

ANÁLISIS PRELIMINAR DEL MONITOREO DE LA MICROSISMICIDAD EN LA UNIDAD MINERÍA EL PORVENIR DE MILPO

¹Zuñiga, H; ¹Tavera, H y ²Vivar A.

¹Dirección de Sismología, Instituto Geofísico del Perú

²Compañía Minera Milpo. Email: geofisico2025@gmail.com; hjtavaera@geo.igp.gob.pe; avivar@milpo.com

INTRODUCCIÓN

Desde el primer estudio sobre las características de la sismicidad presente en las minas de carbón al sur de Stanford (Inglaterra) en 1738, se han realizado otros referidos a la sismicidad inducida por la explotación minera, investigaciones que pronto lograron gran divulgación. En la actualidad uno de los mayores peligros en las minas subterráneas es la inestabilidad del macizo rocoso, que puede generar “microsismicidad inducida” o manifestaciones extremas conocidas como estallidos de rocas (rockburst). Estos peligros pueden tener severas consecuencias, causando la pérdida de la producción, dañar equipos, derrumbe de galerías y tajeos y por encima de todo, la pérdida de vidas (*Li T. et al. 2007; Pan, et al. 2003; Gibowicz, 1997*).

Dentro de este contexto, es importante realizar estudios de monitoreo con redes especiales que permitan registrar microsismos como indicadores de la existencia de áreas capaces de producir fracturamientos importantes o estallidos de rocas en minas subterráneas. Actualmente, estas áreas pueden ser identificadas a partir del análisis de frecuencia de la sismicidad asociada al parámetro “b” (propiedades físicas del medio) y de la relación de energía liberada por las ondas P y S (**ES/EP**) como indicador del tipo de mecanismo de ruptura.

METODOLOGÍA

Para el cálculo de valores de “b”, se aplica la metodología propuesta por Gutenberg y Richter (1954) y Wiemer y Wyss (1994, 1997), la misma que se basa en el principio de la distribución *frecuencia – magnitud* de los sismos ($\log N = a - bM$). Valores bajos de “b” indican predominio de sismos de magnitud elevada debido a la resistencia del medio a la ruptura (mayor acumulación de esfuerzos); mientras que, valores altos de “b” implican la presencia de medios de menor resistencia y menor acumulación de esfuerzos (*Urbancic y Trifu 2000*).

La relación de **ES** vs la **EP** (**ES / EP**), ha demostrado que es un fuerte indicador del tipo de mecanismo que da origen a la ruptura (*Gibowicz, et. al., 1992*) Si la relación **ES/EP** es mayor que 8 el mecanismo de ruptura correspondería a una fractura por cizalla (double-couple) propiamente dicha y estaría asociada a la reactivación de fallas geológicas pre-existentes, deslizamientos y fracturamientos dentro del macizo rocoso (*Boatwright y Fletcher, 1984; Prieto et al. 2004*).

Si la relación **ES/EP** está en el rango de 1 a 3, la fuente es un mecanismos de tipo no cortante (non-double couple), asociado a explosiones y/o hundimientos. Diversos estudios demuestran, que este tipo de rupturas generalmente ocurren a menos de 100 m de las paredes de las galerías, tajeos y vetas de la mina (*Gibowicz, et. al, 1992*).

DATOS

Los datos utilizados en el presente estudio consideran 2157 eventos extraídos del catálogo sísmico proveniente del sistema de Monitoreo Microsísmico diseñado por la *Integrated Seismic System (ISS)*, para la unidad minera El Porvenir de MILPO.

Estos datos corresponden al periodo setiembre 2006 hasta agosto 2008, todos con magnitudes locales entre - 2.0 a 2.05 **ML**.

DISTRIBUCION ESPACIAL DE LA SISMICIDAD

Según la **Figura 1**, la sismicidad en la unidad minera El Porvenir se distribuye espacialmente formando dos agrupamientos relacionados directamente con la operación minera. En el grupo ubicado en la zona norte (**ZN**), los sismos se distribuyen siguiendo una orientación oeste-este con un acumulado de **756** eventos. En la zona sur (**ZS**), los sismos se distribuyen con dirección norte-sur, presentando un total de **1401** eventos, lo cual sugiere que aquí existe una mayor densidad de sismos (**Figura 1a**).

En profundidad la sismicidad de la **ZN**, se agrupa en 2 niveles entre las cotas de 3400 a 3134 y 3120 a 2900 m.s.n.m. respectivamente. En esta zona se han producido los eventos sísmicos de mayor magnitud (2.0 **ML**), siendo algunos de ellos percibidos en superficie con intensidades de II y III (MM).

Del mismo modo, la sismicidad de la **ZS** se agrupa entre las cotas 3400 a 3133 y 3130 a 2860 m.s.n.m respectivamente. Aquí se tiene una mayor densidad de eventos sísmicos y en este caso, con magnitudes menores a 1.5 **ML**; por lo tanto, no fueron percibidos en superficie (**Figura 1b**).

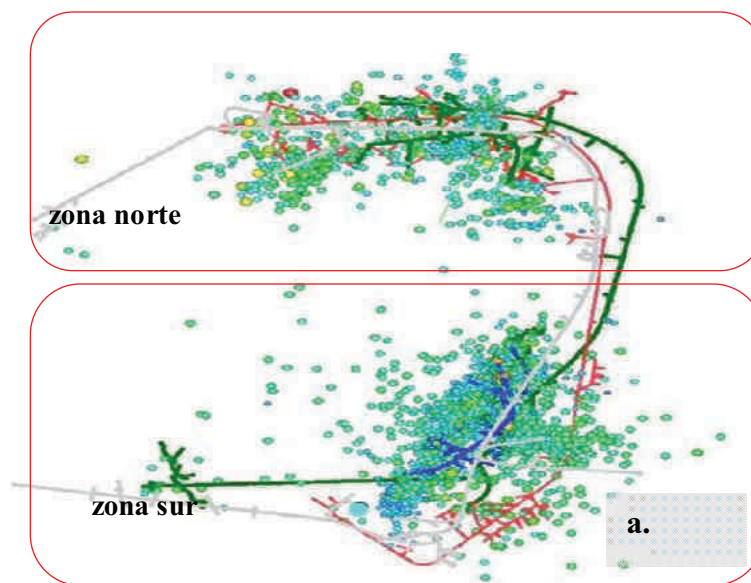


Figura 1 a. Vista en planta, mapa de sismicidad en la unidad minera El Porvenir: grupos de la zona sur y norte.

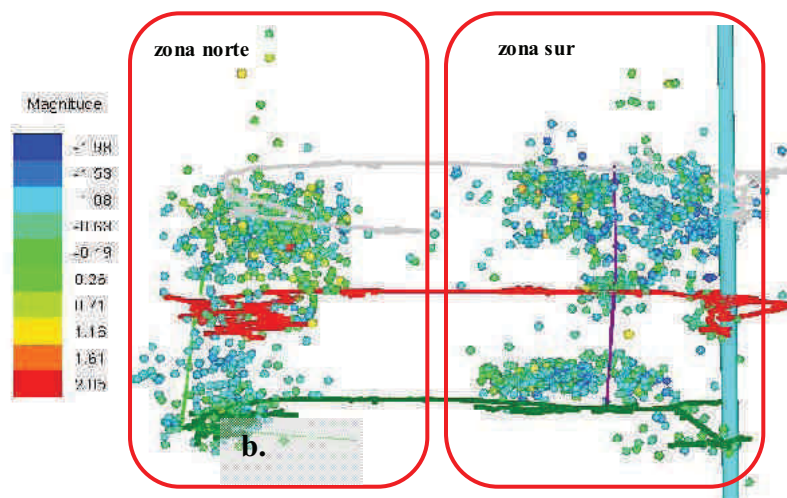
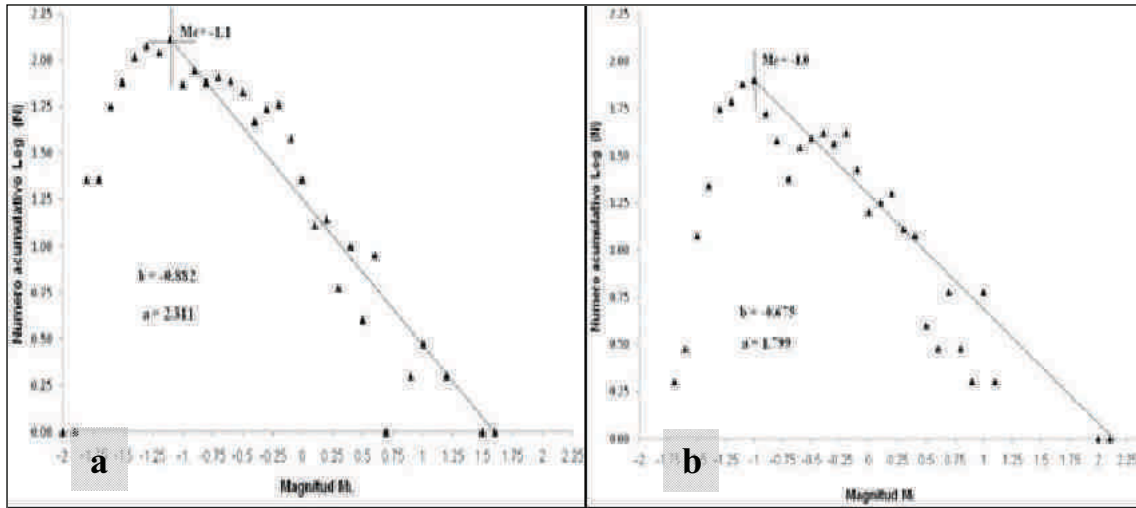


Figura 1 b.- Vista en profundidad, mapa de sismicidad en la unidad minera El Porvenir, el color de los círculos representa la magnitud de los eventos, denotada en la barra de color.

Anomalías del valor de “b”

La **ZS** reagrupa un total de **1401** eventos y la **ZN** **756** eventos, y según su distribución frecuencia–magnitud (**Figura 2**), la magnitud de completitud para la primera es de **-1.1 ML** y para la segunda de **-1.0 ML**. La pendiente o valor de “**b**” para la **ZS** es de **0.882** y para la **ZN** de **0.675**. De acuerdo a estos resultados, en ambas zonas se desarrolla diferentes procesos de deformación permitiendo sugerir que en la **ZN** existe mayor probabilidad de producir eventos de mayor magnitud con respecto a la zona **ZS**.



a 2.- Distribución de frecuencia-magnitud; a.) zona sur; b.) zona norte

Figur

Relación de ES/EP

Para calcular la relación **ES/EP** se ha estimado ambos valores por separado y luego fueron correlacionados linealmente para obtener:

En la **ZS** la correlación entre los valores de energía es representada con la siguiente relación:

$$\log E_p = 1.048 * \log E_s - 1.199$$

Los resultados sugieren que en la **ZS** la relación **ES/EP** varía con valores entre **1.0** a **1.5E+06** Joules (**Figura 3a**), siendo la mayor cantidad energía liberada por **Es**, equivalente al **96%** del total de sismos.

En la **ZN**, la correlación es la siguiente relación:

$$\log E_p = 1.069 * \log E_s - 1.017$$

Los resultados indican que **ES/EP** varía entre **1.0** a **1.E+05** Joules (**Figura 3b**), siendo los valores más altos para los eventos de mayor magnitud (**2.0** y **2.05 ML**). En este caso, la **ES** liberada representa el **83%** del total de energía.

De acuerdo a estos resultados, la relación **ES/EP**, sugiere que en la **ZS** prevalecen en mayor número los mecanismos de ruptura por cizalla y en la **ZN**, además de los mecanismos por cizalla, también es importante la presencia de procesos de ruptura por implosión o explosión en comparación con la **ZS**.

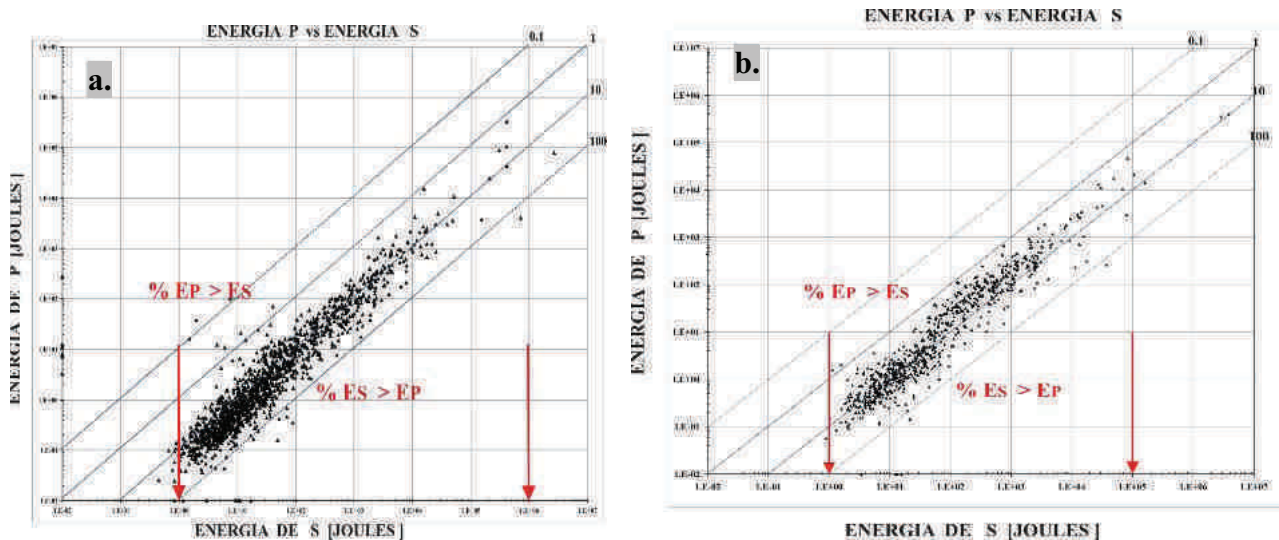


Figura 3.- Relación grafica logarítmica de EP vs ES; a.) Zona Sur; b.) Zona Norte

RESULTADOS

El análisis frecuencia-magnitud, permite observar que los procesos de acumulación de energía y deformación es heterogénea en todo el área de estudio. La diferencia en el valor de “b” sugiere que la ZN es más resistente a la ruptura que la ZS, lo que explicaría la ocurrencia de sismos de mayor magnitud (~ 2.0 ML). El bajo valor de “b” obtenido sugiere además, una alta probabilidad de producirse sismos de magnitud elevada.

El análisis de la relación ES/EP indica que en la ZS prevalecen los procesos de ruptura por cizalla y en la ZN la presencia de procesos de ruptura por implosión en buena cantidad.

Aunque los parámetros sísmicos hasta aquí analizados, desde ya contribuyen al conocimiento de los procesos de fracturamiento de rocas en minas profundas, es necesario indicar que se requieren mayores análisis con mayor tiempo de datos y que la calidad de los mismos permitan conocer la orientación de los esfuerzos que dieron origen a los sismos, así como analizar su distribución temporal y energía sísmica acumulada. Cuanto mayor sean, en número, los parámetros físicos a evaluar, mayor será el conocimiento a adquirirse a fin de preveer futuras ocurrencias de estallidos de rocas.

Una extensión del tema de investigación considera analizar la relación existente entre la sismicidad local y la regional a fin de establecer patrones que ayuden a comprender la presencia de sismicidad inducida en la mina El Porvenir.

REFERENCIAS

- Boatwright y Fletcher (1984) Bull. Seism. Soc. Am. 74, No. 2, 361-376.
- Dunlop (2008) I Simposio Internacional.- La Geofísica y su aporte en la reducción de riesgos de desastres naturales. Arequipa. Perú, Agos.
- Hudyma, et al (2003). Australian Centre for Geomechanics.- Mine Seismicity Risk Analysis Program. pp 19
- Gibowicz y Lasocki (1997) 4th International Symposium on Rockbursts and Sismicity and Seismicity in Mines (Kracow, Poland, Aug. 11-14, 1997). 437 pp.
- Gibowicz, et al. (1992) Bull Seismol. Soc. Am, 81:1157-1182.
- Gutenberg and Richter. (1944). Bull. Seismol. Soc. Am. 34:185-188.
- Heras y Tavera. (2002). XI Congreso Peruano de Geología. Lima.Sept. 137.
- Li, et al. (2007). International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 44, 1149–1171.
- Pan, et al. (2003).China Journal. Rock Mech Rock Eng, 22(11):1844–51.
- Prieto, et al.(2004) Journal. Geophys. Res., 109, B08310
- Urbancic y Trifu, (2000). Journal of Applied Geophysics 45. 225-237.
- Wiemer y Wyss, (1997). Journal. Geophys. Res. 102:15115-15128.