

Enriquecimiento teórico de metales asociados en los sulfuros del yacimiento Strizhkovsky (Rusia)



Theoretical enrichment of associated metals in the sulphides of the Strizhkovsky deposit (Russia)

Navas Jaramillo, Santiago José

 Navas Jaramillo, Santiago José
sjnavas1@utpl.edu.ec
Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo
Universidad Central del Ecuador, Ecuador
ISSN: 1390-7042
ISSN-e: 2602-8484
Periodicidad: Semestral
vol. 13, núm. 1, 2022
revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 04 Junio 2021
Aprobación: 31 Enero 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/624/6242851004/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v13i1.3125>

Autor de correspondencia: sjnavas1@utpl.edu.ec



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Cómo citar: Navas-Jaramillo, S.J. (2022). Enriquecimiento teórico de metales asociados en los sulfuros del yacimiento Strizhkovsky (Rusia). *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 13(1), 32–37. <https://doi.org/10.29166/revfig.v13i1.3125>

Resumen: La investigación presenta datos relacionados al yacimiento de sulfuros masivos volcanogénicos Strizhkovsky, que se localiza en la región de Rudny Altai, sur de Rusia. En el presente estudio se tomaron como referencia muestras de menas polimetálicas y rocas recolectadas de manera previa. A partir de diez láminas pulidas de menas se realizó un análisis con microscopio petrográfico y con microscopio de barrido electrónico (SEM) e incorporado con una microsonda electrónica de rayos X. Con base en estos resultados se determinó el contenido (% en peso) de elementos menores asociados como Ag, Cd, Bi, Ga, Ge y se calculó su enriquecimiento teórico en sulfuros básicos (galena, esfalerita, calcopirita y pirita). Los resultados muestran que el enriquecimiento teórico, considerando la suma de los dos sulfuros con mayor contenido, para plata (94.83%), bismuto (91.06%), galio (72.3%) y germanio (75%) está asociado con galena y esfalerita, para cadmio (91%) con esfalerita y menos galena. La cuestión de atribuir Ga y Ge a los componentes minerales debe ajustarse después de calcular sus reservas en el mineral. Los datos del enriquecimiento teórico y la distribución del contenido de componentes valiosos asociados en las menas polimetálicas suponen una herramienta para pronosticar la calidad de los distintos concentrados metalúrgicos; y a su vez poder modificar los parámetros de los tratamientos metalúrgicos de minerales de plomo-zinc.

Palabras clave: Enriquecimiento teórico, análisis espectral, Strizhkovsky, metales asociados, metalurgia.

Abstract: The research presents data related to the Strizhkovsky volcanogenic massive sulfide deposit, which is located in the Rudny Altai region, southern Russia. In the present study, samples of polymetallic ores and rocks previously collected were taken as reference. From ten polished sheets of ores, an analysis was carried out with a petrographic microscope and with a scanning electron microscope (SEM) and incorporated with an X-ray electron microprobe. Based on these results, the content (% by weight) of minors associated elements was determined such as Ag, Cd, Bi, Ga, Ge and their theoretical enrichment in basic sulfides (galena, sphalerite, chalcopyrite and pyrite) was calculated. The results show that the theoretical enrichment, considering the sum of the two sulfides with the highest content, for silver (94.83%), bismuth (91.06%), gallium (72.3%) and

germanium (75%) is associated with galena and sphalerite, for cadmium (91%) with sphalerite and less galena. The question of attributing Ga and Ge to the mineral components must be adjusted after calculating their reserves in the ore. The data of the theoretical enrichment and the distribution of the content of associated valuable components in the polymetallic ores represent a tool to predict the quality of the different metallurgical concentrates; and in turn to be able to modify the parameters of the metallurgical treatments of lead-zinc ores.

Keywords: Theoretical enrichment, spectral analysis, Strizhkovsky, associated metals, metallurgy.

INTRODUCCIÓN

La geología de depósito Strizhkovsky consta de cuerpos lenticulares y estratiformes de sulfuros presentes en unidades volcánicas-metamórficas e interfaces volcánico-sedimentarias depositados originalmente en fondos oceánicos (Fig. 1). Según Fedak y Turkin (2008) la estructura del depósito Strizhkovsky comprende los estratos metamórficos PZ2, con una ruptura en la sedimentación, se superponen al complejo volcánico-sedimentario del Devónico Inferior. El sistema Devónico está constituido por conglomerados, lutitas, tobas, limolitas y rocas carbonatadas (Fig. 2).

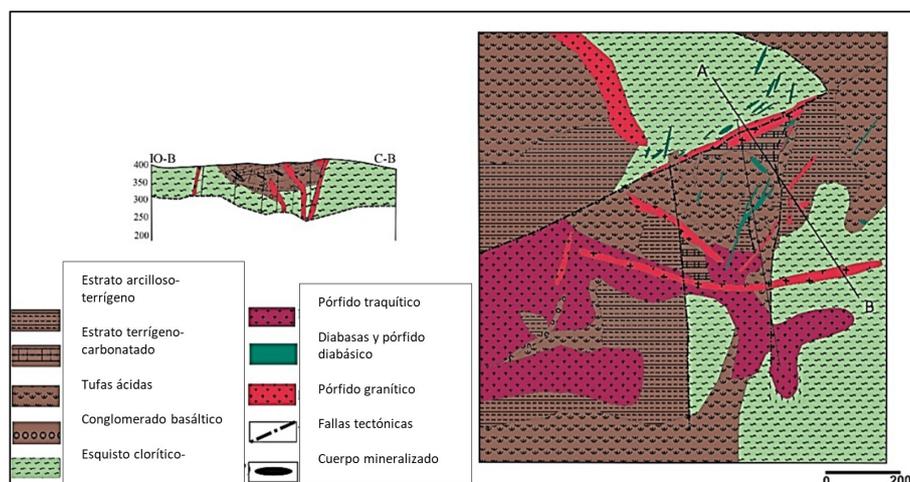


FIGURA 1
Mapa geológico del depósito Strizhkovsky, Rudny Altai, Rusia

De acuerdo a Buzoverov (2012) los minerales de mena del depósito Strizhkovsky son plomo-cobre-zinc (polimetálicos) con una composición simple. Las menas están representadas por galena, calcopirita, esfalerita y pirita, que pueden tener una composición con elementos asociados de ganga (Fig. 3). Tradicionalmente, los componentes valiosos asociados de los minerales polimetálicos del tipo de Altai son Ag, Au, Cd, Bi, Ga, Ge, In.

NOTAS DE AUTOR

sjnavas1@utpl.edu.ec

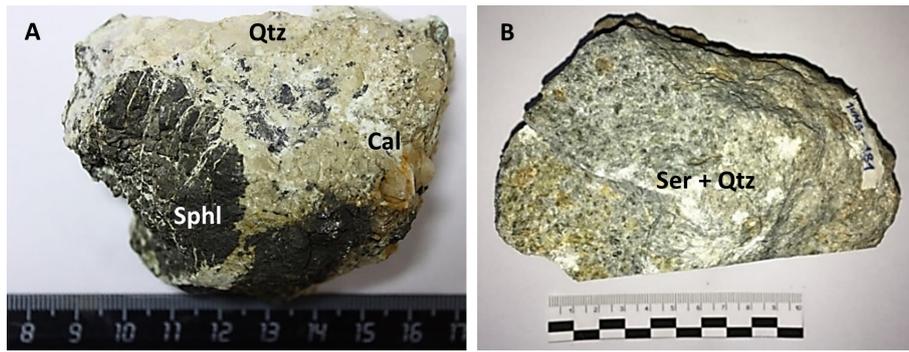


FIGURA 2

- A) Agregado redondeado de esfalerita con cuarzo y microgrietas de calcita con precipitación tardía. Descripción. SphI - esfalerita; Qtz - cuarzo; Cal - calcita.
 B) Muestra de metasomatita (roca de caja) con una composición cuarzo-sericita.

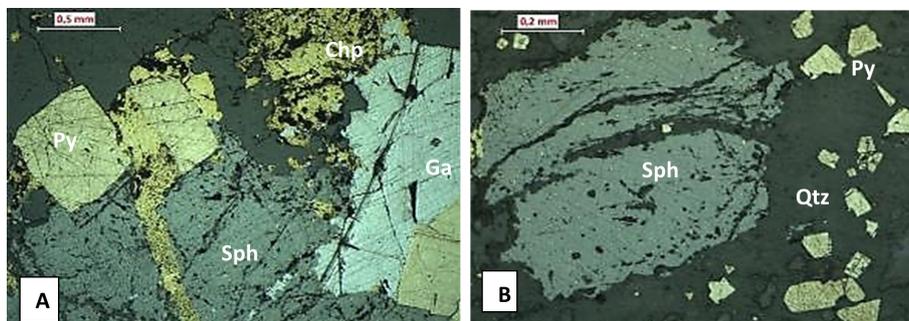


FIGURA 3

- A) Mena polimetálica con microtextura disseminada. Descripción. Chp - calcopirita, Py - pirita, Ga - galena, Sph – esfalerita. B) Mena mineral con microtextura disseminada sobre cuarzo. Descripción. Sph - esfalerita, Qtz - cuarzo, Py - pirita.

Los métodos de análisis químicos y los respectivos balances químico-mineralógicos se convierten en las herramientas más importantes para evaluar las propiedades de los sulfuros, siendo una fuente importante de información para elegir un esquema para el procesamiento de estos e incluso poder predecir la calidad de los concentrados obtenidos de acuerdo con Isoitko (1997). Una de las características más importantes de los minerales en la actualidad, cuando cada vez se concede más importancia a su uso integrado, es la información sobre los elementos que pueden convertirse en componentes valiosos asociados de los minerales.

METODOLOGÍA

El estudio de los minerales metálicos del depósito Strizhkovsky se efectuó a través de la observación de diez láminas pulidas de 3-4 mm de espesor, a partir de muestras seleccionadas de los cuerpos mineralizados. Las muestras minerales se estudiaron mediante microscopía de reflexión utilizando un microscopio trinocular Leica DMRXP y microscopía electrónica de barrido (MEB) de tipo Tescan Vega II LMU que cuenta con una microsonda electrónica de rayos X (con detector Si (Li) Standart) INCA Energy 350, perteneciente al laboratorio geoquímico de la Universidad Estatal de Tomsk

Con base a los resultados del microanálisis espectral de rayos X (RSMA), el contenido de metales de interés (% en peso) fue determinado en los sulfuros básicos (galena, esfalerita, calcopirita y pirita). Los datos disponibles permitieron analizar el contenido y la distribución estimada de elementos asociados en sulfuros y el enriquecimiento teórico de Ag, Cd, Bi, Ga y Ge (Fig. 4).

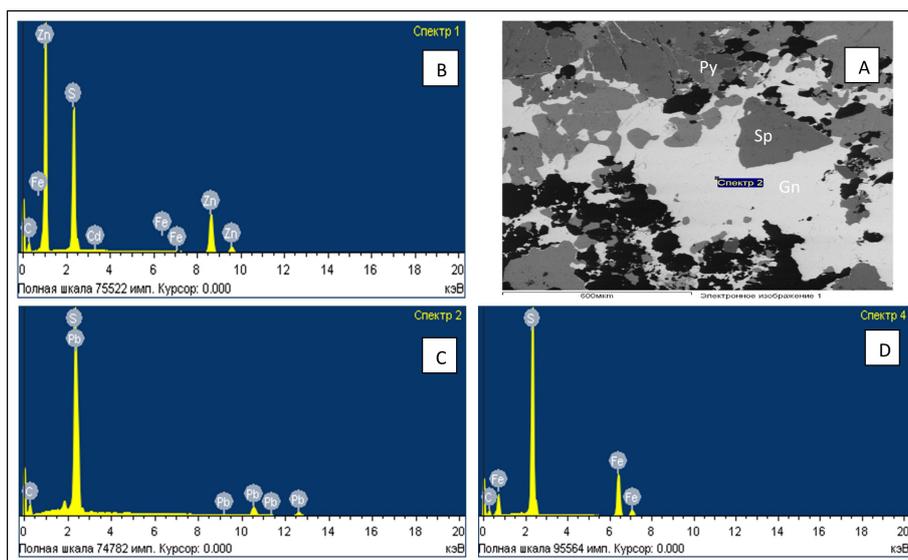


FIGURA 4

A) Imagen SEM (en modo BSE) de una lámina pulida polimetálica. B) Espectrograma de rayos X (RSMA) de esfalerita. C) Espectrograma de rayos X (RSMA) de galena. D) Espectrograma de rayos X (RSMA) de pirita.

Según Kononov y Baksheev (2004) para determinar una evaluación cuantitativa del enriquecimiento teórico se elabora un balance químico y mineralógico que representa la distribución de los componentes valiosos asociados en los minerales. La distribución de un elemento se calcula como el porcentaje de su producto en un mineral del producto total en todos los minerales. La concentración teórica de cada elemento es igual a su distribución en el mineral o minerales del que se extraerá según el método actual. Cualquier otro valor es una pérdida inevitable. Los balances compilados de la distribución de elementos en el mineral y el cálculo de su enriquecimiento teórico son información importante para que los ingenieros químicos mejoren los procesos de tratamiento de minerales. La fórmula para determinar la distribución de elementos asociados en los sulfuros (enriquecimiento teórico) está dada por la ecuación 1:

Enriquecimiento teórico

$$X = \frac{A \times B}{\sum A \times B} \times 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde

A = Contenido del mineral en la mena (%)

B = Contenido del elemento o componente asociado (%)

A x B = Producto del contenido

El contenido mineral en la mena (evaluación visual) se determinó mediante un método de comparación. Al calcular con este método, la cantidad relativa de minerales en una sección pulida se determina mediante comparación visual con círculos de referencia. El contenido medio de minerales en una sección delgada se determina comparándolo con los estándares de toda el área de una sección delgada con ayuda de un microscopio (Kononov y Baksheev, 2004, p. 80). El contenido de los componentes asociados se obtuvo al promediar el contenido de 5 granos minerales para cada tipo de sulfuro.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con base en los resultados del enriquecimiento teórico de los elementos asociados se observa que la plata (Ag), galio (Ga), Bismuto (Bi) y germanio (Ge) se asocian mayormente a la galena; mientras que el cadmio (Cd) lo hace con la esfalerita. Al considerarse la suma de los dos sulfuros con mayor contenido, se encontró que el enriquecimiento teórico sería para plata (94,83%), galio (72,3%), germanio (75%) y bismuto (64,9%) y están asociados principalmente con galena y esfalerita; para cadmio (91,06%) principalmente con esfalerita y menos galena. La cuestión de atribuir Ga y Ge a los componentes minerales valiosos asociados debe ajustarse después de conocer los balances metalúrgicos en la planta de procesamiento, ya que el galio y germanio poseen una distribución regular. (Tabla 1)

TABLA 1

Balance de distribución de elementos asociados en los minerales de mena del depósito Strizhkovsky.

Nº	Minerales	Elemento asociado (%)				
		Galio (Ga)	Bismuto (Bi)	Germanio (Ge)	Cadmio (Cd)	Plata (Ag)
1	Calcopirita	15,84	18,9	33,33	6,50	2,59
2	Pirita	11,88	16,2	25,00	2,44	2,59
3	Esfalerita	27,72	28,4	0,00	56,91	39,22
4	Galena	44,55	36,5	41,67	34,15	55,60
	Suma	72,3	64,9	75	91,06	94,83

En otros experimentos, en los cuales se aplicaron técnicas analíticas similares, los autores encontraron que existe presencia de Bi - Ag en la galena y Mn - Cd en la esfalerita, a pesar de ser un depósito vetiforme de tipo epitermal de baja sulfuración (Melnik et al., 2016). Esto nos permite corroborar la afinidad y frecuencia que tienen algunos metales de estar asociada a menas de plomo-zinc.

Según Gamarra (2019) los tipos de minerales especiales, que son considerados minerales de plata, en realidad son minerales de plomo-zinc que se tratan específicamente para la recuperación de plata. La mayor parte del mineral de plomo-zinc contiene plata y, en menor grado, oro. Casi el 85% de la producción de plata en el mundo proviene de minerales de plomo-zinc. Además, considera que el esquema de reactivos utilizado en el tratamiento metalúrgico, como la flotación, de minerales de plomo-zinc varía considerablemente y depende de la naturaleza de los componentes asociados y mineralogía del mineral.

Es así que los datos obtenidos sobre la composición química de los minerales en el depósito Strizhkovsky y la forma de presentarse componentes valiosos en ellos, contienen información para los técnicos metalurgistas, al ajustar el régimen de tratamiento de minerales en este depósito con el objetivo de recuperar uno o más productos selectivos de calidad aceptable, valor económico con pérdidas mínimas y a costos razonables. Cabe señalar que esta metodología es posible aplicarla a otros yacimientos análogos que contengan sulfuros.

CONCLUSIONES

La plata (Ag), bismuto (Bi), galio (Ga), germanio (Ge) y cadmio (Cd) pueden considerarse componentes valiosos asociados de los minerales polimetálicos del depósito Strizhkovsky. Teóricamente los concentrados metalúrgicos de galena-esfalerita presentarán la mayor concentración de estos elementos, así la plata, galio, bismuto y germanio se asocian mayormente a la galena; mientras que el cadmio (Cd) lo hace con la esfalerita.

En líneas generales se observa que la génesis de los metales minoritarios asociados a sulfuros, en este depósito mineral, se ha originado por procesos tectónicos, metalogénicos e hidrotermales-metasomáticos

activos con la formación de numerosos depósitos polimetálicos en una etapa activo-marginal-continental del Devónico temprano como indican Fedak y Turkin (2008). Junto con otras menciones de estos componentes en sulfuros, permite agregar una característica distintiva para la evolución de los depósitos de tipo sulfuros masivos volcanogénicos de esta región metalogénica, Rudny Altai.

Los resultados del balance químico y mineralógico de los minerales de menas es una herramienta que puede ser empleada para mejorar y modificar los procesos metalúrgicos, lo que permitirá predecir la calidad de los concentrados obtenidos por este indicador. Es necesario comprobar los datos obtenidos en este estudio a través de análisis químicos antes del procesamiento (muestra de cabeza), así como de los relaves y los concentrados.

Este método puede ser aplicado en otros tipos de depósitos minerales que contengan minerales sulfurados de Pb-Zn.

REFERENCIAS

- Afanasyeva, E. L., y Isaenko, M. P. 1988. *Minerografía tecnológica*. Subsuelo, Moscú, Rusia.
- Anisimova, O. 2018. *Mineralogía de metasomatitas y menas del depósito polimetálico de barita Strizhkovsky (Rudny Altai)*. (Tesis de pregrado). Universidad Estatal de Tomsk, Tomsk.
- Bestemyanova K. V. y Grinev, O.M. 2017. Metasomatitas cercanas al mineral de depósitos polimetálicos de barita de la región de mineral de Zmeinogorsk (Rudny Altai). *Boletín de la ingeniería de recursos geológicos de la Universidad Politécnica de Tomsk*, 9, 114-124.
- Buzoverov, N. 2012. *Estructura geológica del área Veresukhinsko-Komissarovskaya de la región mineral de Zmeinogorsk (Territorio de Altai)*. Zmeinogorsk, Rusia.
- Chekalín, V. y Dyakov, B. 2013. *Cinturón polimetálico Rudno-Altai: Patrones de distribución de la mineralización de pirita*. Universidad Estatal de Kazan, Rusia.
- Fedak, C., y Turkin, U. 2008. *Mapa geológico estatal de la Federación de Rusia, escala 1: 200.000 de la serie Altai: Informe en la hoja M-44-XI*. Moscú, Rusia.
- Gamarra, H. 2019. *Flotación bulk de minerales sulfurados de plomo – zincs refractarios de bajo grado en la planta concentradora de Huari de la UNCP*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería. 2010. Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas. Recuperado de <https://n9.cl/fte2a>
- Isoitko, B. M. 1997. *Mineralogía tecnológica y enriquecimiento de menas*. Subsuelo, San Petersburgo, Rusia.
- Kononov, O., y Baksheev, I. 2004. Curso de mineralogía tecnológica: Tutorial. Editoriales UEM, Moscú, Rusia.
- Melnyk, N., Gallard, M., Roquet, M., Urbina, y Crespo, E. 2016. Geología y mineralogía de la Veta la Rica, Cañada Honda, San Luis, Argentina. *Acta geológica lilloana* 28, (1), 214-218. Recuperado de <https://n9.cl/q1ry1>
- Navas, S. 2014. *Recuperación de oro por gravimetría centrífuga de los relaves provenientes de la industria minera artesanal de La Pangui-Chinapintza*, (Tesis de pregrado), Universidad Técnica Particular de Loja, Loja.
- Navas, S. 2020. *Características minerales y tecnológicas de menas del depósito polimetálico Strizhkovsky (Rudny Altai, Rusia)*. (Tesis de maestría), Universidad Estatal de Tomsk, Tomsk.
- Shcherba, G. N. 1998. *Gran Altai (geología y metalogénia). Estructura geológica*. Alma-Ata, Moscú, Rusia