

# Enriquecimiento de menas grafiticas venezolanas mediante separación electrostática y flotación directa

C. di Yorio<sup>(\*)</sup>, F. García-Carcedo<sup>(\*\*)</sup>, A. Hernández<sup>(\*\*)</sup>, N. Ayala<sup>(\*\*)</sup> y N. Cornejo<sup>(\*\*)</sup>

**Resumen:** El grafito constituye un material muy utilizado en la industria moderna. En Venezuela, se han estudiado algunos depósitos de rocas con contenido de grafito variable entre 8 y 14 %, provenientes del cerro Osumita, Edo Cojedes, con suficientes reservas para considerar una posterior explotación. Se caracterizaron muestras del yacimiento y se realizaron pruebas de concentración electrostática y de flotación directa. Los resultados muestran la importancia de la distribución granulométrica del todo-uno utilizado en la separación electrostática como medida del grado de liberación del grafito a valores menores de 0,5 mm. Igualmente, el grafito responde satisfactoriamente a potenciales superiores a 15 kV. Los ensayos de flotación muestran altas calidades en los concentrados obtenidos para dosis de 0,02 g de queroseno, siendo poco significativo el uso del silicato de sodio como depresante, en las dosis utilizadas. Las calidades del concentrado de grafito fueron mejores para el caso de 1.400 rpm, ya que para mayores revoluciones el flujo de material en la celda es muy turbulento ocasionando arrastre de partículas de sílice en el concentrado flotado.

Palabras clave: **Grafito. Separación de minerales. Concentración.**

## Beneficiation of Venezuelan graphitic ore through electrostatic separation and direct flotation

**Abstract:** Graphite is an useful material in the modern industry. In Venezuela, the ore contains 8 to 14 % of graphite from Cerro Osumita, Edo Cojedes, with enough reserves for exploitation. Samples from this deposit were characterized and tests of electrostatic and flotation were carried out. The electrical potential and velocity of drum were varied for two different size fractions. Kerosene, sodium silicate as depresant and pulp agitation were varied. The results indicate the important of size for the separation. Size below 0.5 mm is necessary. For good quality fixed carbon an electrical potential up to 15 kV and 0.02 g of kerosene is recommended.

Keywords: **Graphite. Minerals separation. Concentration.**

### 1. INTRODUCCIÓN

El grafito es una forma mineral del carbón puro con importantes aplicaciones en la industria debido a sus características físicas y químicas (1). Es un buen conductor del calor y de la electricidad y un buen lubricante, con una gravedad específica de 2,1 a 2,3. Su dureza Mohs está entre 1 y 2. Su uso

en la industria se extiende a crisoles, refractarios, lubricantes, lápices, electrodos, etc. (2 y 3). En la naturaleza, el grafito aparece en dos formas diferentes: cristalino y amorfo. En el tipo cristalino, el cristal que forman los átomos de carbono da lugar a una estructura de tipo hojuelas (Fig. 1). Cada átomo posee tres vecinos inmediatos en un plano dado, produciéndose enlaces fuertes covalentes con una distancia interatómica de 1,42 Å (0,142 nm), y una energía potencial elevada entre los átomos de un mismo plano (para  $a = a_0$ ) (5). Para los átomos ubicados en los planos, la distancia interatómica es de 3,354 Å (0,3354 nm), con enlaces débiles de van der Waals, y una baja energía

\* Dpto. de Metalurgia Química. Escuela de Metalurgia. Fac. de Ingeniería. Univ. Central de Venezuela. (Venezuela)

\*\* Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CENIM (CSIC). Avda. de Gregorio del Amo, 8. 28040-Madrid (España).

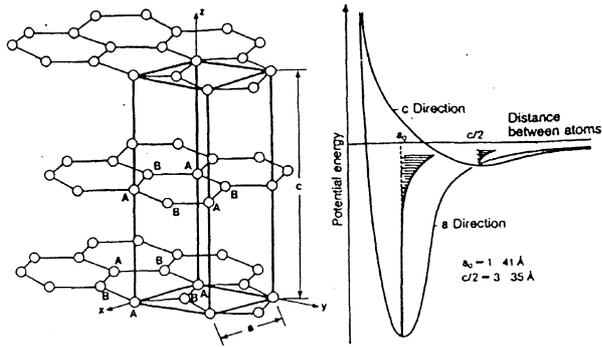


FIG. 1.— Celda unitaria y curva de energía potencial del grafito hexagonal.

Fig. 1.— Unit cell and potential energy curve of hexagonal graphite.

potencial (para  $a = c/2$ ). El grafito natural cristaliza en los sistemas hexagonal y romboédrico, siendo el primero de mayor utilidad tecnológica. La estructura de capas y la amplia variación de energía de los enlaces atómicos con y entre las capas es la principal razón de la marcada anisotropía mostrada en un monocristal de grafito, provocando, por tanto, una alta conductividad eléctrica entre las capas. El enlace C-C dentro de las capas es uno de los más fuertes en la naturaleza, siendo mucho menor entre las capas por las mismas fuerzas débiles de van der Waals. Igualmente, la conductividad térmica es mucho mayor en los enlaces de carbono de las capas (4 W/cm K) (4). El grafito amorfo se presenta principalmente como un producto del metamorfismo térmico de vetas de carbones preexistentes. Es, en general, un tipo de mineral criptocristalino, a veces denominado grafito criptocristalino. Dos alternativas se consideran para beneficiar el grafito debido a su alta conductividad eléctrica y su alta flotabilidad natural, observado por su ángulo de contacto cercano a  $80^\circ$  para valores de pH entre 2 y 8 (Fig. 2). Por otro lado, el grafito presenta valores negativos del potencial zeta para valores de pH mayores de 3 (Fig. 3), y el punto isoeléctrico para su flotabilidad está cercano al valor

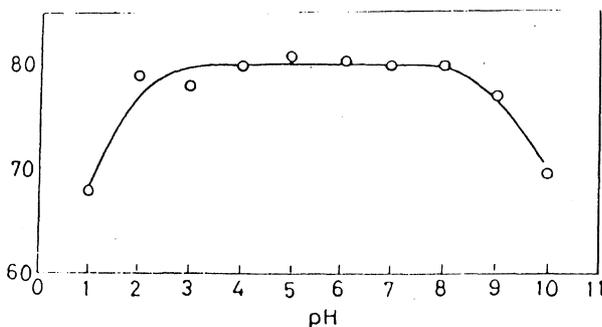


FIG. 2.— Ángulo de contacto sobre el grafito como función del pH.

Fig. 2.— Contact angle on graphite as a function of pH.

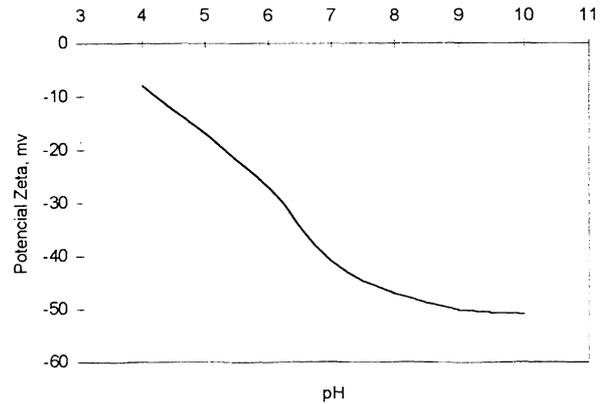


FIG. 3.— Potencial Zeta del grafito como función del pH.

Fig. 3.— Zeta potential of graphite as a function of pH.

de  $\text{pH} = 2$  (5 y 7). En Venezuela, la roca gráfica presenta niveles de grafito variable entre 8 y 14 % (8). En el presente trabajo, se estudia la variación del potencial de campo eléctrico y la velocidad de giro de un equipo de alta tensión y, además, se realizaron pruebas de flotación en celdas convencionales analizando la dosis de colector, y la dosis de depresante para dos velocidades de giro del agitador.

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 2.1. Pruebas electrostáticas

El material se preparó con dos granulometrías diferentes y se introdujo en un equipo Boxmag variando el potencial de campo entre 5 y 25 kV para 100 y 160 rpm del rodillo calentado previamente. Se obtienen tres productos y se determinan los pesos y el porcentaje de carbono fijo.

### 2.2. Flotación convencional

A pH natural, se varía la dosis de queroseno entre 0 y 0,04 g/50 g de mena, depresante entre 0 y 0,04 g/50 g mena, para 1.400 y 1.800 rpm, manteniendo constante el resto de las variables. Posteriormente, las muestras se filtran, secan y pesan para determinar el porcentaje de carbono y la recuperación en todos los productos.

## 3. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

Las muestras analizadas indican que el todouno está compuesto por sílice, grafito, feldespato y pequeñas cantidades de otros minerales. En la figura 4 se muestra un EDX general efectuado al

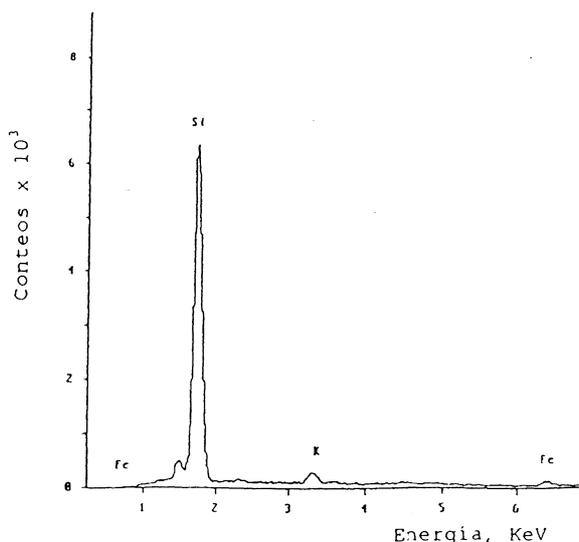


FIG. 4.— Análisis por EDX del todouno de la mena de grafito.

FIG. 4.— EDX analysis from run of mine of graphite ore.

todouno, y en la figura 5 un EDX puntual sobre una partícula de feldespato de tipo potásico. En la figura 6 se muestra el ESCA efectuado sobre el todouno. En la figura 7 se muestra el ESCA efectuado sobre una muestra conductora obtenida de la separación electrostática, observándose gran diferencia en el contenido de carbono y una fuerte disminución en los contenidos de oxígeno, silicio y aluminio. En la figura 8 se muestran los resultados de la separación electrostática, observándose mejores calidades a partir de 10 kV y mayores velocidades de giro del

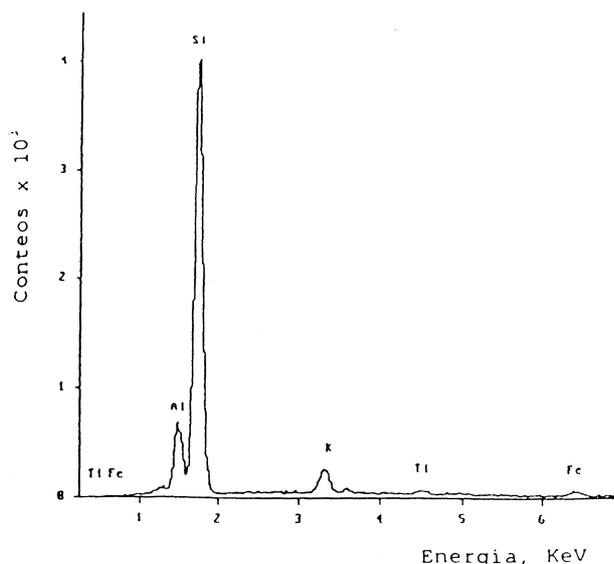


FIG. 5.— Análisis puntual de EDX sobre una partícula de feldespato de una muestra de la mena.

FIG. 5.— Punctual EDX analysis on feldspar particle of graphite ore.

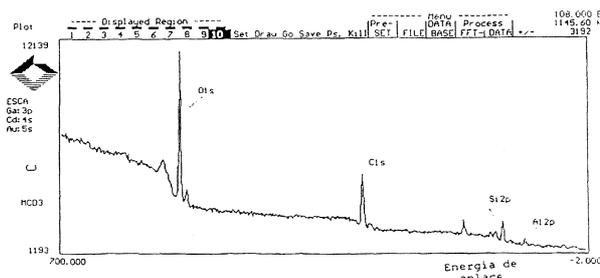


FIG. 6.— Análisis ESCA/XPS del todouno después de la separación electrostática.

FIG. 6.— ESCA/XPS analysis of the run of mine after electrostatic separation.

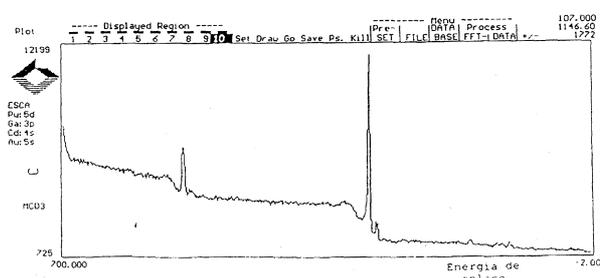


FIG. 7.— Análisis ESCA/XPS del conductor después de la separación electrostática.

FIG. 7.— ESCA/XPS analysis of the conductor after electrostatic separation.

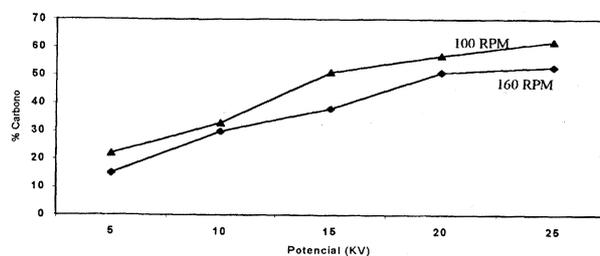


FIG. 8.— Variación del % Carbono fijo en los conductores con el potencial eléctrico para dos velocidades de giro del rotor.

FIG. 8.— Carbon fixed percent variation in conductors vs electric potential in order to two rotor velocities.

rotor. A partir de este voltaje, el grafito responde bien y una mayor revolución del rotor permite una mayor selectividad de separación con los no conductores, y un mayor rechazo de los mixtos, en detrimento de una baja en la recuperación. En la figura 9, se muestra los resultados de la flotación para las variables consideradas, observándose mejoras en la calidad para dosis mayores de 0,02 g de queroseno debido a una mejor distribución en el seno de la pulpa y, por tanto, una mayor adsorción sobre las partículas de grafito, incrementando su

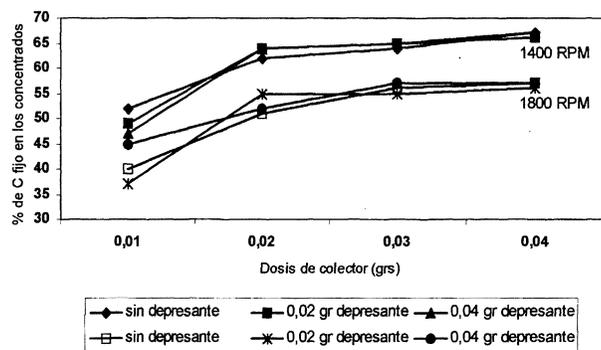


FIG. 9.— Variación del porcentaje de carbono fijo en los concentrados obtenidos vs dosis de colector para dos velocidades de agitación.

FIG. 9.— Carbon fixed percent variation in concentrates obtained vs dosis colector in order to two agitation velocities.

cantidad en la espuma mineralizada. Debido al tamaño de celda utilizado (1.500 cm<sup>3</sup>), una alta agitación de la pulpa tiende a arrastrar partículas de sílice hacia la espuma, contaminándola y disminuyendo la calidad del concentrado. Igualmente se observa en la figura 9 que el silicato de sodio no tiene efecto significativo alguno sobre las partículas de ganga, debido probablemente a las condiciones utilizadas de tiempo de acondicionamiento y agitación de pulpa.

#### 4. CONCLUSIONES

El grafito estudiado debe liberarse a tamaños menores de 0,5 mm para la obtención de una mejor

calidad para las dos vías analizadas. Igualmente se considera que valores superiores a 10 kV y velocidades del rotor superiores a 100 rpm son suficientes para aumentar el porcentaje de carbono fijo en los concentrados. Igualmente se incrementa la calidad de la espuma con revoluciones cercanas a 1.400 rpm, dosis de queroseno de 0,02 g/50 g de mena. El silicato de sodio en las condiciones ensayadas no ejerció efecto significativo alguno en la flotación directa del grafito.

#### Agradecimiento

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela su apoyo para la realización de este trabajo.

#### REFERENCIAS

- (1) HÁND, G. GRAPHITE. *Ind. Miner.* Mar. 1996: 69-72
- (2) BOLGER, R. *Ind. Miner.*, Nov. 1997:29-37
- (3) HAND, G. *Mining Eng.* Feb. 1997:34-36.
- (4) GARDINIER, C. *Ceram. Bull.* 67 (6), 1988: 1.006-1.009.
- (5) ANDREWS, P. *Ind. Miner.* May. 1992: 76-83.
- (6) WAKAMATSU, T. y NUMATI, Y. *Miner. Eng.*, 4 (7-11), 1991: 975-982.
- (7) ACHARYA, B. y RAO, D. *Miner. Eng.*, 9 (11), 1996: 1.165-1.169.
- (8) MARTIZ, M. y DI YORIO, C. II Jorn. de Investigación en Metalurgia. Esc. de Metalurgia. Univ. Central de Venezuela. Nov. 1997.