



# Grupo México

---

## Análisis de Sismicidad Rebaje 25–20 Unidad Minera Charcas

---

XXXVI Convención Internacional de Minería Acapulco 2025



## División Minería

- 1er lugar en producción de Cu en México y Perú.
- 3er lugar en Chile.
- 4to productor de Cu a nivel mundial.
- Mayores reservas de Cu a nivel mundial.
- Menores costos de extracción en la industria.
- Nueva visión de la minería.

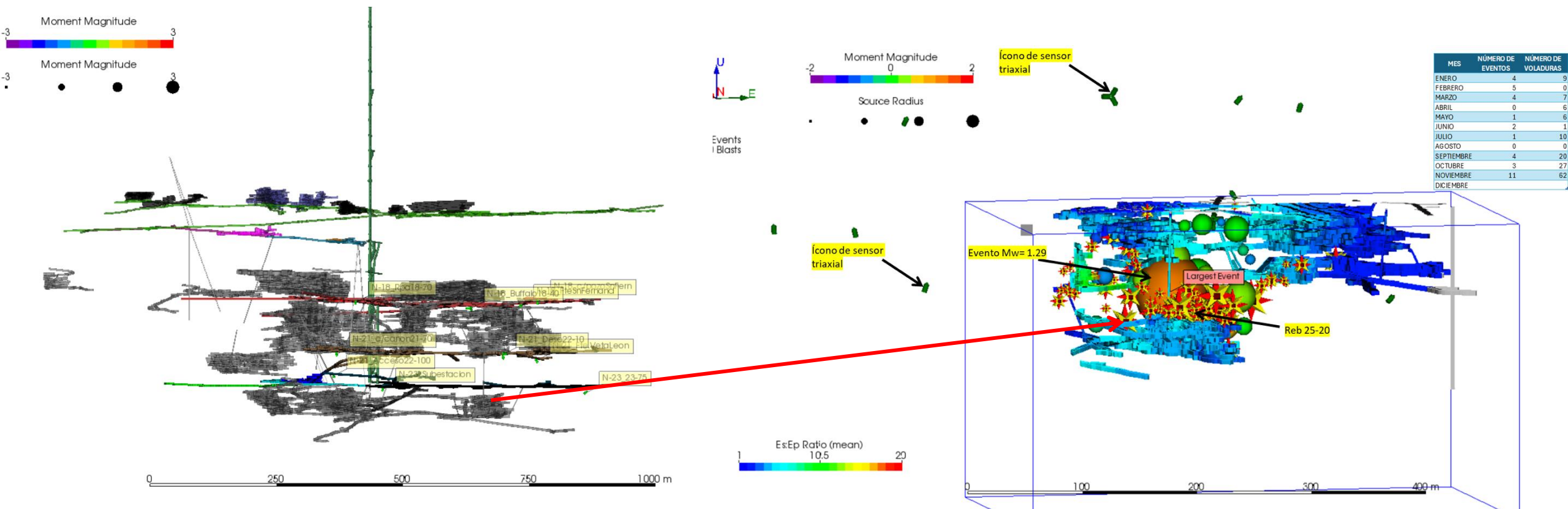
# Introducción

## Antecedentes:

- Sistema micro sísmico instalado desde 2015 con 10 sensores (acelerómetros y geófonos).
- 2015 y 2019 eventos de caída de roca o colapso a causa de eventos sísmicos.
- Durante el 2024 se tuvieron tres eventos micro sísmicos de  $M_w > 1.0$  en los cuales se aplicó el protocolo de evacuación de la mina.
- Evento registrado ( $M_w = 1.29$ ) el 28 de noviembre generó daños en concreto y obras que se tienen como acceso a zonas de producción, además, de provocar el colapso de un corte en el Reb 25-20.

## Objetivos:

- Determinar los **factores o causas que provocaron el evento sísmico de 1.29** magnitud momento del 28/11/2024.
- Conocer el **riesgo por evento sísmico** que se tiene en la zona del N-23 y sus obras cercanas (Reb. 25-20).
- Determinar las zonas que se requieren rehabilitar para minimizar el daño por eventos micro sísmicos



Vista isométrica con la ubicación de los sensores micro sísmicos (10) utilizados para el análisis del Reb. 25-20.

Vista isométrica de las obras mineras con la ubicación del evento Mw= 1.29, 150 eventos de voladuras y 35 eventos micro sísmicos más detectados del 01/01/2024-28/11/2024, además de mostrar la ubicación de los sensores usados para el análisis.

# Marco teórico

**Cai, Kaiser & Martin (2001)**

- Cercanía con obras mineras cercanas
- Emisión de señales acústicas y sísmicas.
- Detección por sistemas de monitoreo para ubicar daños o afectación.

**Cai & Kaiser (2018)**

- Rockburst:
- Daño que sufre una excavación o Soporte instalado.
- Evento sísmico violento y subido inducido por la actividad minera.

**Askaripour, Saeidi, Rouleau, & Mercier-Langevin (2022)**

- La orientación y magnitud del esfuerzo in situ > a la resistencia de la roca, podrían generarse fracturas en la roca y propagarse hacia las obras mineras.

**Hudyma & Potvin (2010)**

- Evento sísmico:
- Deformación del macizo rocoso product de una onda dinámica.
- Roca en proceso de rotura (cambio de esfuerzos y condiciones geológicas).

**Villaescusa, Thompson & Windsor (2018)**

- El incremento del esfuerzo o estrés inducido en las obras mineras subterráneas incrementa, puede estar seguido de movilización de estructuras geológicas que potencialmente causarían un fallo de gran magnitud .

**Mendecki (2023)**

- Riesgo sísmico:
- Probabilidad con alto
- potencial de tener un daño en un sitio dado.

**Cai y Kaiser (2018, p. 235-236)**

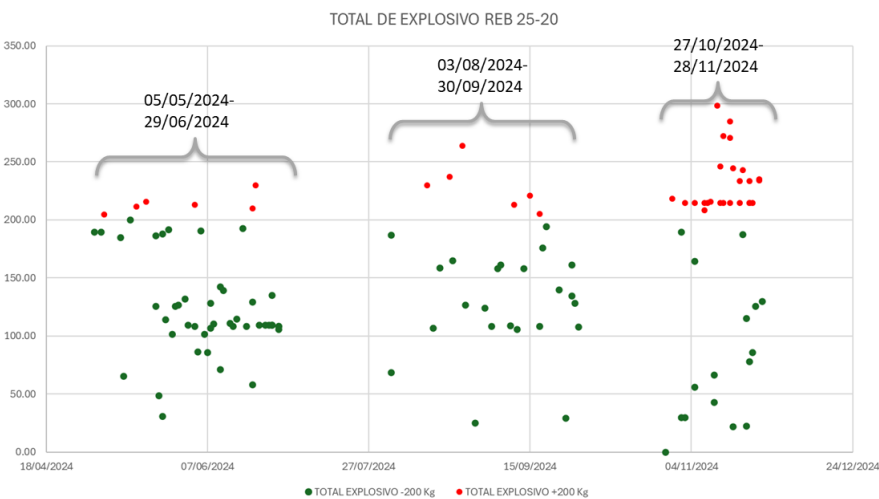
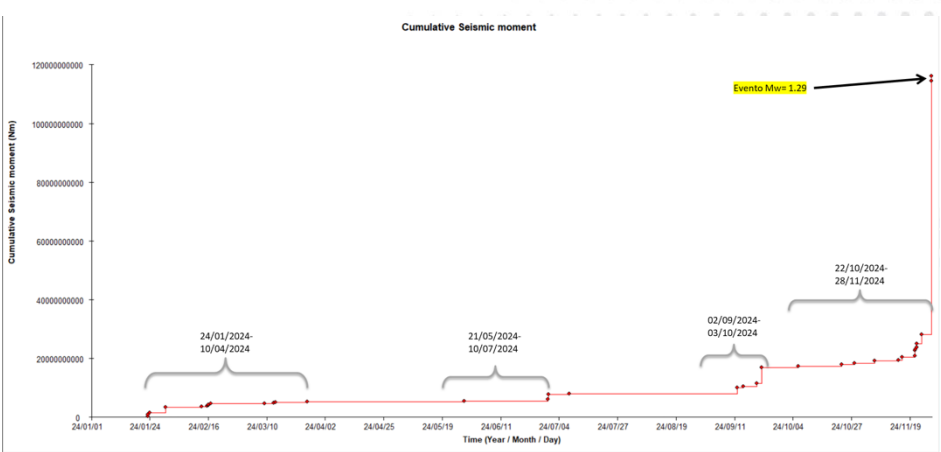
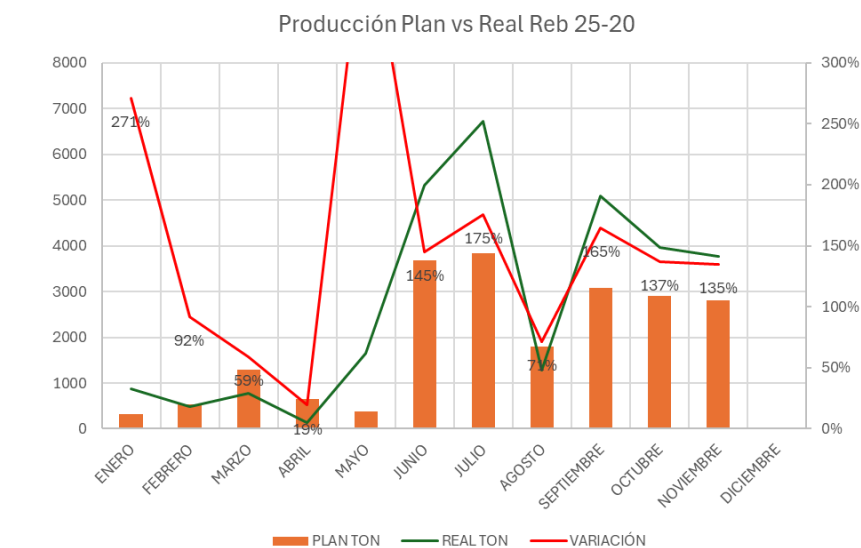
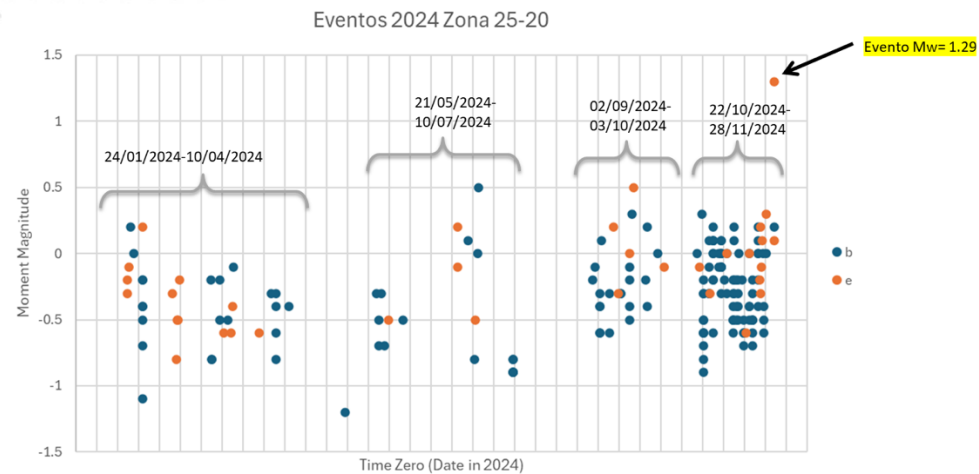
- Vulnerabilidad de la excavación a tener un daño por la cercanía a la Fuente que libera la energía.
- Daño a la excavación por exceso de energía liberada poe eventos sísmicos que pueden deformar obras.

**Potvin & Hudyma (2006)**

- Fallo por sismicidad en una mina:
- Estrés al que está sometida la roca, geología estructural e influencia de obras mineras cercanas.

# Resultados

## Análisis de la información sísmica





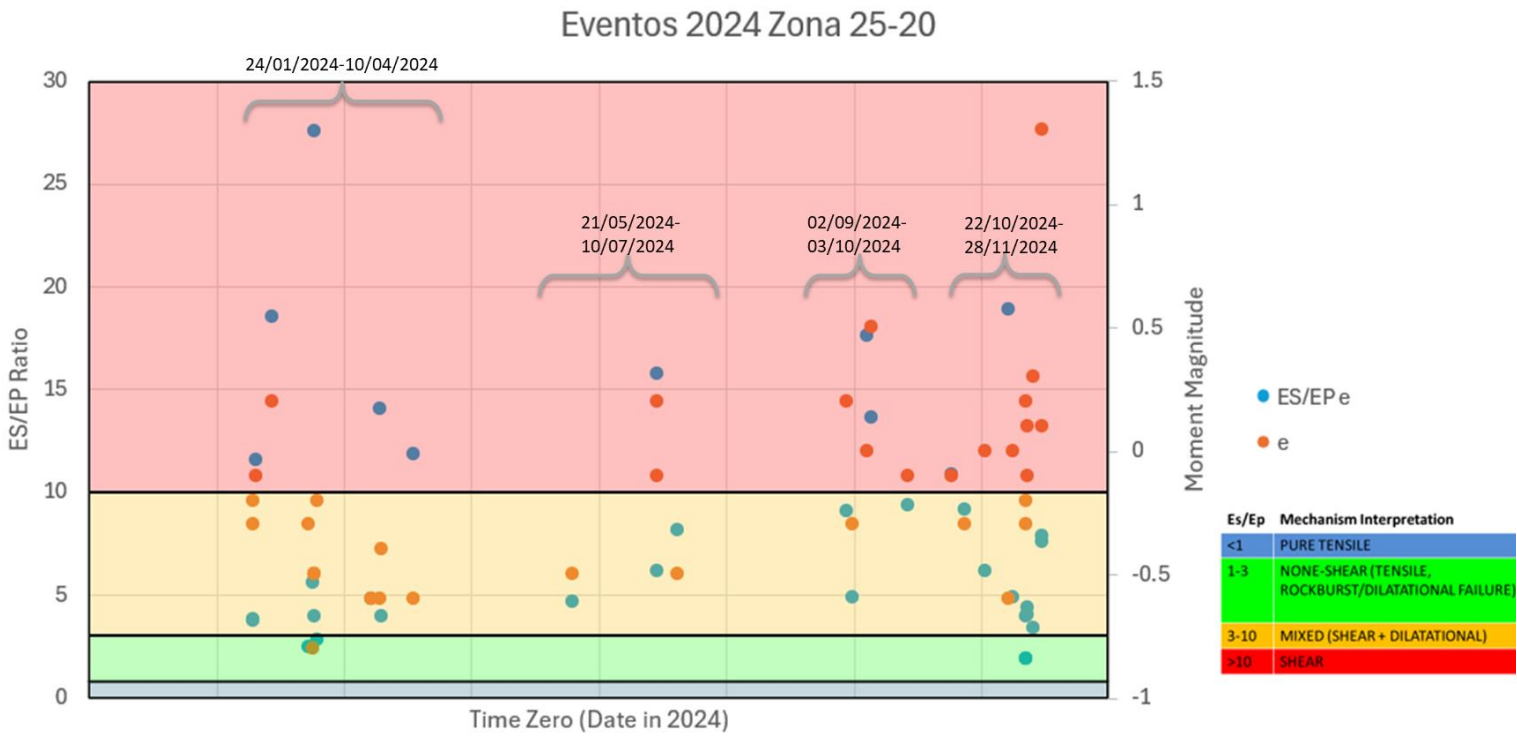
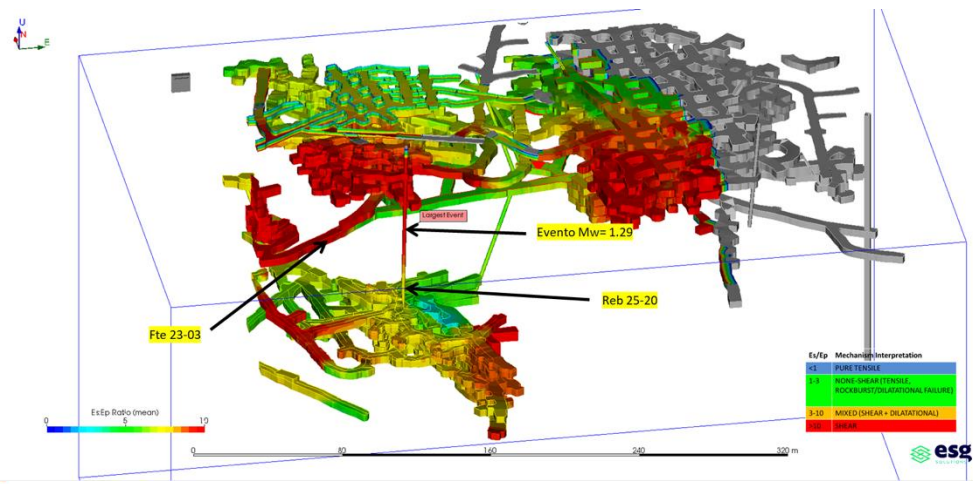


Gráfico que relaciona Es/Ep vs Magnitud momento de los eventos micro sísmicos cercanos al Reb 25-20.



Vista isométrica con los mecanismos de fallo en la zona cercana a donde se tuvo el evento de Mw= 1.29.

## Evaluación del riesgo sísmico

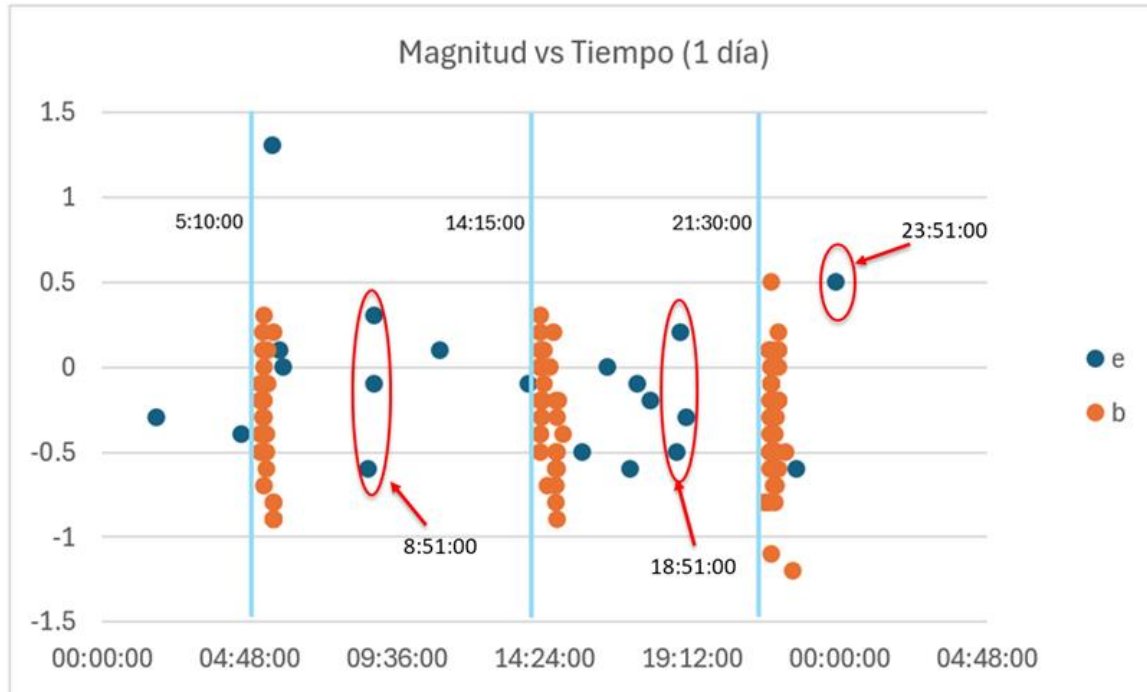
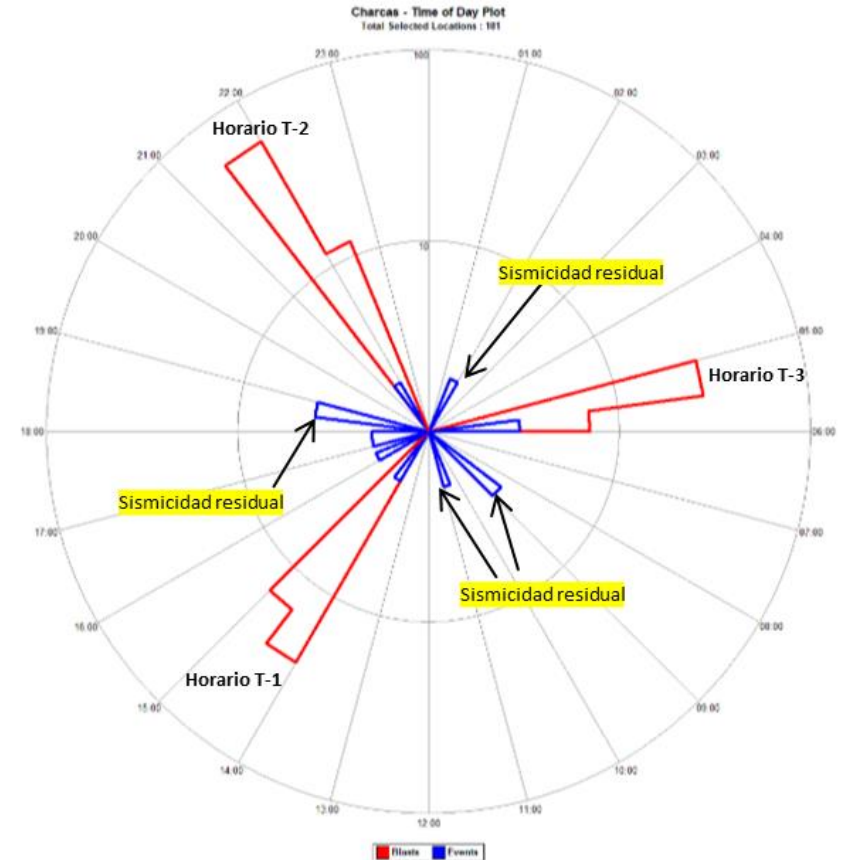
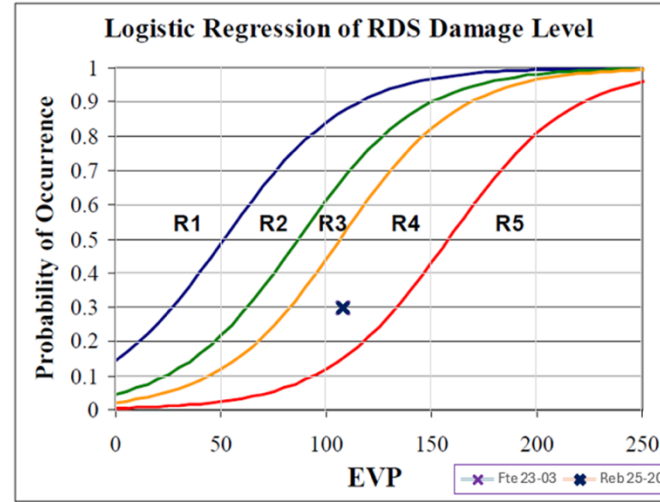
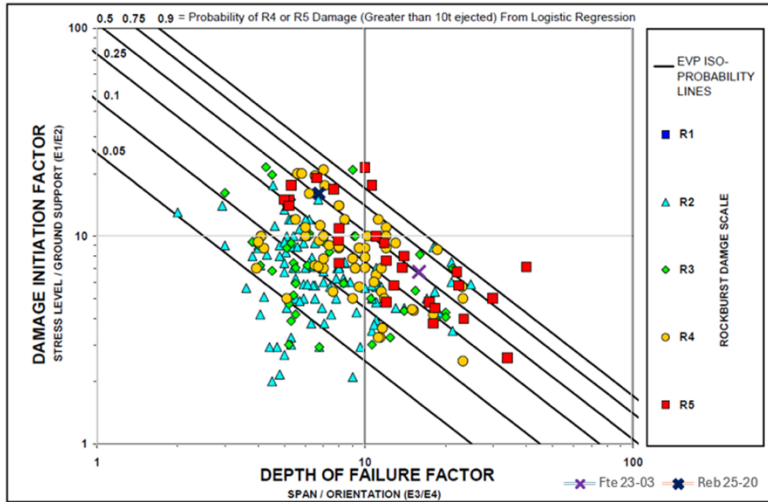


Gráfico que relaciona  $E_s/E_p$  vs Magnitud momento de los eventos micro sísmicos cercanos al Reb 25-20.



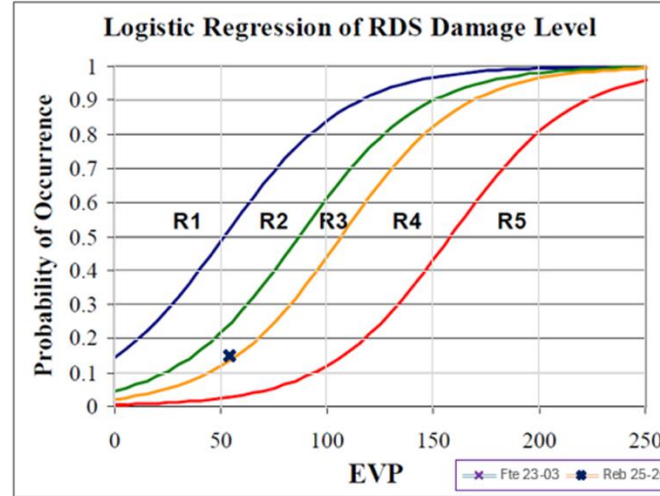
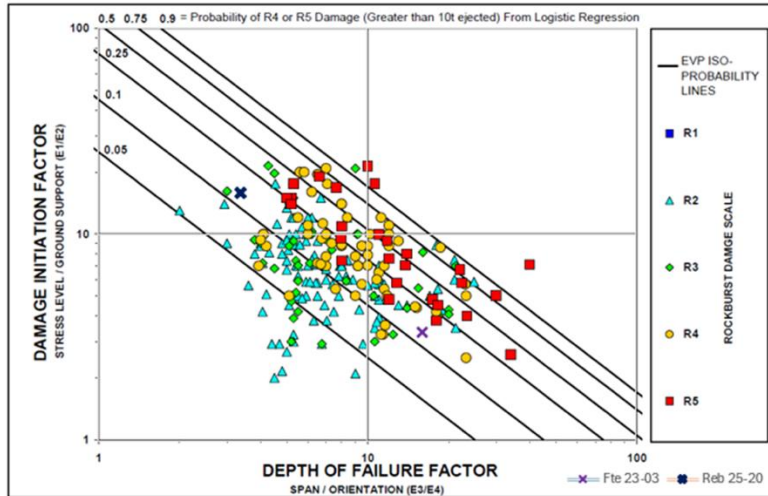
Roseta en la que se muestran los eventos sísmicos (color azul) y voladuras (color rojo).





## Potvin & Hudyma (2006)

Gráficos de regresión logística utilizados para determinar la probabilidad y escala de daño de las excavaciones (Fte 23-03 y Reb. 25-20) con el soporte actual (concreto lanzado y varilla corrugada).



Gráficos de regresión logística utilizados para determinar la probabilidad y escala de daño de las excavaciones (Fte 23-03 y Reb. 25-20) con el soporte propuesto (concreto lanzado, varilla corrugada, malla electrosoldada y cables de torones).

| VARIABLE  | VALORES<br>SOPORTE<br>ACTUAL | VALORES<br>SOPORTE<br>ADECUADO |
|-----------|------------------------------|--------------------------------|
| E1        | 34                           | 34                             |
| E2        | 5                            | 10                             |
| E3        | 8                            | 8                              |
| E4        | 1                            | 1                              |
| CATEGORÍA | R4                           | R3                             |

Tabla con la información utilizada para calcular la escala de riesgo en las que se encuentran las obras Fte 23-03 y Reb 25-20. torones).

| ROCKBURST DAMAGE SCALE | ROCK MASS DAMAGE                                     | SUPPORT DAMAGE   |                     |
|------------------------|--|--|---------------------|
| R1                     | NO ROCK MASS DAMAGE OR MINOR<br>LOOSE ROCK DISLODGED | NO DAMAGE TO THE SUPPORT<br>SYSTEM                             |                     |
| R2                     | MINOR DAMAGE, LESS THAN 1 TON<br>DISPLACED           | SUPPORT SYSTEM IS LOADED,<br>LOOSE IN MESH, PLATES<br>DEFORMED |                     |
| R3                     | 1-10 TON DISPLACED                                   | SOME BROKEN BOLTS  | ← Soporte Actual    |
| R4                     | 10-100 TON DISPLACED                                 | MAJOR DAMAGE TO SUPPORT<br>SYSTEM                              | ← Soporte Propuesto |
| R5                     | 100+ TON DISPLACED                                   | COMPLETE FAILURE OF SUPPORT<br>SYSTEM                          |                     |

Tabla con los resultados del análisis de daño por efecto sísmico con las condiciones de soporte actuales y propuestas (Potvin & Hudyma (2006).

# Conclusiones

- La sismicidad que se presentó y fue detectada por el sistema de monitoreo micro sísmico cercana al Reb 25-20 y Fte 23-03, está **directamente** relacionada con la **producción o extracción de mineral en dicho rebaje**.
- De acuerdo con el análisis de **energía liberada por las ondas S y P**, el valor medio estimado es de **8.39**, lo cual indicaría que la zona está en la **categoría de fallo en la que se combinan el corte con un componente de dilatación**.
- El estudio da como resultado que **existen eventos micro sísmicos hasta 4 horas posteriores** a los eventos de voladuras cercanas al rebaje de interés.
- Se **deberá cambiar el volumen de extracción** (bajar de 750 ton planeadas en promedio a 500 ton por semana) y/o secuencia de minado del Reb 25-20 y así mitigar la sobre explotación del rebaje.
- Establecer que la **cantidad de explosivo por voladura sea máxima de 200 kg**, debido a que eventos de voladura con explosivo mayor a 200 kg generan un incremento en la vibración y generación de ondas debido a la deflagración y alta intensidad del ANFO.
- Será necesario colocar el **soporte idóneo** de acuerdo con la **energía requerida** (cables y rehabilitación puntual) sobre la Fte 23-03 para reducir la probabilidad de afectación por eventos micro sísmicos posteriores y, además, monitorear semanalmente con puntos de control o escaneos para asociar la deformación en la obra con la magnitud momento de los eventos micro sísmicos cercanos a dicha obra.
- Realizar un **análisis de momentos focales** (Gibowicz & Kijko, 1994, p. 176-223) y tener la certeza si corresponde a un movimiento de una estructura y el tipo de desplazamiento

# Referencias

- Askaripour, M., Saeidi, A., Rouleau, A., & Mercier-Langevin, P. (2022). Rockburst in underground excavations: A review of mechanism, classification, and prediction methods. *Underground Space*, 577–607.
- Cai, M., & Kaiser, P. (2018). *Rockburst Support (Vol. 1: Rockburst phenomenon and support characteristics)*. Sudbury, Ontario: MIRARCO at Laurentian University.
- Cai, M., Kaiser, P., & C.D., M. (2001). Quantification of rock mass damage in underground excavations from microseismic event monitoring. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*(38), 1135–1145.
- Gibowicz, S., & Kijko, A. (1994). *An Introduction to Mining Seismology*. San Diego: Academic Press, Inc.
- Hudyma, M., & Potvin, Y. (2010). *An Engineering Approach to Seismic Risk Management in Hardrock Mines*. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 1–20.
- J. Mendecki, A. (2023). Seismic Ground Motion Alerts for Mines. *Journal of Seismology*, 27, 599–608.
- Potvin, Y., & Hudyma, M. (2006). *Evaluating Rockburst Damage Potential in Underground Mining*.
- Villaescusa, E., Thompson, A., & Windsor, C. (2018). Probabilistic estimate of rock mass static and dynamic demands for underground excavation stabilisation. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*(11), 481–493.



# Grupo México

---

“Todo tiene un inicio, todo inicia con la Minería”

---

Gracias!!!!