

Estudio del índice de bond en mezclas de minerales tipo pegmatíticos, para reducir el consumo energético y aumentar el valor agregado de la moscovita

Study of the bond index in mixtures of pegmaty type minerals, to reduce energy consumption and increase the added value of the moscovite

Díaz, A.^{1,2}
Castro, G.¹
Menéndez Aguado, J.M.³
Muñoz E.²
Peñaloza R.¹

¹Instituto de Investigaciones Mineras, ²Departamento de Ingeniería de Minas. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Avda. Libertador 1109 oeste, San Juan, Argentina C.P. (5400).

³Escuela Politécnica de Mieres, Universidad de Oviedo. c/ Gonzalo Gutiérrez Quirós, s/n. 33600 – Mieres, España.

e-mail: aadiaz@unsj.edu.ar



RESUMEN

La provincia de San Juan presenta un gran potencial de mica tipo moscovita asociada a otros minerales de importancia económica como cuarzo y feldespato, ya que es la mineralización predominante en los yacimientos pegmatíticos del Departamento de Valle Fértil, San Juan, Argentina. Estos cuerpos poseen abundancia de moscovita pudiendo encontrar en cantidad y calidad para realizar una explotación económica. La industria mineralúrgica de la mica, en la provincia de San Juan, no está desarrollada. Generalmente la mica moscovita, se considera un subproducto no recuperable dentro del aprovechamiento industrial de feldespato y de cuarzo. En otros casos hay microemprendimientos de mica tipo hoja, ésta se extrae manualmente, por lo que su procesamiento es costoso, comercializándose en bruto, sin darle valor agregado.

La moscovita es un material de difícil conminución debido a su elevada plasticidad, por lo que su Índice de Bond es de 143 kWh^{-1} , bastante elevado comparado con el Índice de Bond de cuarzo (14 kWh^{-1}) y de feldespato (11 kWh^{-1}).

El objetivo de trabajo fue evaluar el Índice de Bond de mezclas de minerales tipo pegmatíticos, presentes en escombreras, constituidas por cuarzo, feldespato y mica. Para posteriormente ser comparado con el Índice de Bond de cada mineral (cuarzo, feldespato y mica) en forma individual. Esto permitirá reducir el consumo energético en la molienda de mica, para posteriormente ser separada del cuarzo y feldespato, obteniendo un producto de mayor valor agregado.

Palabras Claves: molienda, escombreras, cuarzo, feldespato, mica

ABSTRACT

The province of San Juan has a great potential for Muscovite-type mica ore, associated with other minerals of economic importance such

as quartz and feldspar, since it is the predominant mineralization in the pegmatitic deposits of Valle Fértil Department, San Juan, Argentina. These deposits have abundance of Muscovite can find in quantity and quality for economic exploitation. The mineral industry of mica, in the province of San Juan, is not developed, the Muscovite mica is considered a non-recoverable by-product within the industrial use of feldspar and quartz. In other cases there are micro-enterprises of leaf-type mica, this is extracted manually, so its processing is expensive, being marketed raw, without giving added value.

Muscovite is a material difficult to comminute due to its high plasticity, being its Bond index is 143 kWh^{-1} quite high compared to the Quartz Bond Index (14 kWh^{-1}) and feldspar (11 kWh^{-1}).

The objective was to evaluate the Bond Index of pegmatite mineral type mixtures present in tailings, consisting of quartz, feldspar and mica. To be later compared with the Bond Index of each mineral (quartz, feldspar and mica) individually. This will allow to reduce the energy consumption in the milling of mica, to later be separated from quartz and feldspar, obtaining a product of greater added value.

Keywords: grinding, slag heaps, quartz, feldspar, muscovite

INTRODUCCIÓN

En la provincia de San Juan, el Departamento Valle Fértil, presenta un gran potencial de mica tipo moscovita asociada a otros minerales de importancia económica como es el cuarzo y el feldspato ya que es la mineralización predominante en los yacimientos pegmatíticos^[1], [2], [3].

Valle Fértil agrupa más de cincuenta pegmatitas ubicadas en una faja meridional de unos 30 km de longitud comprendida en el sector oriental de la Sierra homónima^[4].

Los depósitos en San Juan corresponden al tipo moscovita las facies metamórficas de la roca hospedante son del tipo anfibolita supe-

rior (tipo barroviana), asociada o no a intrusiones graníticas. La mineralogía típica es: micas (moscovita), feldespatos, caolín y en menor proporción distintos minerales con participación de elementos como Li, Be, Y, REE, Ti, U, Th, Nb y Ta. El sector de las pegmatitas de Valle Fértil está constituido por microempresarios, que realizan la explotación del cuarzo, feldespato y mica en forma manual, con baja mecanización, dependiendo de un mercado interno. Este sector posee una escasa presencia en el mercado interno y nulo en un mercado externo. La mica es considerada un subproducto no recuperable dentro del aprovechamiento de feldespato y cuarzo.

La moscovita, es una de las especies del grupo de las micas, de mayor valor en la industria debido a sus propiedades de blancura y brillo nacarado. Actualmente la moscovita se utiliza en forma micronizada, como materia prima del mercado de material de carga y pigmentos. Un ejemplo es su uso como sustrato para la síntesis de los pigmentos de brillo perlado, que se utilizan en la industria de plástico, cerámico y cosméticos. Para ser comercializada con alto valor agregado debe ser molida por debajo de 50 μm y presentar un contenido de Fe por debajo de un 1% [5].

El valor de la mica en escamas, microescamas y molida aumenta en la medida en que es transformada en un material más fino. El valor de la mica a menor a 45 μm (malla -325) procesada por vía húmeda mantiene su brillo, por lo que su valor aumenta en un 50 – 80% con respecto a la molida por vía seca. En estas condiciones es requerida en la industria de las pinturas y esmaltes. Además necesita de algunas características específicas como es una morfología redondeada y una granulometría menor a 50 μm , de acuerdo a lo reportado por Barros et al. (2005)^[6]. En la actualidad, Argentina es un importador de considerables volúmenes de minerales industriales, entre los que se encuentra el feldespato con 230.000 t en el 2013, la mica con 7.500 t y cuarzo con 200.000 t, constituyéndose éstos en materia prima básica para amplios sectores de la industria de la región central, como son las

del vidrio, pinturas y cerámicas, entre otras. Estos volúmenes pueden ser en gran parte o totalmente sustituidos por producción nacional [7].

El objetivo de este trabajo es analizar energéticamente el comportamiento de la molienda de menas pegmatíticas de moscovita, con el fin de mejorar los procesos de beneficio y obtener un producto competitivo en el mercado.

El mineral moscovita necesita de una molienda especial para reducir el tamaño de partícula y los procesos químicos para disminuir el contenido de hierro. Es un material de difícil conminución debido a su elevada plasticidad, por lo que su índice de Bond (w_i) igual a 143 kWh t^{-1} , bastante elevado comparado a los de otros minerales [8]. Para este estudio se aplicó el Índice de Bond para determinar los consumos energéticos de cada una de las especies mineralógicas presentes en las pegmatitas en forma individual. Luego se aplicó el ensayo de Índice de Bond para determinar los consumos energéticos de las mezclas de minerales presentes en las escombreras.

PARTE EXPERIMENTAL

Uno de los parámetros aplicados en la industria a nivel mundial para predecir el consumo energético en la molienda de minerales es el Índice de Bond^[9] (w_i) o work index. Este parámetro indica la facilidad de molienda de una determinada mena en molino de bolas. Su valor es obtenido mediante ensayo estándar en laboratorio, empleando el molino estándar de Bond con una distribución determinada de cuerpos moledores (bolas de acero). Este ensayo fue aplicado a cada una de las especies mineralógicas presentes en las pegmatitas, como cuarzo, mica y feldespato en formas puras. Se evaluó el consumo energético para los cortes: #70, #100 y #200. Luego el ensayo de Índice de Bond se aplicó a una muestra denominada “mezcla”, obtenida de la escombrera. Ésta muestra fue caracterizada mineralógicamente a través de un equipo de Difracción de Rayos X marca Shimadzu modelo 6100, radiación de $\text{Cu K}\alpha$; ($\lambda=1,540600 \text{ \AA}$) y Monocromador CM-3121, ope-

rado a 30 mA y 20 kV en la fuente de alta tensión y con un ángulo de barrido (2θ) comprendido entre 5° y 70° . Para cuantificar se aplicó el método de Rietveld para cuantificación en polvo utilizando software Match, comparando el difractograma experimental con las distintas especies minerales insertas en la base de datos COD (Crystallography Open Database).

Los análisis granulométricos de cada uno de los ensayos de Bond se realizaron en el equipo SONY TEST, con una serie de tamices tipo ASTM: #6, #16, #30, #50, #70, #100, #200 y #325.

El índice de Bond es una metodología sencilla, que puede ser encontrada fácilmente en la literatura en la que se simula un circuito cerrado de molienda, con una carga circulante del 250% ^[10].

El Índice de Bond es obtenido mediante la siguiente ecuación:

$$W_i = \frac{44.5}{P_{100}^{0.23} \cdot Gbp^{0.82} \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right)} \quad (1)$$

Donde: P_{100} es tamaño de corte de la criba (μm), Gbp es índice de molidurabilidad (g/rev), que se producen en el molino por cada vuelta, P_{80} es el tamaño correspondiente al 80% del pasante acumulado en los finos del último ciclo (μm), F_{80} es el tamaño correspondiente al 80% del pasante acumulado en la alimentación fresca (μm).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1, muestra el análisis de DRX de la muestra obtenida de la escombrera, formada por cuarzo (Qz), moscovita (Mc) y feldespato (Ab). De acuerdo con el método de cuantificación de Rietveld la muestra está compuesta por: cuarzo 35%, moscovita 35% y feldespato 30%.

Las Figura 2.a, 2b, 2c y 2d, muestran los resultados encontrados de los ensayos de molienda para las muestras puras de: cuarzo, feldespato y mica, frente a la muestra “mezcla”. Para todos estos ensayos se

utilizaron los diámetros de corte de 70, 100 y 200#.

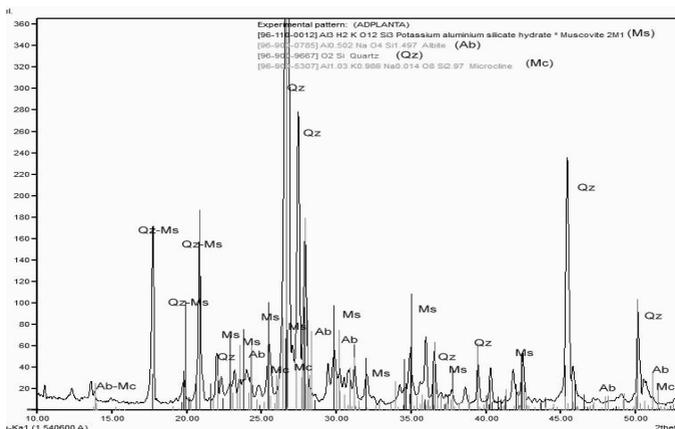


Figura 1. Difractograma de la mezcla aplicando el método Rietveld de cuantificación de fases presentes

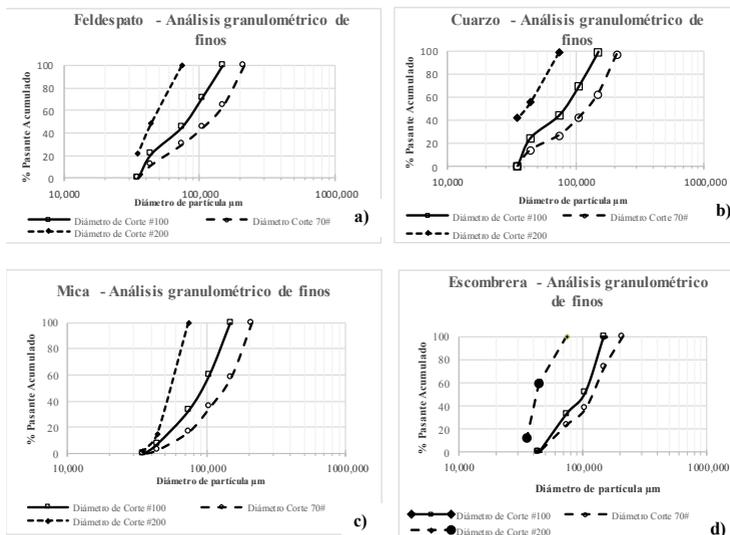


Figura 2. a. Distribución granulométrica de feldspato, b. Distribución granulométrica de cuarzo, c. Distribución granulométrica de moscovita, d. Distribución granulométrica de la mezcla

La Figura 3, muestra la comparación de las curvas granulométricas entre los minerales puros frente a la mezcla (escombrera), para un diámetro de corte $P_{100} = 140 \mu\text{m}$. Se observa que la distribución granulométrica para moscovita y la mezcla son muy similares. Esto evidencia que los minerales cuarzo y feldespato, sólo actuarían como cuerpos moledores, contribuyendo a la reducción de tamaño de la moscovita sin alterar su distribución. Estos resultados son similares a los encontrados por Coello, et al, 2008 ^[11], donde demuestra que la mezcla de minerales no influye en el comportamiento individual de cada uno en forma pura.

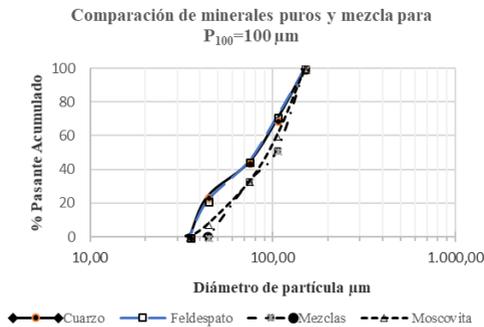


Figura 3. Distribución granulométrica para minerales puros frente a la muestra “mezcla”, para un diámetro de corte #100.

La Figura 4 muestra los resultados obtenidos del índice de Bond de los minerales puros frente a la muestra “mezcla”. Se observa que el índice de Bond aumenta a medida que aumenta el diámetro de corte. Se observa además la reducción del índice de Bond para la mezcla (28,62 Kwh/t) comparada con el índice Bond de la moscovita pura (195 Kwh/t).

La Figura 5 muestra el costo energético efectivo de la moscovita $P_{100}=149 \mu\text{m}$ de 317,57 \$/t frente a moscovita en mezcla de 46,50 \$/t.

La reducción en el consumo energético de moscovita en mezcla de gran interés para aumentar su valor agregado.

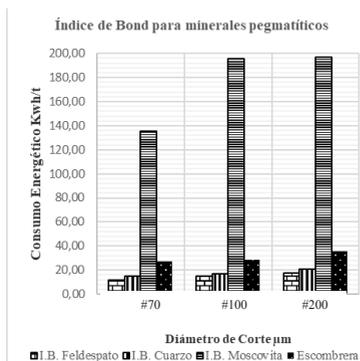


Figura 4. Índice de Bond de muestras puras frente a la muestra “mezcla”

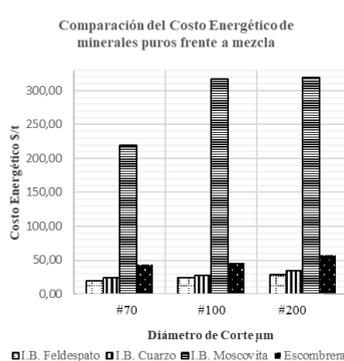


Figura 5. Consumo energético efectivo de minerales puros frente a la muestra “mezcla”

CONCLUSIONES

Para una muestra de escombrera llamada “mezcla” compuestos por cuarzo 35%, moscovita 35% y feldespato 30%, se obtiene para un diámetro de corte de 149 μm , un Índice de Bond de 28,62 $\text{KWh}t^{-1}$. Comparado este valor con el Índice Bond de la moscovita pura (195 $\text{KWh}t^{-1}$), para el mismo diámetro de corte, se observa que disminuye 6,82 veces.

Esta disminución se replica en los costos energéticos de 317,57 $\$/t$ de moscovita pura a 46,50 $\$/t$ de moscovita en mezcla.

Se concluye que la molienda multicomponente demuestra un importante camino alternativo para reducir los costos de molienda en minerales puros de moscovita. La reutilización de las escombreras de pegmatitas con un 35% moscovitas, permitirá aumentar su valor agregado.

BIBLIOGRAFIA

1. M.A. Galliski, E. Linares. “New K-Ar muscovite ages from gra-

- nitic pegmatites of the Pampean Pegmatite Province”. 2° South American Symposium on isotope Geology, Actas: 63-67. 1999
2. J.C. Perucca. “Las Micas del Valle Fértil – San Juan. Factibilidad de Explotación” Dirección de Minería de la Provincia de San Juan. 1972.
 3. J. C. Mirre. “Descripción Geológica” de la Hoja 19e, Valle Fértil. Esc: 1.200.000. Ministerio de Economía. Secretaría de Estado de Minería, Buenos Aires. 1976,
 4. J. Oyarzábal , M. Roquet, M. Galliski, E. Perino. “Caracterización geoquímica y estructural de feldespatos potásicos de algunas pegmatitas de los Grupos Balilla y Aurora, Distrito Pegmatítico Valle Fértil, San Juan”. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 68 (1): 5 - 16. 2011
 5. S. Santos, S. França, T. Ogasawara. “Method for grinding and delaminating muscovite”., Mining Science and Technology (China), vol. 21, pp. 7-10. 2011.
 6. F.M, Barros, P. Cavalcante, M. Andrade, J. Sampaio, A. Luz. “Beneficiamento do Rejeito de Moscovita da Região do Seridó-Borborema (NE) para Aproveitamento Industrial”. In: Anais do XXI ENTMMME,199-205. 2005.
USGS <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/index.html>
[Accessed Diciembre. 2017.](#)
 1. P. HARBEN. “Mica”, The Industrial Minerals Handbook, 2ª ed. 1989.
 7. F. Bond Crushing and Grinding Calculations, Allis Chalmers Manufacturing Co., Milwaukee. 1961.
 8. J. Menéndez Aguado. “Aplicación de la Simulación Matemática a la Determinación de Consumos Energéticos en Fragmentación”, PhD Thesis, published digitally by the University of Oviedo. 2001.
 9. A. Coello, J. Menéndez, R. Brown. Grindability of lateritic nickel ores in Cuba, Powder Technol. 182 (1), pp. 113-115. 2008.