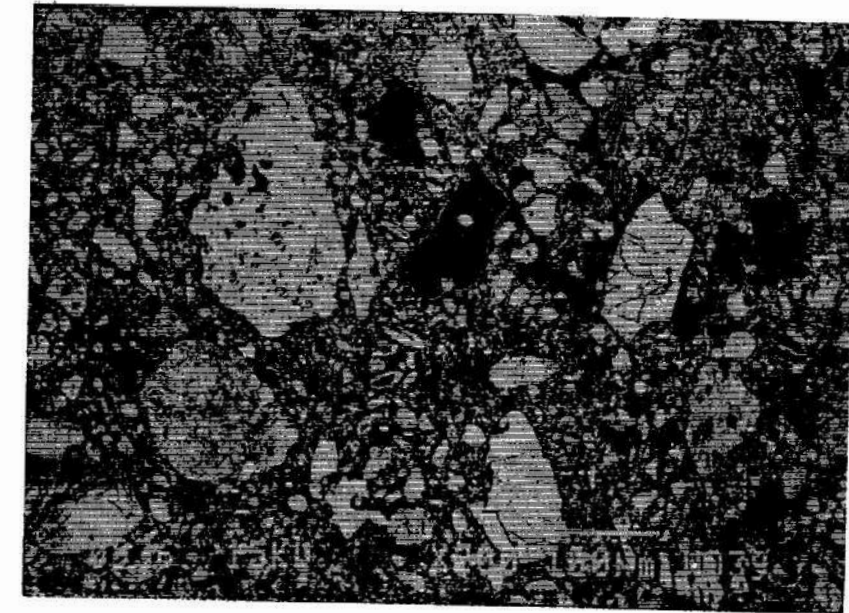


FOTO 2. Aspecto general de la muestra no. 4 x 200

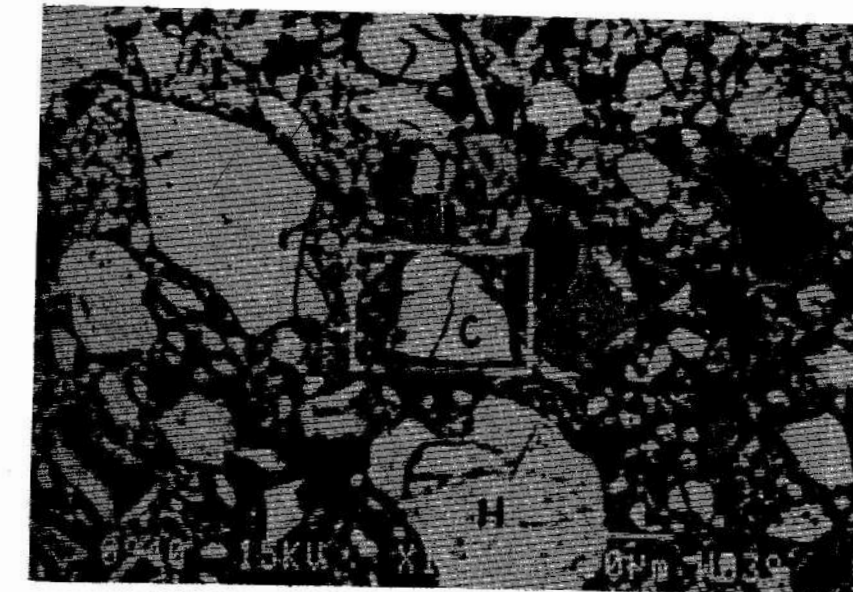


FOTO 3. Aspecto general de la muestra no. 3 x 1 000

Debido a lo expuesto anteriormente, para evaluar cuantitativamente la efectividad de la clasificación, las muestras, a excepción de las no. 1, 7, 8 y 9, fueron clasificadas por tamices de mallas 100, 200 y 325 según la serie de Taylor, por lo que se obtuvieron cuatro clases de cada una de ellas (+150, -150 +74, -74 + 44 y -44 μm). Las muestras clasificadas junto a las 4 muestras restantes fueron entregadas al CEADEN. En este centro se estudió la composición mineralógica de las muestras no. 2, 3, 4, 5, 6 y 7; el estudio comprendió análisis químico cuantitativo, análisis mineralógico mediante el uso de la lupa binocular, análisis bajo luz polarizada a las clases mayores de 150 μm , análisis de fases por DRX, en equipo DRON-4-10 con radiación filtrada de Co, espectrometría Mossbauer (EM) en un espectrómetro WISSEL con fuente de ⁵⁷Co(Rh), además, se seleccionaron granos de minerales y se sometieron al análisis elemental cualitativo mediante

ME acoplada a un microscopio electrónico de barrido (MEB).

Para el estudio las clases mayores de 150 μm se subdividieron en tres clases (+600, -600 + 300, y -300 +150 μm), éstas a su vez se separaron en fracciones, magnéticas, electromagnética y diamagnética, con ayuda de un imán permanente C-5.

Presentación de los resultados

La muestra de cola observada al microscopio presenta un aspecto muy heterogéneo (Foto 4). En la Tabla 3 aparece el análisis elemental cuantitativo de los granos P₁, P₂ y P₃. En la Foto 5 se observa el mapping de hierro de esta muestra tomando de referencia la Foto 4, en ella se puede apreciar la distribución casi homogénea del Fe en la muestra.

TABLA 3. Resultados del análisis químico y granulométrico para las muestras estudiadas en el CEADEN

No. de muestras	Tamaño (µm)	Rendimiento (peso %)	Elementos u óxidos				
			Cr ₂ O ₃	Fe	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂
2	+ 150	26,16	4,35	49,40	6,94	10,40	10,40
	- 150 + 74	16,79	2,30	53,00	6,73	6,60	8,50
	- 74 + 44	7,68	-	-	-	-	-
	- 44 + 0	49,37	2,56	52,60	6,53	6,53	9,20
3	+ 150	2,99	-	-	-	-	-
	- 150 + 74	3,24	9,78	41,68	1,41	-	-
	- 74 + 44	7,29	3,58	34,40	5,30	17,00	21,80
	- 44 + 0	87,04	2,56	42,80	5,10	11,40	13,40
4	+ 150	5,42	8,47	38,80	0,70	-	-
	- 150 + 74	10,07	3,84	39,40	5,51	16,00	17,00
	- 74 + 44	16,30	4,10	42,40	6,32	11,60	15,70
	- 44 + 0	68,21	2,56	49,00	5,10	7,50	16,90
5	+ 150	7,20	2,30	53,00	6,73	6,60	8,50
	- 150 + 74	13,87	2,82	50,60	6,32	9,00	10,70
	- 74 + 44	10,08	3,58	53,00	6,94	5,80	9,80
	- 44 + 44	68,85	2,30	53,00	6,12	5,60	10,80
6	+ 150	5,14	4,56	12,60	0,20	-	-
	- 150 + 74	9,56	4,61	18,40	4,28	26,90	27,80
	- 77 + 44	11,77	4,10	26,40	5,51	21,60	23,80
	- 44 + 0	73,53	3,07	41,60	5,71	12,60	17,50
7	-	-	44,21	4,40	11,00	8,00	17,60

Los resultados del análisis granulométrico a los productos de la clasificación dados en la Tabla 4, corroboran lo planteado sobre la baja efectividad del ordenamiento en los clasificadores de espiral. En las arenas de la clasificación de la muestra 2, contrario a lo que se esperaba, existe un amplio predominio de las fracciones finas, el 48,9 % en peso es inferior a 44 µm. Para los dos restantes productos, (muestras 3 y 4), es mucho mejor la clasificación; en el rebose (muestra 3) se observan

granos de cromita de fina granulometría. En la Foto 3, se advierte en el cuadro, un grano de cromita de aproximadamente 20 µm y las Figuras 1, 2 y 3 muestran los espectros constitucionales obtenidos mediante el análisis puntual por microsonda a los granos marcados con C, H y S. Granos de cromita de tamaño similar al anterior fueron detectados en el producto medio de la mesa de concentración.

TABLA 4. Composición elemental cuantitativa de algunas partículas

Denomin. Partículas muestras	Elementos óxidos								
	Fe	Cr	Al	Si	Mg	Mn	S	Ni	Ca
C o c l i a b e z e d a	P ₁	15,87	31,71	11,84	0,16	7,80	-	-	-
			46,34	22,37	0,34	12,93	-	-	-
P d r e o	P ₂	63,62	0,52	3,43	1,37	-	0,28	-	-
			0,78	6,48	2,93	-	-	-	-
d i a	P ₃	6,63	-	-	20,81	16,70	0,27	0,14	2,10
			-	-	44,52	27,68	-	-	-
P d r e o	Cromita	16,15	34,33	9,61	0,03	6,82	-	-	-
			50,17	18,16	0,06	11,31	-	-	-
d i a	S - M	6,38	0,38	-	20,56	26,57	-	-	-
			0,56	-	43,98	44,06	-	-	-
P e s e a s d a o	S - C	1,59	1,21	1,82	24,56	9,95	-	-	14,85
			1,77	3,44	52,54	16,50	-	-	20,77

Cromita: - valor medio de seis partículas
P₁, P₂, P₃: - valor medio de tres mediciones en un grano

FOTO 4. Foto tomada a la muestra de colas x 100

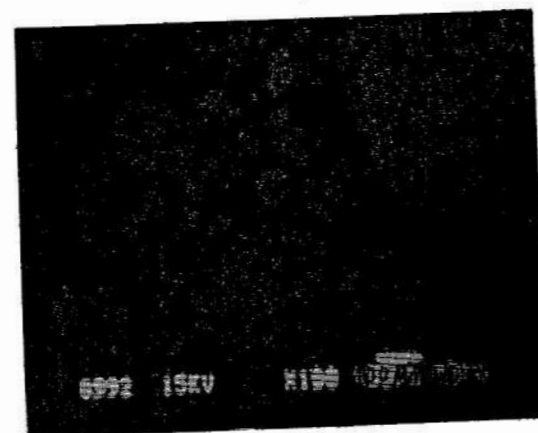
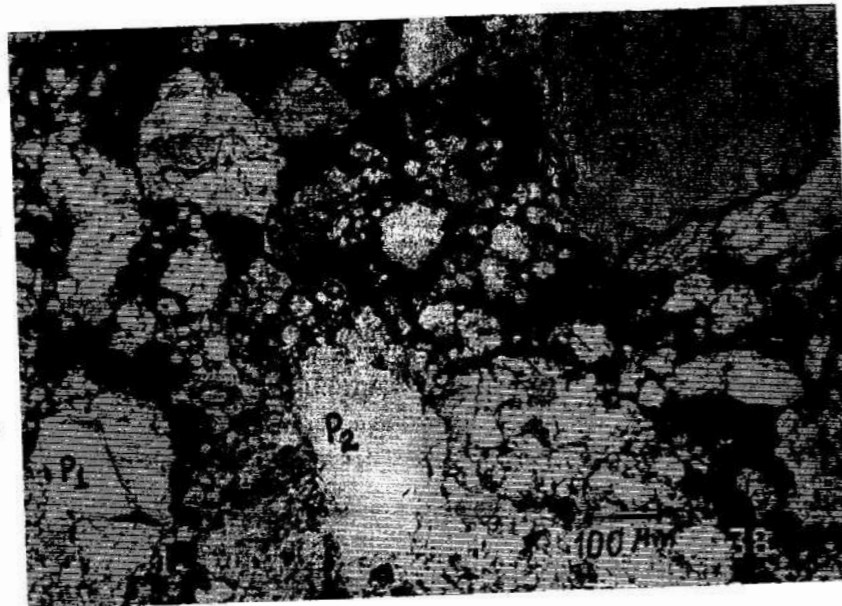


FOTO 5. Mapping de hierro (colas) x 100

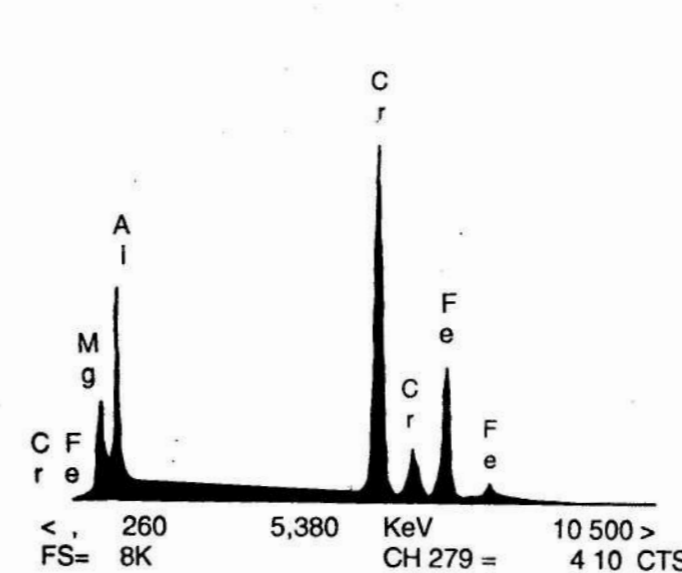


FIGURA 1. Análisis cualitativo del grano C (Foto 3) por microsonda electrónica

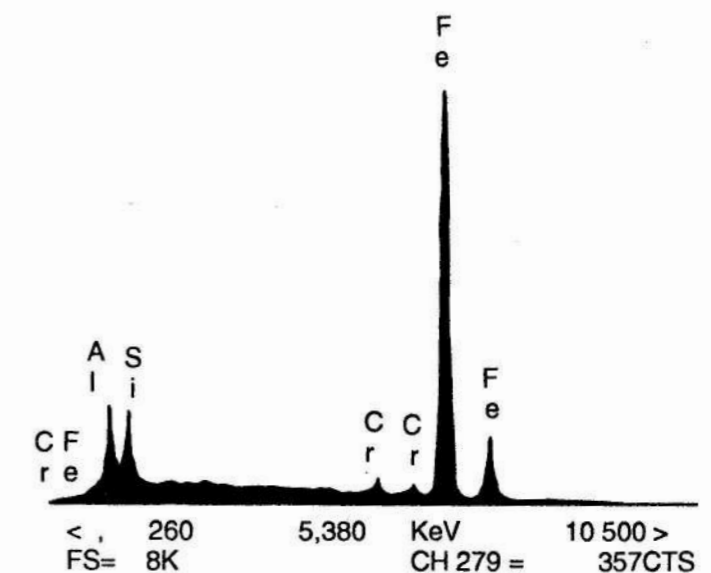


FIGURA 2. Análisis cualitativo del grano H (Foto 3) por microsonda electrónica

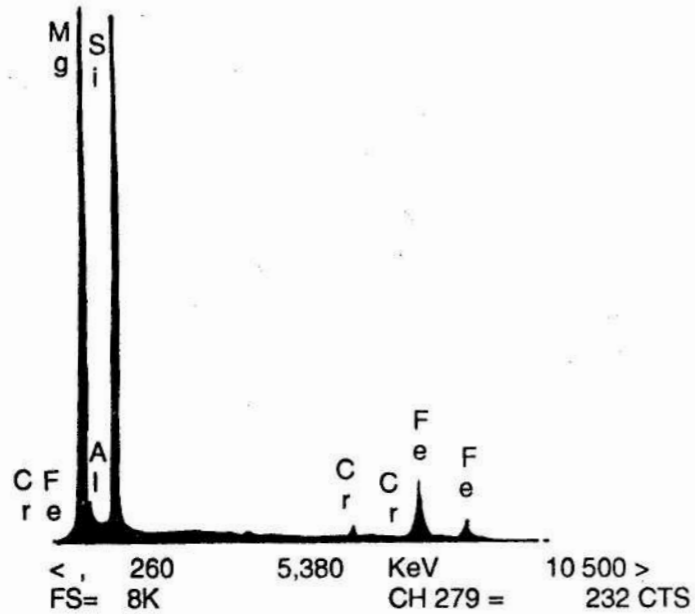


FIGURA 3. Análisis cuantitativo del grano S (Foto 3) por microsonda electrónica

El análisis mineralógico de las fracciones gruesas (mayores de $150\ \mu\text{m}$) mostró que el principal mineral es una espinela del tipo magnetita, aparece en granos irregulares de color negro y con brillo de semimetálico a no metálico que constituye cerca del 91,0 % de la muestra 5. Del análisis de elementos por microsonda (ver análisis del grano P2, Foto 4, y el espectro constitucional del grano H, Foto 3, Figura 2) se puede apreciar que los granos de magnetita contienen pequeñas cantidades de cromo, silicio y aluminio, a diferencia de los otros, el cromo aparece distribuido uniformemente. En el análisis por DRX se detectó que el parámetro de la espinela es $A_0 = 0,8343\ \text{nm} \pm 0,0002\ \text{nm}$, el mismo resulta inferior al de la espinela detectada en las muestras 2 y 3, de valor aproximado $A_0 = 0,840\ \text{nm}$, el cual coincide con el $0,83963\ \text{nm}$ de la magnetita pura.

El valor de $A_0 = 0,8343\ \text{nm}$ para el parámetro de la red de la espinela magnética está relacionado con su grado de aleación. La sustitución parcial de Fe de la magnetita por Mg, Cr y/o Al ocasiona disminución del parámetro de la red, cada uno en una medida diferente (V. Herrera, y otros, 1991). Se modelaron matemáticamente los patrones de difracción para la magnetita con pequeño grado de sustitución del Fe por Mg en los sitios octaédricos, para ello se empleó un programa que calcula las intensidades de las líneas de difracción para una estructura dada. Se obtuvo que la sustitución de sólo un átomo de Fe por Mg y/o Cr aumenta la intensidad de la línea (111), mientras que la sustitución de Fe octaédrico por Al influye en el aumento de la intensidad de la línea (222).

Por EM esta fase con ordenamiento magnético se ajustó mediante tres sextetos, los más externos con valores de campo cercanos a los de la

magnetita y el tercero con un campo menor, lo cual puede estar dado por la sustitución de los átomos de Fe por elementos aleantes, en particular por el Al y el Si que ocasionan una disminución del campo magnético (C. Cruz; 1981 y C. Díaz; 1988).

Otro mineral que se encontró en abundancia es un silicato, la hortonolita, la cual constituye una variante de la serie del olivino, dicho mineral aparece en forma de granos semiangulares semiredondeados de variado color, en ocasiones en éstos se observaron inclusiones de magnetita. Mediante DRX se precisó que el silicato en mayor abundancia es la forsterita ferrosa u hortonolita $[(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{SiO}_4]$. El espectro Mossbauer mostró que contiene Fe^{2+} y Fe^{3+} con parámetro entre los de la fayalita y la forsterita; olivino similar es reportado por C. Díaz; (1988), grano S-M (Tabla 3) en la muestra 7.

El producto pesado de la mesa, está constituido en un 80 % en peso por una espinela con parámetros de la red $0,830 \pm 0,003\ \text{nm}$ que aparece en granos octaédricos homogéneos e irregulares homogéneos, siendo éstos los más abundantes, correspondiendo su patrón de difracción al de la cromopicitita; la composición promedio de esta fase se muestra en la Tabla 3. La EM señala a esta espinela como una cromita en la cual la contribución de Fe^{2+} es mayoritaria, siendo la relación $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ igual a 0,11.

En el espectro de la muestra 7 se detecta aun una pequeña cantidad de olivino. Los trabajos de V. Herrera, y otros (1991) mostraron que en el producto pesado de la mesa, la cromita se concentra en las clases $+37 - 50\ \mu\text{m}$ y $+50 - 149\ \mu\text{m}$, las que constituyen el 7 y el 77 % de la muestra respectivamente.

Otras fases observadas fueron: piroxeno, tipo broncita, que aparece en forma de granos tabulares, cortos, con brillo nacarado, bajo contenido de Fe, aproximadamente entre 10 y 20 %, $[(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6]$. Grano S-C que por su composición química (Tabla 3), parece ser cromodioxido. En un mineral identificado como óxido-hidróxido de Fe se detectaron otros elementos como el Al y en menor concentración Cr, Mn y Ni; este mineral se detectó solamente en la muestra 2, en concentración inferior al 2 %. Además fueron encontrados: serpentinita alterada con contenido de Ni (grano P3, Tabla 4); anfíbol del tipo actinolita-tremolita en granos prismático alargados y fibrosos de color verde muy pálido; granos irregulares, negros, de brillo vítreo y fractura concoidea, en ocasiones con contenido de cobalto y se concentra en las fracciones diamagnéticas obtenidas, siendo identificado por V. Herrera, y otros (1994) como un vidrio; granos blancos cristalinos de plagioclasa, cuarzo en granos semitransparentes, cristalinos, subangulares y carbonatos de granos redondeados, semiporosos, de color crema.

En menor cantidad fueron encontrados, en la muestra 2, hortonolita con inclusiones magnéticas. En la muestra 3, hortonolita con alteración a serpentina e impregnaciones de MnO , serpentina con inclusiones de magnetita y un mineral negro, de brillo metálico y raya parda oscura con inclusiones magnéticas. En la muestra 4, hortonolita serpentinizada con inclusiones magnéticas y en la muestra 5, fragmentos de rocas, alguna con inclusiones magnéticas y otras con mineral serpentinitico.

CONCLUSIONES

1. Existe una estrecha relación entre la forma de los granos y las fases minerales presentes.
2. El grado de utilidad de las colas de Nicaro por métodos de beneficio mecánico está limitado por la composición sustancial de los minerales existentes en la misma.
3. Para el aprovechamiento de las colas de Nicaro despiertan interés las dos espinelas, la magnética, que es la fase principal en las colas de parámetros de la red $A_0 = 0,8343 \pm 0,0002\ \text{nm}$, en la cual parte del Fe se encuentra sustituido por Mg, Al y Cr. La misma aparece en forma de granos irregulares de color negro y brillo semimetálico, y la cromoespinela existente, identificada como cromopicitita, de parámetros de la red $A_0 = 0,830 \pm 0,003\ \text{nm}$, relación $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} = 0,11$; se encuentra en la clase $+37 - 149\ \mu\text{m}$, en granos octaédricos homogéneos y en mayor abundancia granos irregulares homogéneos. No obstante, los concentrados adolecerán de leyes tan elevadas como las alcanzadas durante el beneficio de minerales convencionales.

BIBLIOGRAFIA

Ampliación al estudio de las colas residuales de las plantas niquelíferas "Cde. René Ramos Latour" (Nicaro) y "Cde. Pedro Soto Alba" (Moa), Inf. CENIM, Madrid, 1974.

CRUZ, C.: *Phasenanalyse an eisenhaltigen ruckstanden der kubanischen nickel production*, Dissertation, ZFK, Rossendorf, Adw, DDR, 1981.

DÍAZ, C.: *Investigación por espectroscopía Mossbauer de los minerales niquelíferos cubanos y de algunas transformaciones en su proceso metalúrgico*, Tesis de doctorado, CNIC, C. Habana, Cuba, 1988.

GARCIA, L. y otros: "Utilización del concentrado magnético de Nicaro como materia prima ferrífera en la industria siderúrgica y otras ramas de la economía nacional", *Boletín Siderurgia*, CIS, Nicaro, 1989.

HERRERA, V. y otros: *Caracterización de los productos del proceso de beneficio en cromo a partir de las colas de Nicaro*, Inf. CEADEN, C. Habana, Cuba, 1991.

—: *Caracterización de productos parciales y finales del proceso de beneficio pirometalúrgico de las colas de Nicaro a nivel de laboratorio ampliado*, Inf. CEADEN, C. Habana, Cuba, 1994.

Investigación sobre las características de concentración de una muestra de colas de la planta de níquel de Nicaro para la producción de concentrado de hierro de grado normal, Inf. Inst. Mejano, Leningrado, 1961.

LEYVA, E. y otros: *Contribución al estudio de caracterización de los productos intermedios y finales de la tecnología de obtención de concentrados de cromita a partir de las colas de Nicaro*, Inf. CIS-CENIM, Madrid, España, 1991.

Microscopic examination of product resulting from magnetic separation of Cuba Nicaro Plant Tailing, Inf. Nippon Magnetic dressing Co. Ltd. Japan, 1973.

Study of Nicaro tailing pretreatment procedure, Inf. Nippon Steel Corporation, Japan, 1977.

CUBANIQUEL

Empresa Cubana Exportadora de Minerales
y Metales

Cuban Mineral and Metal
Exporting Enterprise