

DISTRIBUCIÓN FRACCIONAL DE LAS ARENAS DEL PLACER LATERAL MARINO DE PLAYA MEJÍAS

Fractional distribution of the placer black sands from Mejías Beach

Beatriz Ramírez Serrano
Alfredo L. Coello Velázquez
Roberto Díaz Martínez

E-mail: bramirez@ismm.edu.cu
Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa

RESUMEN

Se realiza un estudio de la distribución fraccional másica y de contenido de los valores metálicos de las arenas negras del placer Mejías, utilizando como propiedades de separación el tamaño de las partículas y la intensidad del campo magnético. Se obtienen los modelos que describen el comportamiento de distribución de los principales elementos contenidos en el placer, mediante las funciones, $\gamma(l)$, $\bar{\gamma}(l)$ y $\bar{\gamma}(l, I)$, $\beta(l)$, $\beta(I)$ y $\beta(l, I)$.

PALABRAS CLAVE: Placer Mejías, arenas negras, ilmenita, distribución fraccional.

ABSTRACT

In this work, a study of the fractional distribution of mass and content of the metal value presented in the black sands of the placer Mejías is done. The particle size and magnetic field intensity was using as separation properties. The models that describe the distribution behaviour of the principal elements presented in this placer were obtained with the function, $\gamma(l)$, $\bar{\gamma}(l)$ and $\bar{\gamma}(l, I)$, $\beta(l)$, $\beta(I)$ and $\beta(l, I)$.

KEY WORDS: Mejías placer, black sands, ilmenite, fractional distribution.

INTRODUCCIÓN

El placer de la playa Mejías constituye el primer ejemplo de placer lateral marino descubierto en el nordeste de Cuba (Kulachkov y otros, 1990). Está situado al este de la desembocadura del río Sagua de Tánamo y es el más importante del país; su composición mineral principal (magnetita, cromita, rutilo, ilmenita y ortopiroxeno) revela como fuente de aporte las rocas ofiolíticas de la faja Mayarí-Baracoa (Díaz Martínez y otros, 1998).

Como resultado de las investigaciones en el placer Mejías, se revela la existencia de minerales portadores de elementos valiosos como el titanio, vanadio, circonio, hierro, cromo, entre otros. Estudios realizados por Díaz (1995) indican el predominio de los granos finos y la presencia de magnetita (22,36 %), ilmenita (13,74 %), cromita (8,66 %), piroxenos (15,6 %), epidota (10,3 %), que pronostican la existencia de más de 130 000 t de minerales.

Según Díaz (1996), las fases de ilmenita y cromita se concentran en la fracción granulométrica (-0,2 + 0,1) mm, y el cromo y el titanio de las fracciones electromagnéticas están asociados a las espinelas cromíferas y a la ilmenita, respectivamente. No obstante, se ha observado que el titanio y el cromo se distribuyen en todo el rango de intensidades de corriente y tamaño de partícula (Ramírez y Coello, 2002; Ramírez, 2003).

La presencia de ilmenita y cromita en el rango de 0,1–1 A es reportada por Díaz y otros (1998) para la clase granulométrica (-0,2+0,08) mm. Los estudios realizados por Díaz (1995 – 1998) se limitan al análisis de las clases (-0,2 + 0,1) mm y (-0,2+0,08) mm, lo que no ofrece la información completa sobre la distribución de las especies valiosas en todo el espectro.

Los trabajos de Ramírez y Coello (2002) demuestran la factibilidad de obtención de concentrados de magnetita con contenidos de hierro superiores a 60 % a partir de las arenas negras de Mejías, y reportan, además, que el titanio y el hierro siguen una misma regularidad: su contenido disminuye con el aumento de la intensidad de campo y del tamaño del grano mineral. La sílice y el aluminio, como regla, aumentan con el incremento de la intensidad del campo magnético. En este trabajo se estudió la distribución fraccional másica y de contenido, mediante teoría de separación del profesor Tijonov.

En investigaciones precedentes se establecieron los modelos de las funciones de distribución diferencial másica y de contenido que reflejan el comportamiento de los óxidos de hierro, cromo, titanio, vanadio, aluminio y silicio de las arenas negras del placer Mejías (Ramírez, 2003). Como propiedades de separación en estos modelos se utilizaron el tamaño de la partícula, la intensidad del campo magnético y la combinación de ambos. Esto último es indicativo de la necesidad de evaluar otras propiedades de separación, considerando que con las propiedades estudiadas no se logra separar algunas fases, tales como la ilmenita y la cromita; es decir, el conocimiento que existe sobre este placer aún es insuficiente y no permite el diseño de esquemas para la obtención de concentrados.

Sin embargo, los estudios realizados presuponen factible la beneficiabilidad de los minerales del depósito multiminerar y multicomponente de arenas negras Mejías para obtener concentrados minerales. De acuerdo con Puchol y otros (2001) es posible obtener a partir de estas arenas una ferroaleación multicomponente con contenidos apreciables de V (1,20 %) y Ti (3,6 %).

De alguna manera, el clasismo está presente en las investigaciones anteriormente referidas, lo cual no permite tener una visión clara sobre el comportamiento de la distribución de los valores metálicos en el placer.

El enfoque clásico en la investigación de la beneficiabilidad de los minerales: curva de beneficiabilidad y contraste de propiedades físicas, físico-químicas u

otras, no brinda toda la información necesaria para el pronóstico y diseño tecnológico en el tratamiento de menas complejas (Coello y otros, 1998). Esto se fundamenta en el hecho de que el uso del índice de contraste, la desviación ponderada relativa del contenido del componente útil y la desviación media probable (I, E_p), como parámetros para medir el grado de beneficiabilidad, pueden conducir a errores, pues menas con distintos grados de beneficiabilidad $\gamma(\xi)$ y $\beta(\xi)$ pueden tener igual índice de contraste.

Además, la desviación media probable por lo general no se usa para la evaluación de la eficiencia de operaciones unitarias, como las mesas de concentración, canales helicoidales, separadores cónicos, entre otros, debido a la gran cantidad de variables operacionales que pueden afectar la eficiencia de la separación (Wills, 1992). En ambos casos no se ofrece información sobre las características de la materia prima mineral o producto de la separación.

En cuanto a las curvas de beneficiabilidad, si bien ellas constituyen una vía eficiente para la evaluación de la separación de menas cuyos minerales se diferencian en una sola propiedad física ξ ; densidad ρ , susceptibilidad magnética χ y otras, cuando se trabaja con materiales multiminerarales y multicomponentes resulta en extremo complejo. Tijonov demostró matemáticamente la posibilidad de cálculo de los parámetros de estas curvas a partir de las funciones de distribución diferencial másica y de contenido $\gamma(\xi)$ y $\beta(\xi)$ (Tijonov, 1984).

Según Coello y otros (1998), al trabajar con menas complejas es necesario tener en cuenta que:

- Las partículas minerales se diferencian no por una propiedad física, sino por varias, lo cual implica el uso de distintos métodos de beneficio.
- Las partículas minerales son portadoras no sólo de un mineral útil, sino de varios componentes útiles.

Las funciones de distribución diferencial másica y de contenido, $\gamma(\xi)$ y $\beta(\xi)$, respectivamente, son un medio sencillo, necesario y suficiente para la caracterización de cualquier materia prima mineral o producto; por tanto, coincidimos con estos investigadores en que cualquier otro método es insuficiente o excesivamente complicado.

Este trabajo tiene como objetivo caracterizar físicamente el placer Mejías mediante la determinación de las funciones de distribución másica $\gamma(\xi)$ y de contenido $\beta(\xi)$, en función de las propiedades de separación/tamaño de la partícula, intensidad de corriente y la combinación de ambas para la preconcentración mecánica de las arenas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La muestra inicial se tomó del placer Mejías por el método de puntos en toda la parte frontal del placer, conformando un total de 80 kg. Fue sometida a una rigurosa homogeneización y cuarteo mediante el método del anillo y el cono.

Se realizó un análisis granulométrico por vía seco-húmeda, seleccionando un juego de tamices basados en la serie de Taylor $\sqrt[4]{2}$ y en los trabajos realizados por Coello y Díaz, y se utilizaron los tamices siguientes (0,5; 0,4; 0,315; 0,25; 0,21, y 0,125) mm.

La fracción fuertemente magnética fue separada de la muestra inicial con ayuda del imán permanente, y la no magnética fue sometida al análisis fraccional magnético, tanto en su totalidad como dividida en clases de tamaño. Las intensidades de corriente (0,5; 1,5, y 3 A) fueron seleccionadas de acuerdo con Ramírez y Coello (2002) y Díaz (1996).

Para la determinación de la composición química se utilizó la técnica de ICP (Inductively Coupled Plasma), de la firma francesa Jobin Yvon, modelo JY 124 Secuencial. En la obtención de los modelos se empleó la teoría de separación de Tizonov con adecuaciones de la matemática estadística.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra los resultados de los análisis químicos de los óxidos objeto de estudio en la muestra inicial.

Función de distribución másica según el tamaño de las partículas

Los resultados del análisis granulométrico se pueden apreciar por medio de la distribución másica $\gamma(\ell)$ en la tabla 2, teniendo en cuenta en este caso como propiedad de separación el tamaño de las partículas.

Se verifica el incremento del valor de la distribución másica con la disminución del tamaño de la partícula, aclarando que para la fracción (-0,125 + 0) mm éste disminuye de forma brusca. Un aspecto importante es el predominio de los granos finos, menores de 0,21 mm, que representan el 89 % aproximadamente, dentro de ésta desempeña un papel significativo la fracción (-0,21 + 0,125) mm con el 53 %.

El modelo que describe la función de distribución másica, $\bar{\gamma}(l)$, tomando como propiedad de separación el tamaño de la partícula, es el siguiente:

$$\bar{\gamma}_i(l) = \int_{0mm}^{0.5mm} (-0.23 + 0.11(l-0.15)^2 + 0.016) dl \quad (1)$$

Función de distribución de contenido según el tamaño de las partículas

La tabla 3 muestra la distribución por contenido de los elementos estudiados, utilizando como propiedad de separación el tamaño de la partícula.

A juzgar por los resultados de la tabla 3 existe una tendencia similar con respecto a los óxidos de hierro, vanadio y el titanio hacia al enriquecimiento de las fracciones más finas, que alcanzan sus valores más significativos: 54,76 %; 0,70 %, y 14,85 %, respectivamente, en la fracción (-0,125 + 0) mm; el óxido de cromo, aunque presenta un comportamiento similar, o sea, al enriquecimiento de las fracciones más finas a partir de la fracción (-0,25 + 0,21) mm, tiende a mantenerse de manera bastante estable, alrededor del 2 al 14 %.

En el caso de la sílice, ésta se concentra en las fracciones más gruesas, disminuyendo su contenido en la medida que decrece el tamaño de la clase granulométrica desde el 42 % a un 7 %, aproximadamente.

El óxido de aluminio se presenta de forma bastante homogénea en todo el espectro granulométrico, aunque manifiesta una ligera tendencia a disminuir su contenido en las fracciones más finas.

Las ecuaciones de la 2 a la 7 reflejan los modelos matemáticos que describen las funciones de distribución de contenido $\beta(l)$ para los elementos objeto de estudio, teniendo en cuenta como propiedad de separación el tamaño de la partícula.

$$\beta \text{Fe}_3\text{O}_4 = 85,81e^{-5,02l} \quad (2)$$

$$\beta \text{V}_2\text{O}_5 = 1,21e^{-6,86l} \quad (3)$$

$$\beta \text{TiO}_2 = 27,75e^{-681l} \quad (4)$$

$$\beta \text{Cr}_2\text{O}_3 = -5,28 + \frac{3,29}{4}(l - 0,13)^2 + 0,16 \quad (5)$$

$$\beta \text{SiO}_2 = 101,9l^{0,95} \quad (6)$$

$$\beta \text{Al}_2\text{O}_3 = -87,58l^2 + 53,14l + 4,43 \quad (7)$$

Función de distribución másica según la intensidad del campo magnético

En la figura 1 se manifiesta el predominio de la fracción fuertemente magnética obtenida al utilizar un imán permanente que se corresponde con una intensidad de campo magnético de 80 a 120 kA/m, este resultado corrobora los reportes realizados por Díaz (1996) sobre la composición mineralógica del placer, donde la magnetita representa el 22,36 % del mismo. Se destacan, además, las fracciones fuertemente magnéticas obtenidas con intensidad de corriente de 0,5 y 1,5 A.

En la Tabla 4 aparece reflejada la distribución másica $\gamma(I)$, utilizando como variable de separación la intensidad de corriente.

Como se observa, la distribución másica $\gamma(I)$, empleando como variable la intensidad de corriente, manifiesta una tendencia a disminuir con el incremento de la intensidad de corriente; se verifica el predominio de las fracciones para intensidades de corriente de 0,5 A y 1,5 A.

A continuación se expone el modelo en la ecuación no. 8, que describe la función de distribución $\bar{\gamma}_i(I)$ que caracteriza la mena tomando como propiedad de separación la intensidad de corriente aplicada al separador magnético.

$$\bar{\gamma}_i(I) = \frac{3A}{0A} \int (-0.42 \ln(I) + 0.37) dI \quad (8)$$

Función de distribución de contenido según la intensidad de corriente

En la tabla 5 aparece tabulada la distribución de contenido para los diferentes elementos, utilizando la intensidad de corriente como propiedad de separación.

De igual forma que cuando se analiza la distribución por el tamaño de la partícula, los óxidos de hierro, vanadio y titanio tienen igual comportamiento en su distribución por intensidades de corriente; el enriquecimiento ocurre hacia las fracciones fuertemente magnéticas obtenidas al utilizar un imán permanente y aplicando intensidades de corriente de 0,5 A, esto está en plena correspondencia con los planteamientos de Díaz (1996), pues en la fracción fuertemente magnética se concentran minerales tales como la magnetita y la titanomagnetita; en esta última, en ocasiones aparece la sustitución isomorfa del titanio por el vanadio, lo cual da lugar a la maghemita, fase que se considera debe ser la portadora de vanadio.

La fracción fuertemente magnética constituye casi un concentrado de hierro.

Es preciso señalar que en el caso del óxido de titanio el enriquecimiento en la fracción de intensidad 0,5 A es más acentuado, esto se supone que ocurra debido a la presencia mayoritaria de la ilmenita; el óxido de cromo presenta igual regularidad que el titanio, aunque sus contenidos generalmente son superiores.

El óxido de silicio se concentra hacia las fracciones débilmente magnéticas y se incrementa del 5 al 46 % con respecto a la fracción fuertemente magnética.

El óxido de aluminio presenta una distribución bastante homogénea, entre el 11 % y 16 %, y manifiesta una disminución en las fracciones fuertemente magnéticas.

Los modelos matemáticos que describen la función de distribución de contenido $\beta(I)$ para cada elemento, teniendo en cuenta como propiedad la intensidad de corriente, se relacionan a continuación en las ecuaciones de la 9 a la 14.

$$\beta \text{Fe}_3\text{O}_4 = 32,62e^{-0,45I} \quad (9)$$

$$\beta \text{V}_2\text{O}_5 = -0,11 \ln(I) + 0,18 \quad (10)$$

$$\beta \text{TiO}_2 = 3,88I^{-0,93} \quad (11)$$

$$\beta \text{Cr}_2\text{O}_3 = 8,18 + 16,11e^{-\frac{(I-0,54)^2}{1,34}} \quad (12)$$

$$\beta \text{SiO}_2 = 13,09I + 13,79 \quad (13)$$

$$\beta \text{Al}_2\text{O}_3 = 12,51 + 5,51e^{-\frac{(I-1,58)^2}{0,92}} \quad (14)$$

Función de distribución másica según la intensidad del campo magnético por clases de tamaño

En la tabla 6 se aprecia la tendencia al incremento de las salidas con la disminución del tamaño de la clase granulométrica y la intensidad del campo magnético, y se reportan los valores más significativos para las fracciones fuertemente magnéticas y las obtenidas para intensidad de corriente de 0,5A con 16,98 % y 16,36 %, respectivamente, atendiendo a la muestra total.

Es necesario destacar el hecho de que sólo en las clases (-0,21 + 0,125) mm y (-0,125 + 0) mm, la salida correspondiente a la fracción fuertemente magnética es mayor con respecto a las fracciones electromagnéticas. En las demás clases de tamaño se muestra un incremento de la salida con la disminución de la intensidad de corriente y luego una disminución brusca en la fracción fuertemente magnética.

A la fracción (-0,5 + 0,4) mm no se le realizó el análisis fraccional magnético, debido a que ella representa sólo el 0,59 % de la muestra total.

La función de distribución diferencial $\gamma(\ell, I)$ por el tamaño de partícula y la intensidad de corriente, sigue una tendencia regular como se muestra en la tabla 7.

Este comportamiento es similar a la distribución diferencial másica $\gamma(\ell)$ y $\gamma(I)$ por una sola propiedad de separación (tamaño de la partícula e intensidad de corriente), lo cual demuestra que la distribución másica $\gamma(\ell, I)$ de los minerales en intervalos de intensidades de corriente no es homogénea en el

espectro granulométrico, a causa de que existe una tendencia hacia su concentración con la disminución del tamaño de la partícula y luego una disminución brusca para la fracción (-0,125 +0) mm.

En la ecuación 15 se reflejan los resultados de la función de distribución diferencial $\bar{\gamma}_i(\ell, I)$, descritos por el modelo siguiente:

$$\bar{\gamma}_i(\ell, I) = \int_{0mm}^{0.5mm} \int_{0A}^{3A} (e^{-2.45 + 25.38I - 71.71I^2 - 0.51I^2 + 4.82I}) d\ell dI \quad (15)$$

Función de distribución de contenido según la intensidad de corriente (I) y el tamaño de la partícula (ℓ)

Como se describe en la figura 2 la distribución de contenido $\beta(\ell, I)$, al combinar las propiedades de separación intensidad de corriente y tamaño de la partícula para el óxido de hierro, sigue una regularidad definida; se observa una tendencia al enriquecimiento en las fracciones fuertemente magnéticas y hacia las clases de tamaño más pequeñas, que alcanzan valores de hasta 87 %. Nótese que este valor se corresponde con un 61 % de hierro metálico, por lo tanto puede ser considerado un concentrado de hierro; se puede apreciar, además, su predominio en la fracción fuertemente magnética obtenida con imán permanente para todas las clases de tamaño. El incremento de la intensidad del campo magnético da lugar a su empobrecimiento, en la fracción débilmente electromagnética su valor no excede el 5 %.

En la figura 3 se observa que en el caso del óxido de vanadio la función $\beta(\ell, I)$ manifiesta una regularidad similar al óxido de hierro, su valor máximo es de 0,90 % en la fracción fuertemente magnética obtenida al utilizar un imán permanente para las partículas de 0,062 mm, o sea, para la clase de tamaño (-0,125 + 0) mm, aunque es preciso destacar que es en esta fracción donde se alcanza su mayor concentración para todos los tamaños de partícula, empobreciéndose con la disminución de la intensidad de corriente aplicada al separador magnético y con el incremento del tamaño de la partícula.

El comportamiento del óxido de titanio, reflejado en la figura 4, nos indica que éste se enriquece con la disminución del tamaño de las partículas y de la intensidad de corriente, y que alcanza su valor más significativo de 24,46 % al aplicar 0,25 A como valor promedio de la clase de intensidad de corriente (0-0,5)A, para las partícula de 0,062 mm, por lo que éste constituye más del doble de su valor en la muestra inicial 10,32 %. Es necesario destacar que este comportamiento se manifiesta en el mayor porcentaje del espectro granulométrico, o sea, para las partí-

culas menores de 0,27 mm, incluso los valores de contenido para esta intensidad de corriente son superiores a los obtenidos en la fracción fuertemente magnética utilizando un imán permanente. Nótese que las partículas menores de 0,25 mm constituyen aproximadamente el 90 % del placer.

En la figura 5, al combinar las propiedades de separación/tamaño de la partícula e intensidad de corriente, se pudo observar que el óxido de cromo tiende a aumentar hacia las fracciones más finas y en las fuertemente magnéticas obtenidas a 0,25; 1, y 2,25A (valores promedio de intensidad de corriente). El óxido de cromo alcanza su máximo valor (28,2 %) para intensidad de 1A y tamaño de partícula 0,062 mm.

A diferencia de los óxidos de hierro, vanadio y titanio, en la fracción fuertemente magnética obtenida con el imán permanente, el óxido de cromo se concentra hacia las partículas de mayor tamaño, aunque su contenido no supera el 9 %.

Para los óxidos analizados, en todos los casos, sus contenidos en la fracción débilmente magnética no superan el 5 %.

De forma contraria, la distribución de contenido $\beta(\ell, I)$ de la sílice, como se observa en la figura 6, presenta una tendencia a su enriquecimiento con el aumento de la intensidad de corriente aplicada, o sea, hacia las fracciones débilmente magnéticas y con el incremento del tamaño de la partícula, sus valores mínimos se pueden apreciar en todo el espectro granulométrico para la fracción fuertemente magnética obtenida al utilizar el imán permanente.

Como se observa en la figura 7, la distribución de contenido $\beta(\ell, I)$ del óxido de aluminio en el placer se realiza de forma bastante homogénea en todo el espectro granulométrico, y oscila entre el 8 y el 16 % para todas las clases de intensidad de corriente aplicadas al separador magnético, incluyendo la fracción débilmente magnética.

Es necesario aclarar que para la fracción fuertemente magnética obtenida con el imán permanente, se verifica una disminución.

A continuación, en las ecuaciones de la 16 a la 21 se relacionan los modelos estadísticos que describen las funciones de distribución de contenido $\beta(\ell, I)$ para los óxidos objeto de estudio.

$$\beta(\ell, I) \text{Fe}_3\text{O}_4 = 50,05 - 98,61I - 15,11I + 33,65I \quad (16)$$

$$\beta(\ell, I) \text{V}_2\text{O}_5 = 0,58 - 0,16I - 1,14I + 0,40I^2 \quad (17)$$

$$\beta(\ell, I) \text{TiO}_2 = 29,88 - 58,61I - 23,95I + 20,10I + 5,82I^2 \quad (18)$$

$$\beta(\ell, I) \text{Cr}_2\text{O}_3 = 31,38 - 66,99I - 4,23I \quad (19)$$

$$\beta(\ell, I) \text{SiO}_2 = 7,47 + 195,03I + 11,381 \quad (20)$$

$$\beta(\ell, I) \text{Al}_2\text{O}_3 = 3,35 + 69,46I + 13,47I - 43,55I - 119,95I^2 - 3,00I^2 + 31,72I^2 \quad (21)$$

Para la obtención de los modelos se trabajó con un coeficiente de correlación múltiple superior a 0,95, y cuando se combinan las dos propiedades de separación, con 0,90; para todos los casos se garantiza la confiabilidad y reproducibilidad de los modelos, pues el valor crítico de Fisher para una confiabilidad del 95 y 90 % respectivamente, es menor que 0,05, es decir, que el valor de Fisher calculado es mayor que el tabulado.

CONCLUSIONES

1. En el placer de playa Mejías los óxidos de hierro, vanadio, cromo y titanio se concentran en las fracciones menores de 0,21 mm, que constituyen el 78 % con respecto a la muestra inicial, así como en las fracciones fuertemente magnéticas obtenidas tanto con imán permanente (33 %) como con el separador magnético aplicando 0,5 A de intensidad de corriente (32 %).
2. Al combinar las propiedades de separación, tamaño de la partícula e intensidad de corriente se obtuvo un concentrado de hierro enriquecido en vanadio en la clase de tamaño (-0,125 + 0) mm, con un tamaño promedio de las partículas de 0,0625 mm, al utilizar el imán permanente. Los óxidos de titanio y cromo se concentran en las partículas menores de 0,1675 mm para intensidad de corriente de 0,5 A.
3. Los modelos de las funciones de distribución diferencial másica ($\bar{v}(I)$, $\bar{v}(I)$ y $\bar{v}(I, I)$), y de contenido ($\beta(I)$, $\beta(I)$ y $\beta(I, I)$), tomando como propiedades el tamaño de la partícula, la intensidad de corriente y la combinación de éstas, reflejan el comportamiento de los óxidos de hierro, cromo, titanio, vanadio, aluminio y silicio de las arenas negras del placer aluvial de la playa Mejías.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Dirección de Ciencia y Técnica del Ministerio de Educación Superior, por el apoyo financiero brindado al proyecto No. 04.22.2; al Dr. Roberto Díaz, por su ayuda en la toma de muestras y el acceso a sus materiales, y al Dr. Rafael Quintana Puchol, por animarnos en nuestro empeño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMAGUER T., R. (1992): *Presente y futuro de las rocas y minerales industriales*. Memoria. Encuentro Hispano-Mexicano sobre Geología y Minería, Editorial Ingeniería, México, pp. 57-68.
- COELLO, V. A., P. BEYRIS, A. HERNÁNDEZ, B. RAMÍREZ (1998): "Distribución fraccional de los valores metálicos en el escombros laterítico", *Minería y Geología*, XV (1):37 - 42.
- DÍAZ M., R., J. BATISTA, J. BLANCO, R. GONZÁLEZ (1997): "Caracterización geológica del placer Mejías mediante el estudio fotogeológico y la interpretación de anomalías magnéticas", *Minería y Geología* (1): 13 - 17.
- DÍAZ M., R., A. PROENZA, O. COMAS FERNÁNDEZ- BELLON, M. FABRA, O. GUINART, C. MELGAREJO (1998): "El placer lateral de la Mejías (noreste de Cuba oriental): Un ejemplo de interacción de procesos aluviales y marinos en la concentración de minerales preciosos", *Acta Geológica Hispánica*, 33 (1-4):351-371.
- DÍAZ, R. *et al.* (1995): "Sobre la existencia de placeres laterales en el noreste de Cuba oriental", *Minería y Geología*, XII (3):39 - 41.
- DÍAZ, R. (1995): "Caracterización geoquímica y mineralógica de los concentrados pesados de la cuenca hidrográfica del río Yamanigüey", Primer taller internacional de la geología de Cuba, el golfo de México y el Caribe noroccidental, Universidad de Pinar del Río.
- (1996): "Particularidades de distribución de oro, platinoides y otros minerales pesados en los placeres laterales del noreste de Cuba Oriental y su evaluación perspectiva". Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geológicas, Departamento de Geología, ISMM.
- KULACHKOV, L., R. DÍAZ, Y A. RODRÍGUEZ (1989): "Reconocimiento y evaluación pronóstico sobre la concentración de minerales pesados de los placeres laterales en las cercanías del macizo ofiolítico Mayarí-Baracoa", *Revista Científico Técnica Saint Petersburg*, t. I, 37:90-97.
- MORALES A., R., R. RODRÍGUEZ (1988): "Caracterización de la fracción pesada en la región Moa-Baracoa y su vinculación con la mineralización endógena", Trabajo presentado en el Primer Congreso de Geología, octubre 1988.
- PUCHOL, R., L. PERDOMO, A. CRUZ, L. GÓMEZ (2001): "Las arenas negras de Mejías: Nueva fuente para la obtención de consumibles para la soldadura por arco eléctrico", *Minería y Geología*, XVIII (2): 72-84.
- RAMAYO, L. (1996): "Mineralogía y geoquímica de los flujos mecánicos de dispersión en la región de Moa", Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencias Geológicas, Departamento de Geología, ISMM.
- RAMÍREZ B., S. (2003): "Estudio de la distribución fraccional de las arenas del placer aluvial de la playa de Mejías", Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencias en Beneficio de Minerales, Departamento de Metalurgia, ISMM.
- RAMÍREZ B., S., A. COELLO V. (2002): *Estudio preliminar de la distribución másica y de contenido de las arenas negras del placer Mejías*, Cinarem 2002, ISBN- 959-16-0158-1.
- RODRÍGUEZ, F. R. (2000): "Estudio petrológico de las rocas ofiolíticas de la zona de Cayo Grande en el macizo Moa-Baracoa". Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencias Geológicas, Departamento de Geología, ISMM.
- TIJONOV, O. N. (1984): *Zakonomiernosti effektivnovo razdelenia mineralov v protsessaj obogashenia polieznij oscopaemij*, Nedra, Moskva.
- WILLS, B. (1992): *Minerals processing technology*, 5ta. edition, Pergamon Press, Oxford. N.Y., Seonl. Tokio.

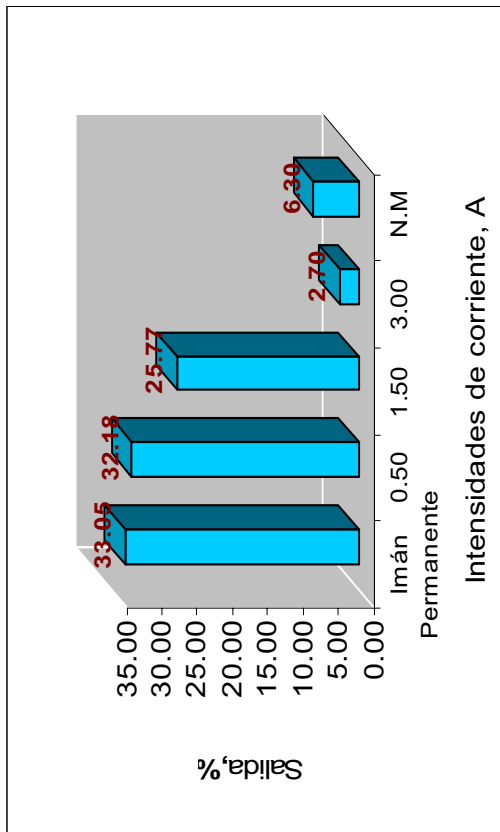


Figura 1. Gráfico de salida por clases de intensidad de corriente.

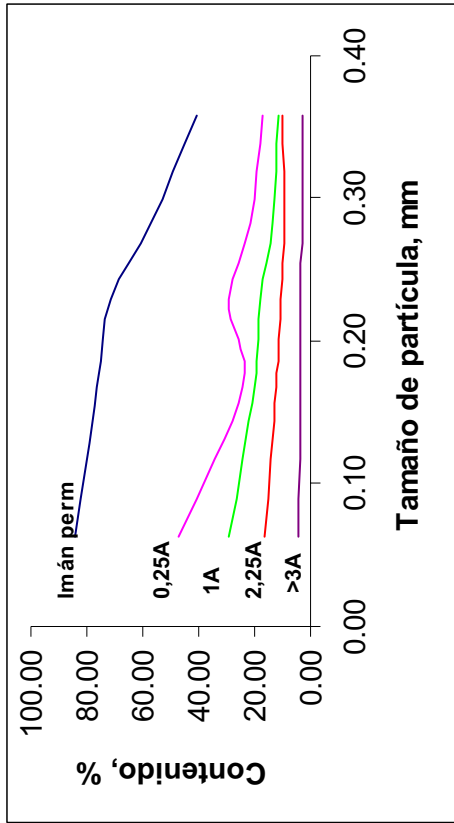


Figura 2. Distribución de contenido $\beta(\ell, I)$ del Fe_3O_4 al combinar las propiedades de separación intensidad de corriente (I) y el tamaño de la partícula (ℓ).

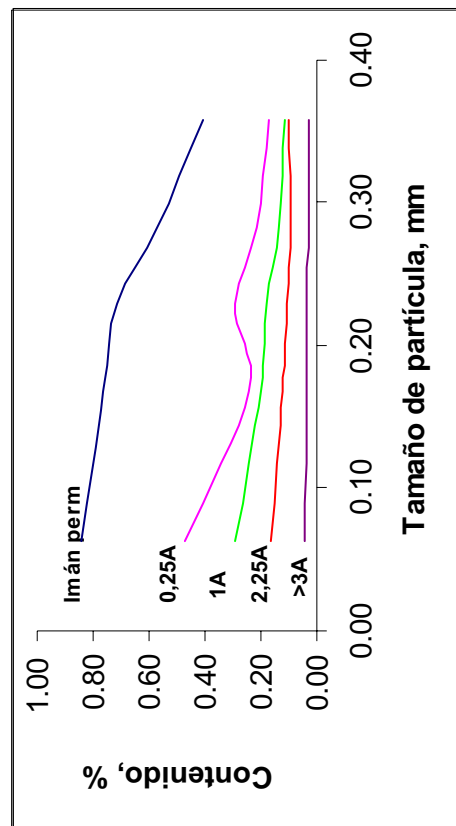


Figura 3. Distribución de contenido $\beta(\ell, I)$ del V_2O_5 al combinar las propiedades de separación intensidad de corriente (I) y el tamaño de la partícula (ℓ).

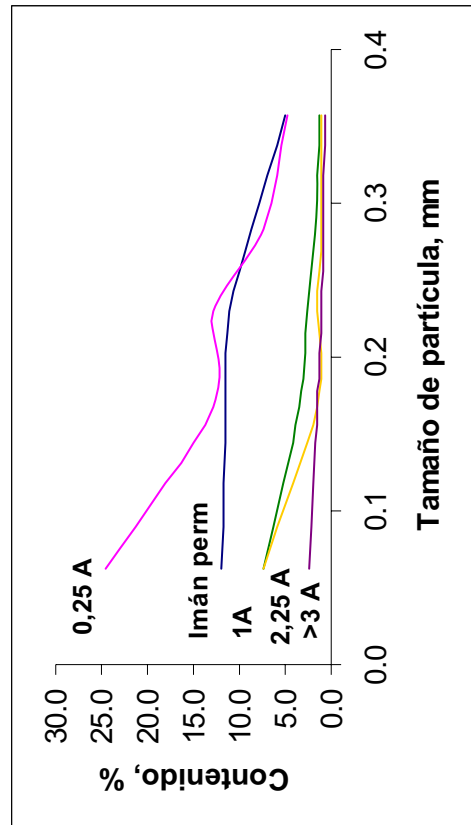


Figura 4. Distribución de contenido $\beta(\ell, I)$ del TiO_2 al combinar las propiedades de separación intensidad de corriente (I) y el tamaño de la partícula (ℓ).

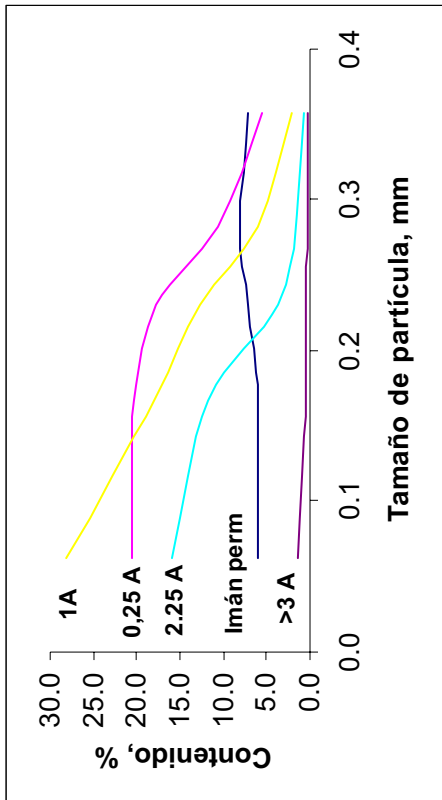


Figura 5. Distribución de contenido $\beta(\ell, l)$ del Cr_2O_3 al combinar las propiedades de separación intensidad de corriente (I) y el tamaño de la partícula (ℓ).

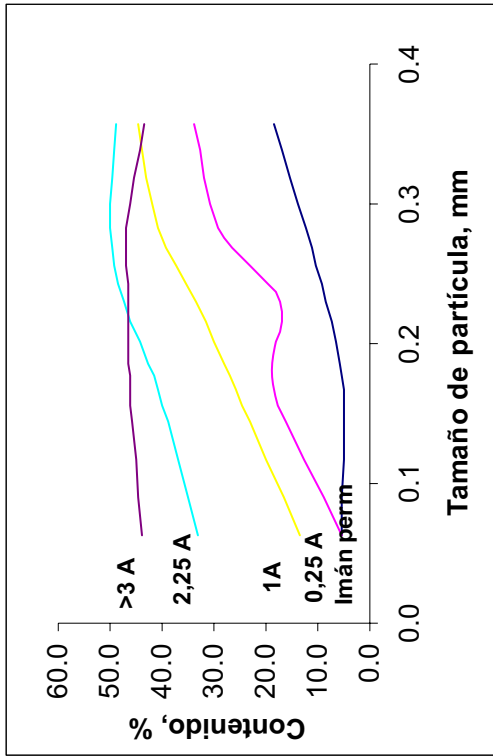


Figura 6. Distribución de contenido $\beta(\ell, l)$ del SiO_2 al combinar las propiedades de separación intensidad de corriente (I) y el tamaño de la partícula (ℓ).

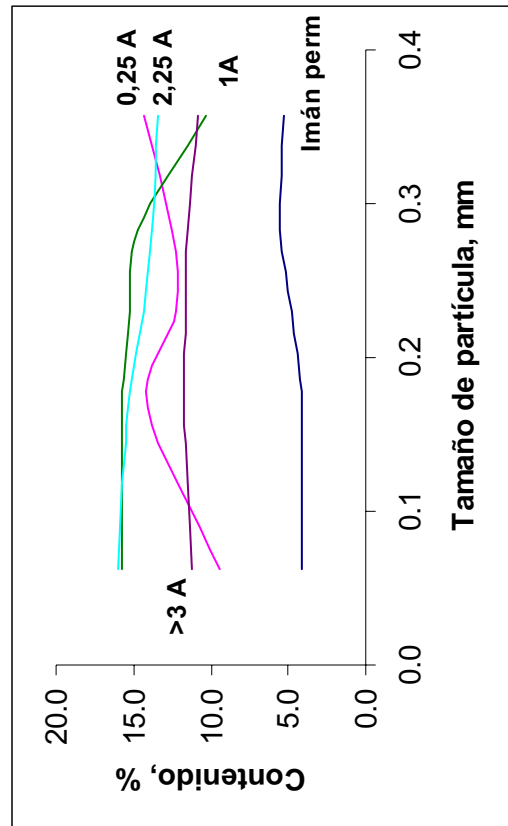


Figura 7. Distribución de contenido $\beta(\ell, l)$ del Al_2O_3 al combinar las propiedades de separación intensidad de corriente (I) y el tamaño de la partícula (ℓ).

TABLA 1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MUESTRA INICIAL (β)

Contenido de los elementos, %					
Fe ₃ O ₄	V ₂ O ₅	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃
39,64	0,45	10,32	11,44	14,53	9,34

TABLA 2. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA DISTRIBUCIÓN MÁSCICA POR EL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA γ (ℓ)

Clases de tamaño, mm	Tamaño de partícula, ℓ , mm	Magnitud del intervalo de clase, $\Delta\ell$, mm	Distribución máscica, γ (ℓ), 1/mm	γ (ℓ). $\Delta\ell$	Salida, γ (ℓ), %
-0,5 +0,4	0,450	0,100	0,066	0,006	0,66
-0,4 +0,315	0,357	0,085	0,350	0,029	2,98
-0,315 +0,25	0,282	0,065	1,226	0,079	7,97
-0,25 +0,21	0,230	0,040	2,570	0,102	10,28
-0,21 +0,125	0,167	0,085	6,234	0,529	52,99
-0,125 +0	0,062	0,125	2,009	0,251	25,12

TABLA 3. DISTRIBUCIÓN POR CONTENIDO POR EL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA. β (l), %

Clases de tamaño, mm	Tamaño de partícula, ℓ , mm	Contenido, %					
		Fe ₃ O ₄	V ₂ O ₅	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃
-0,5 +0,4	0,45	9,88	0,05	1,02	0,89	42,31	10,92
-0,4 -0,315	0,357	13,02	0,10	2,59	3,13	39,84	11,98
-0,315 +0,25	0,282	19,28	0,18	4,73	7,12	34,40	12,31
-0,25 +0,21	0,23	27,03	0,28	7,38	12,31	25,07	12,37
-0,21 +0,125	0,167	37,96	0,40	8,62	13,71	18,70	11,28
-0,125 +0	0,062	54,76	0,70	14,85	13,06	7,08	7,33
Promedio		38,73	0,43	9,54	12,59	18,35	10,53

TABLA 4. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA DISTRIBUCIÓN MÁSCICA POR CLASES DE INTENSIDAD DE CORRIENTE γ (I)

Clase de intensidad de corriente, A	Intensidad de corriente promedio, I, A	Magnitud del intervalo de la clase de intensidad de corriente, ΔI , A	Distribución máscica γ (I), 1/A	γ (I). ΔI
+ 0 - 0,5	0,25	0,5	0,961	0,480
+ 0,5 - 1,5	1	1	0,384	0,384
+ 1,5 - 3	2,25	1,5	0,026	0,040
+3	0,094

TABLA 5. DISTRIBUCIÓN POR CONTENIDO POR INTENSIDAD DE CORRIENTE β (I)						
Clases de intensidad de corriente (A)	Contenido, %					
	Fe ₃ O ₄	V ₂ O ₅	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Imán permanente	69,05	0,84	11,55	6,11	5,48	4,15
+ 0 - 0,5	29,60	0,33	14,66	18,67	16,79	12,62
+ 0,5 - 1,5	20,11	0,18	3,56	16,99	27,32	15,36
+ 1,5 - 3	11,79	0,09	1,91	8,34	43,09	14,81
+3	3,27	0,02	1,28	0,44	46,03	11,60
Promedio	38,05	0,43	9,59	12,66	18,32	10,52

TABLA 6. RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL ANÁLISIS MAGNÉTICO POR CLASES DE TAMAÑO γ (%)						
Clases de intensidad de corriente, A	Salida por clases de tamaño. γ (%)					
	-0,5 +0,4	-0,4 +0,315	-0,315 +0,25	-0,25 +0,21	-0,21 +0,125	-0,125 +0
Imán P	0,59	0,09	0,62	1,45	16,98	13,72
+ 0 - 0,5		1,01	2,92	4,51	16,36	7,19
+ 0,5 - 1,5		0,97	1,65	4,04	15,92	3,04
+ 1,5 - 3		0,21	0,37	0,47	1,42	0,21
+ 3		0,45	1,00	1,22	3,25	0,34
Total	0,59	2,73	6,56	11,69	53,93	25,50
	100					

TABLA 7. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA DISTRIBUCIÓN MÁSCA $\gamma(\ell, I)$ PARA LAS PROPIEDADES DE SEPARACIÓN INTENSIDAD DE CORRIENTE (I) Y EL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA (ℓ)				
Tamaño de partícula, ℓ , mm	Salida por clases de intensidad de corriente según el tamaño de la partícula			
	Intensidad de corriente promedio, A			
	0,25	1	2,25	>3
0,357	0,136	0,523	0,253	0,540
0,282	0,310	0,700	0,352	0,958
0,230	0,390	1,394	0,364	0,950
0,167	1,029	4,005	0,807	1,840
0,062	0,168	0,285	0,044	0,071