

CASO DE ESTUDIO – RELLENO DE CAVIDAD

Informe de Inyección N.º: 12-06-2025

Fecha: 12/06/2025

Contacto en Weber Mining & Tunnelling:

Anthony Ferrenbach - General Manager Américas

Salomon Cervantes - Líder de Operación México

INTRODUCCIÓN

En una mina subterránea de roca dura en México, el desarrollo de una galería tuvo un colapso. La zona afectada abarcó aproximadamente entre 7 y 10 metros de longitud, siendo la **altura de la cavidad** uno de los factores más desafiantes desde el punto de vista técnico y operativo.

La situación generó una serie de riesgos críticos, encabezados por el más importante: **la seguridad del personal** que transita por la zona, **el colapso espontáneo** del macizo y **peligro cinético** por posibles caídas de rocas de alta energía. **La integridad de las personas siempre es la prioridad principal** ante cualquier condición de inestabilidad subterránea.

Además, se identificaron los siguientes riesgos adicionales:

1. **Desprendimiento espontáneo del macizo rocoso**, como consecuencia de la pérdida de confinamiento natural.
2. **Riesgo cinético**, derivado de la posible caída de bloques con alta energía.
3. **Daños potenciales a equipos móviles y maquinaria operativa** en el área colapsada.
4. **Interrupción de la vía de acceso** hacia otras zonas de la mina, afectando directamente la continuidad de las operaciones.

Reconociendo la gravedad de la situación, la mina aseguró rápidamente el perímetro e instaló **marcos de acero** como medida de contención inicial para la sección afectada. Sin embargo, el vacío entre los arcos y la masa rocosa superior permanecía expuesto, comprometiendo la estabilidad estructural de la galería e impidiendo el acceso seguro.

Weber Mining & Tunnelling fue consultado para implementar una solución de relleno de cavidad rápida, segura y confiable.

DESAFÍOS IDENTIFICADOS

- Riesgo de nuevos colapsos por inestabilidad del macizo
 - Posibilidad de impacto por caída de rocas desde gran altura
 - Necesidad de mínima exposición del personal durante la intervención
 - Línea de tiempo crítica para restaurar el acceso y la operación minera
-

SOLUCIÓN PROPUESTA

Weber Mining recomendó el uso de **MARIFOAM® GS**, una espuma organo-mineral a base de silicato, diseñada específicamente para el relleno de grandes vacíos en entornos subterráneos.

Ventajas de MARIFOAM® GS:

- Alta tasa de expansión, asegurando cobertura completa del volumen
- Rápido tiempo de fraguado, proporcionando resistencia mecánica temprana
- Eficaz en presencia de agua
- Resistente al fuego y químicamente estable

Se movilizó al sitio una **bomba neumática Multi-Standard**, que permitió una inyección continua a una tasa promedio de **45 m³/hora**, facilitando un relleno eficiente de la cavidad.

METODOLOGÍA

Dada la estabilidad del área y la presencia de marcos de acero previamente instalados, se adoptó una estrategia de inyección directa. Se seleccionaron diversos puntos de inyección estratégicamente ubicados por encima de los marcos, con el objetivo de asegurar una distribución homogénea del material y un óptimo relleno de la cavidad.. Esta aproximación permitió a la espuma expandirse verticalmente dentro de la cavidad.



Figura 1: Relleno de cavidad con resina expansiva

Los componentes de MARIFOAM® GS fueron inyectados en una **proporción 1:1** utilizando una pistola de mezcla especializada. Una vez combinados, la espuma comenzó a expandirse de inmediato, navegando por el vacío y ejerciendo **presión positiva** contra las paredes y techo de la cavidad.

Esta presión positiva es clave: resulta fundamental un relleno completo, incluso en geometrías altamente irregulares, sino que también actúa como un **mecanismo de soporte activo**, reforzando la excavación.

Además, la **ligereza y estabilidad química** de la espuma evitan cargas adicionales sobre estructuras existentes, garantizando durabilidad. Su característica **Sin contracción volumétrica** asegura que el vacío permanecerá completamente ocupado una vez fraguado, evitando asentamientos o colapsos secundarios. La espuma también penetra en **fracturas pequeñas y microvacíos**, reforzando zonas inestables adyacentes.

Otro beneficio clave es su **estructura flexible**. Incluso ante movimientos del terreno o redistribuciones de esfuerzo, MARIFOAM® GS mantiene su cohesión sin agrietarse ni separarse. Esto conserva la integridad estructural del relleno con el tiempo. Además, en caso de nuevas caídas de roca, su naturaleza **compresible** le permite absorber y **redistribuir la energía generada por el impacto**, funcionando como un sistema dinámico de disipación de energía. Esto protege tanto a los elementos estructurales como a los marcos metálicos y refuerza la capacidad de soporte del conjunto.



Figura 2: Cavity asegurada con resina expansiva

Adicionalmente, MARIFOAM® GS aporta ventajas sobre materiales de relleno convencionales:

- **Insensibilidad al agua:** su reacción y propiedades mecánicas no se ven afectadas por la humedad
- **Reducción logística:** su alta expansión requiere poco volumen de producto base
- **Retroalimentación inmediata durante la inyección:** el comportamiento puede ser monitoreado por presión
- **Relación óptima entre rigidez y compresibilidad:** ideal para zonas con convergencia o dinámica del macizo

Estos efectos permiten una **reentrada segura** a la zona rellena y ayudan a **redistribuir cargas geomecánicas**, optimizando el desempeño de los marcos de acero y otras estructuras de soporte.

OBSERVACIONES Y RENDIMIENTO

El entorno confinado de la cavidad potenció la eficiencia de MARIFOAM® GS:

- Excelente **ascenso vertical**, que permitió a la espuma adaptarse y cubrir los contornos superiores de la cavidad, incluso en zonas con geometría irregular.
- Lecturas de presión uniformes durante la inyección, hasta el aumento de presión en los varios puntos de inyección, indicando el relleno completo.
- Su compresibilidad y cohesión crearon una **interfaz de distribución de carga** con los marcos metálicos

En pocas horas, la cavidad fue completamente rellena.



Figura 3: Rehabilitación de la galería tras el relleno con resina expansiva

RESULTADOS

- **Estabilización total** de la cavidad con una sola configuración de inyección
- **Acceso inmediato** restaurado tras el curado
- **Cero incidentes** durante y después de la operación
- Continuidad operativa sin demoras adicionales

CONCLUSIÓN

Esta intervención demuestra la adaptabilidad y eficacia de MARIFOAM® GS en entornos subterráneos de alto riesgo. La capacidad de realizar una inyección de alto volumen desde diversos puntos, junto con su desempeño mecánico, ofreció una solución segura, eficiente en costos y técnicamente sólida.

La cavidad ha sido rellena, la galería reabierta, y la estructura superior reforzada con una matriz de soporte capaz de absorber y redistribuir cargas.