



principal de la mina "Los Dos" tiene un espesor máximo de 7 metros y una longitud de más de 250 metros.

4.-Los granos de grafito son tabulares y sus mayores dimensiones se disponen paralelamente a los Planos de esquistosidad, en la misma forma que las micas de un esquisto.

5.-El contenido gráfitico de los bancos alcanza una ley media máxima de 5% en la mina "Los Dos".

Los estudios de flotación se han encarado con vistas a la obtención de concentrados con mas de 80% de C fijo por ser esta calidad objeto de la mayor importación al país

También se ha tenido en cuenta la conveniencia de producir grafito en las granulometrias mas gruesas compatibles con las exigencias de pureza y característica de la mena, con el propósito de favorecer las aplicaciones mas valiosas del producto.

El grafito, tiene importantes aplicaciones en la fabricación de lápices, crisoles, motores eléctricos, lubricantes y baterías generalmente se requiere de una pureza entre 85 y 98 %

La molienda se efectuaba en un molino semiautógeno de 1,80 m x 2,0 m de tipo discontinuo al cual se le perforaron los ejes a fin de convertirlos en equipos de funcionamiento continuo.

El pequeño diámetro de las bocas de alimentación y descarga obligaba a moler en una gran dilución de pulpas a fin de evitar atascamiento.

En vez de bolas de acero se utilizaron guijarros de granito y grawaca, siendo la carga de elementos moledores muy reducida.

En estas condiciones de trabajo el rendimiento de molienda era muy bajo y su producto inadecuado para el tratamiento posterior.

El clasificador que trabajaba en circuito cerrado con el molino, por sus características constructivas no permitía cambiar el área de decantación impidiendo una regulación en el tamaño del rebalse.

Las celdas de flotación estudiadas funcionaron adecuadamente considerándose un elemento que por sus características constructivas podían ser recuperados.

## ESTUDIOS EXPERIMENTALES

Los estudios fueron llevados a cabo sobre muestras de la mina "Los Dos".

### Muestra

Se Extrajeron de nivel 1 a 15 m. de bocamina.

#### a. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico de la muestra se presenta en la Tabla I.

Tabla I. Análisis granulométrico de la muestra

| Producto     | Peso           |                |
|--------------|----------------|----------------|
|              | Directo<br>(g) | Directo<br>(%) |
| +20#         | 293,7          | 39,5           |
| +35#         | 269,5          | 27,1           |
| +50#         | 59,8           | 6,0            |
| +70#         | 68,7           | 6,9            |
| +100#        | 58,6           | 5,9            |
| -100#        | 146,0          | 14,7           |
| Alimentación | 996,3          | 100,0          |

#### b. Análisis petrográfico

La muestra es del tipo de roca muy compacta y su estructura es muy planar.

La esquistosidad es muy marcada y se reconocen a simple vista cuarzo, hojuelas de micas y escamas de grafito.

La abundancia de los filosilicatos imprime a la roca el brillo característico de los esquistos micáceos.

En el microscopio se observan entre los minerales accesorios: apatita, epidoto, circón, cloritas, biotitas y muscovitas, como los descriptos por otros autores. [Lavandaio, 1968].

Los estudios calcográficos determinaron que el mineral opaco más abundante corresponde a grafito que se presente como hojuelas aisladas o

agrupadas y en muchos casos con plegamientos originados por la deformación de la roca. Estas especies están alineadas de acuerdo con la superficie de la limonita. Figura II.

También se observan piritas fresca y escasas chispas de oro nativo de tamaños del orden de los 4 micrones.

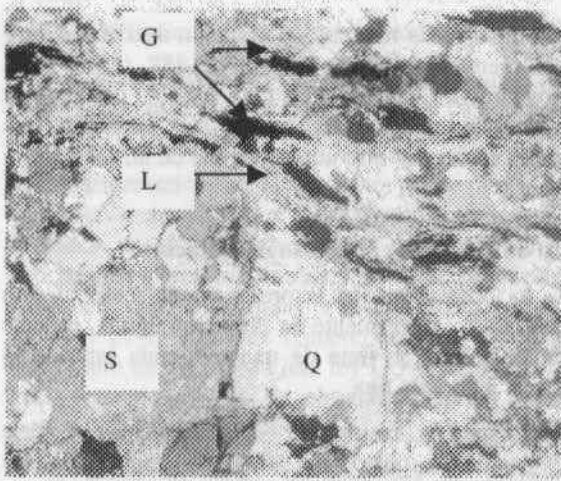


Figura II. Corte petrográfico. G, grafito; Q cuarzo; L limonita; S sericita.

Rellenando las fracturas entre los granos se presentan limonitas, cloritas, sericita y excepcionalmente mortero de cuarzo.

#### c. Análisis mineralógico

Observaciones a la lupa binocular y al microscopio sobre diferentes fracciones granulométricas de la muestra original, indican la presencia de cristales alargados de grafito, de hasta 3 mm, de color gris y brillo metálico. En la fracción gruesa + 48 #, se observa una consistente asociación de grafito con cuarzo, en muchos casos conformando una textura gruesa inequigranular.

Las observaciones dan como minerales de caja especies micáceas, granate (grietas marcadas) y óxidos principalmente.

En la fracción - 20 # +48 # se ha detectado la presencia de pirita.

#### c.1 Grado de liberación

El grafito se encuentra libre aproximadamente el 95 a 99 % en el tamaño - 48# (300 micrones).

#### d. Análisis geo-mecánico.

Estos estudios han permitido establecer el comportamiento a la compresión simple de la roca de caja y zonas mineralizadas. Se han obtenido los siguientes valores: 3700 Kg/cm<sup>2</sup> para la roca de techo (anfíbolitas), 550 Kg/cm<sup>2</sup> para el piso (metamorfitas de inyección) y 370 Kg/cm<sup>2</sup>

#### e. Flotación de minerales apolares

Los minerales macizos se concentran por selección a mano, mientras que los finamente diseminados se concentran por flotación y métodos gravitacionales [Sutulov, 1963].

Su estructura es laminar y hexagonal, las láminas vecinas se unen mediante fuerzas de Van der Waals, mientras que entre los átomos de carbono (en sextetos) existen fuertes enlaces covalentes.

Por eso al romper las partículas de grafito, se destruyen preferentemente los enlaces moleculares, quedando las superficies apolares, o sea, fuertemente hidrofóbicas. Esto favorece la flotabilidad natural del grafito, de tal manera que para flotar no se necesita un colector sino solo un espumante.

Otros autores, [Zaman, 1985], flotaron partículas de grafito de hasta 10 mallas (1,6 mm) sin dificultad.

Cuando la flotación con solo espumante no es completamente satisfactoria, se puede mejorar agregando pequeñas cantidades de hidrocarburos, tales como Kerosene o [aceite combustible] Fuel oil.

La blandura natural del grafito produce serios problemas en su concentración, porque, primero, se desintegra fácilmente formando lamas que se pierden y segundo, mancha la superficie de los minerales de ganga, activándolas.

Para evitar estos problemas, el mineral se concentra en varias flotaciones sucesivas a medida que se libera.

#### f. Tratamiento por flotación

El tratamiento del grafito comprende una molienda inicial en molinos de barras (para atenuar la producción de finos) combinada con tamizado húmedo que separa las partículas de tamaño adecuado [Zaman, 1985].

En flotación se usa un espumante alcohólico, agregando en un rango de 50 a 100 g/ton de quebracho para deprimir la ganga de sílice, feldespato y micas.

El producto medio (medianfas) se flota con pequeñas cantidades de hidrocarburos.

El concentrado primario se somete a varias flotaciones de limpieza y luego se pasa por mesas gravitacionales para eliminar las impurezas de la ganga.

Es necesario evitar la sobremolienda del grafito en la primera etapa, pues para el proceso de flotación perjudica el producto inferior a 150#.

## RESULTADOS

Se presenta un esquema general de tratamiento con flotaciones de limpiezas (Fig. IV) y los resultados obtenidos con una alimentación - 10 #, directa y con recomposición de los productos intermedios obtenidos, en la Tabla II.

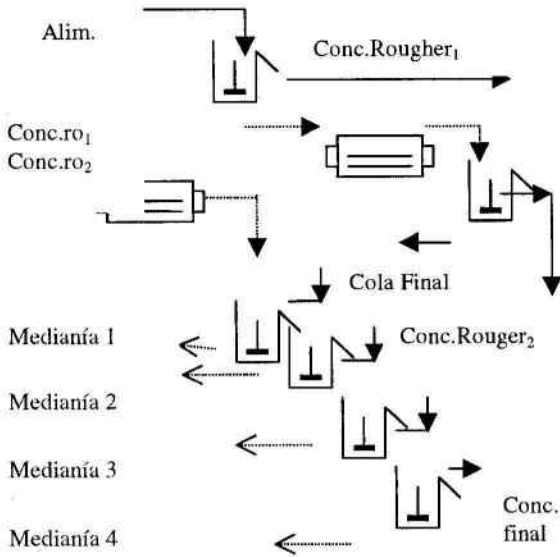


Fig. IV. Esquema general de tratamiento

Los reactivos y dosis empleados fueron :

- M.I.B.C (Metil-isobutil-carbinol): 50 - 100 g/t
- Silicato de sodio: 170 g/t en la flotación de desbaste y 500 g/t en las limpiezas de concentrados
- Kerosene.: 100 - 500 g/t.

Los valores de los productos (medianías) obtenidos experimentalmente, si se recomponen, permiten alcanzar concentrados 1° a 4° limpieza con las leyes de  $C_{fijo}$  y recuperaciones, indicados en la Tabla II.

Los valores encontrados experimentalmente son bajos, 72 % de  $C_{fijo}$ , debido al grado de molienda utilizado.

Una mayor reducción de tamaño, favorece la liberación de las especies grafiticas.

Tabla II Resultados experimentales

| Producto                           | Peso(%) | $C_{fijo}$ (%) | Distrib (%) |
|------------------------------------|---------|----------------|-------------|
| Concentrado                        | 6,1     | 72,0           | 81,0        |
| Medianía 4                         | 0,5     | 29,7           | 2,9         |
| Medianía 3                         | 2,1     | 35,6           | 13,6        |
| Medianía 2                         | 0,5     | 0,64           | 0,1         |
| Medianía 1                         | 7,2     | 0,55           | 0,7         |
| Cola                               | 83,5    | 0,11           | 1,7         |
| Alimentación                       | 100     | 5,4            | 100,0       |
| Compósito de productos intermedios |         |                |             |
| Conc. Ro                           | 16,4    | 32,8           | 98,1        |
| Conc. 1° limp.                     | 9,2     | 58,0           | 97,6        |
| Conc. 2° limp.                     | 8,7     | 60,3           | 97,5        |
| Conc. 3° limp.                     | 6,7     | 68,6           | 83,0        |
| Conc Final                         | 6,1     | 72,0           | 81,0        |

Los ensayos de molienda y flotación analizan + 48 # ( 30 %) en la molienda inicial y +48# (20 %) del compósito de los concentrados  $Cr_{o1}$  y  $Cr_{o2}$ , previo a las flotaciones de limpiezas. Estas relaciones son similares a las mencionadas por otro autor [Nwoke et. al, 1997].

**Efecto de lamas en el proceso de flotación.**

Se ha observado que la presencia de material fino (lamas) afecta ligeramente la flotación de la especie grafito cristalino, se trate de una molienda intermedia como una molienda fina.

Las espumas resultantes del proceso han sido reportadas de una pureza del 50 % sin limpiezas de los concentrados [Matar et al., 1969].

Es posible que realizando un deslamado previo de la fracción -48 # se obtengan mejores resultados.

**Efecto del reactivo depresor sobre los óxidos de hierro y silicatos asociados**

Para la flotación se ha empleado Metil-isobutil-carbinol en dosis de 100 g/ton, y silicato de sodio en 500 g/t para deprimir los minerales silicatados [Fuerstenau, 1962]. Los óxidos presentes en la muestra, no han manifestado interferencia en la flotación. En estas dosis las especies

asociadas al elemento principal como roca acompañante no impurifican los concentrados.

**Efecto de las limpiezas de los concentrados**

Se ha estudiado el efecto de flotaciones de limpiezas del concentrado de desbaste, usando diferentes esquemas.

El análisis comparativo indica que los índices de ley y recuperación obtenidos permiten definir como más conveniente la configuración que emplea una molienda inicial de 2 minutos a la muestra reducida al tamaño -10 #, seguida de una concentración de desbaste del grafito natural y posterior remolienda del concentrado con cuatro limpiezas, como se indica en la Fig. IV.

En esta etapa la dosificación del reactivo colector-espumante y el depresor, (silicato de sodio en solución al 10 %), se ha adicionado en forma parcial en cada una de la etapas de limpiezas.

Los resultados obtenidos son satisfactorios, permitiendo obtener un concentrado final de 72 % de  $C_{fijo}$ , con una recuperación de 81,0 % .



### Análisis económico. Perfil preliminar

De acuerdo con la producción histórica de la mina, de 60 t/mes se hace una estimación del costo operativo de \$/t. 960.(Tabla III).

Considerando que el proyecto puede incentivar la explotación de al menos otro yacimiento del distrito ubicados en el plano geológico de la Fig. 1, antes indicada, se obtendría una capacidad de producción de alrededor de 1400 t/año que cubriría el mercado nacional cuyo nicho de comercialización es de 800 a 1400 t/año de grafito de alta ley (75 % de C fijo). Con tratamientos químicos se obtiene la pureza necesaria para aplicación industrial.

A partir de estas estimaciones se presenta el siguiente resumen económico-operativo (por tonelada). Tabla III.

Tabla III. Estimación de análisis económico

| Item                                   | \$/t. | \$/t |
|----------------------------------------|-------|------|
| Costo de explotación mixto             | 17,0  |      |
| Flete                                  | 8,0   |      |
| Costo de tratamiento                   | 14,0  |      |
| Total de costos                        |       | 39,0 |
| Ingreso por venta<br>(50 kg x \$ 1,10) |       | 55,0 |
| Utilidad operativa bruta               |       | 16,0 |

Utilidad operativa bruta diaria:

t 60 x \$/t 16 = \$ 960,-

La utilidad bruta de conc./t. no incluye: gastos de intereses, impuestos, ventas, administración, monto de inversión ni recuperación.

### CONCLUSIONES

- El esquema de concentración por flotación a partir del mineral -10#, seguido de una molienda de la cola a - 35 # y posterior acondicionamiento - flotación y molienda del concentrado a 48 #, 20 % , hasta el presente da los mejores resultados en ley y recuperación del grafito.
- A pesar del fuerte grado de oxidación de la muestra, la presencia de minerales oxidados afecta ligeramente el proceso de flotación del grafito cristalino. De igual modo, no es poco significativa la interferencia de las lamas.
- Con el esquema de tratamiento ensayado es posible obtener resultados aceptables en la flotación de

desbaste. Una flotación de la muestra de alimentación a - 10 #, beneficia mineral de grafito cristalino de tamaño grueso.

- Resultados típicos son concentrados de 72,0 % de C fijo , con una recuperación del 98,3 % en la flotación con cuatro limpiezas, y una granulometría de + 48 # alrededor del 20 % en peso.

### REFERENCIAS

- Aceñolaza, F. y Toselli, A. Geología del Noreste Argentino. Publ. N° 1287. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Tucumán.(Argentina). 1981.
- Fuerstenau D.,W. Froth Flotation 50<sup>th</sup> Anniversary. Volume. Cap. 13. 343. AIME. New.York, 1962.
- Lavandaio, E. Distrito grafitico de Villa Unión. Informe inédito. D.N.G.M., Buenos Aires. 1968.
- Lavandaio, E. Depósitos de Grafito de Villa Unión, La Rioja. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 155-162, Buenos Aires. 1999.
- Matar, J. A. y Rudolph, C. G. Informe N°30. Centro de Investigaciones de Minerales de Cuyo. "Estudio sobre el beneficio de la mena de grafito de Villa Unión. La Rioja". San Juan. 1969.
- Nwoke, M. A. U.; Uwadiale, G. G. O. O. y Kollere, M. A. Flotation of low - grade Bienin Gwari and Alawa graphite, Nigeria. Minerals and Metallurgical Processing vol 14,(1), 54-56, 1997.
- Sutulov, A. "Flotación de minerales". Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Concepción. 1963.
- Zaman, S., "SME Mineral Processing Handbook". Vol 2, 28 -3, 1985.