minería chilena
Fecha: 18/07/2025 Audiencia: 0 Sección: ACTUALIDAD
Vpe: $1.153.437 Tirada: 0 Frecuencia: MENSUAL
Vpe pág: $1.399.440 Difusión: 0
Vpe portada: $1.399.440 Ocupación: 82,42%

Reportaje

Foto: B2B Media Group

Operaciones de minera subterránea.

PREVENCIÓN FRENTE A EVENTOS TELÚRICOS:

¿Cómo está

preparada la minería chilena frente a los grandes terremotos?

Chile ha sido escenario de algunos de los terremotos más poderosos registrados en la historia. En este contexto, la minería —columna vertebral de la economía nacional— debe operar bajo estrictos estándares de seguridad y prevención frente a este tipo de amenazas naturales.

Desde el desarrollo de normativa especializada hasta la integración de tecnologías avanzadas y monitoreo en tiempo real, expertos del sector público, académico y científico analizan cuán preparada está la gran minería chilena ante un gran sismo.

Sernageomin: normativa y fiscalización ante riesgos sísmicos

Para Luis Briceño, subdirector Nacional de Minería(s) de Sernageomin, la preparación sísmica en minería comienza desde el diseño mismo de las faenas. A través de una serie de instrumentos legales y técnicos, el organismo regula todas las etapas del ciclo de vida de una operación, con foco en garantizar la estabilidad estructural frente a eventos naturales.

"Las exigencias establecidas por Sernageomin, a través de sus principales instrumentos normativos —como el Decreto Supremo N° 132, el Decreto Supremo N° 248 y la Ley N° 20.551 sobre Cierre de Faenas— abarcan todas las etapas del ciclo de vida de una instalación minera, desde su diseño hasta el cierre definitivo.

Briceño repasa cómo los grandes terremotos han sido un punto de inflexión para robustecer la normativa, en particular en lo referido a depósitos de relaves, y detalla los principales hitos regulatorios.

"Los grandes terremotos ocurridos en Chile han tenido un impacto determinante en la evolución de la legislación de seguridad minera", dice el profesional.

En un país sísmico, esta industria productiva **ha fortalecido normas, tecnología y operaciones para enfrentar grandes eventos** de esta naturaleza.

minería chilena
Fecha: 18/07/2025 Audiencia: 0 Sección: ACTUALIDAD
Vpe: $1.141.347 Tirada: 0 Frecuencia: MENSUAL
Vpe pág: $1.399.440 Difusión: 0
Vpe portada: $1.399.440 Ocupación: 81,56%

Fiscalización Sernageomin.

Asimismo, destaca que Sernageomin mantiene protocolos específicos para actuar tras un evento sísmico significativo en zonas mineras. Relata en esta línea que "Sernageomin activa una serie de mecanismos de monitoreo y control inmediatos y coordinados tras la ocurrencia de un sismo relevante".

Desde la normativa a la operación: visión gremial de la preparación sísmica

Desde la perspectiva de la industria, el sector minero no solo ha debido adaptarse a una exigente normativa, sino también desarrollar una cultura preventiva y operativa frente a los eventos sísmicos. Así lo plantea Reinaldo Salazar, gerente de Estudios de la Sociedad Nacional de Minería (Sonami), quien destaca los avances y desafíos del rubro en esta materia.

El ejecutivo afirma que la minería chilena —y en particular la subterránea— ha fortalecido su capacidad de respuesta ante eventos de esta naturaleza, desarrollando una cultura de seguridad reforzada. Expone los siguientes puntos:

1. Evaluación del gremio sobre la preparación del sector minero:

-El sector minero, y en particular la minería subterránea, cuenta con una larga trayectoria en la gestión del riesgo sísmico. Muchas faenas han desarrollado una cultura de seguridad reforzada, con departamentos dedicados al monitoreo geotécnico y sísmico, procedimientos de evacuación y protocolos robustos de fortificación.

-Chile, al ser uno de los países más sísmicos del mundo, cuenta con una normativa exigente que se considera en todas las etapas del diseño y operación minera. Más allá del cumplimiento normativo, las operaciones de gran escala han incorporado tecnología de punta y prácticas preventivas que permiten anticiparse y mitigar los efectos de estos fenómenos.

2. Prácticas implementadas por las empresas:

-Entre las prácticas más comunes se encuentran los sistemas de monitoreo sísmico en tiempo real, estaciones geotécnicas permanentes, simulacros y procedimientos de emergencia adaptados. En muchos casos, las minas subterráneas han habilitado refugios de seguridad en zonas críticas, con comunicación autónoma y suministros básicos.

-La automatización de procesos ha contribuido a reducir la exposición directa de trabajadores a zonas de riesgo, facilitando operaciones más seguras incluso bajo condiciones adversas.

3. Brechas en faenas de menor escala:

-Efectivamente, existen brechas importantes. Las faenas de menor escala, especialmente en zonas remotas, enfrentan dificultades para acceder a tecnologías de monitoreo sísmico, contar con personal especializado e infraestructura reforzada.

-Muchas faenas pequeñas carecen de brigadas

minería chilena
Fecha: 18/07/2025 Audiencia: 0 Sección: ACTUALIDAD
Vpe: $1.109.911 Tirada: 0 Frecuencia: MENSUAL
Vpe pág: $1.399.440 Difusión: 0
Vpe portada: $1.399.440 Ocupación: 79,31%

De Izq. a Der.: Luis Briceño, subdirector Nacional de Minería(s) de Sernageomin.

Reinaldo Salazar, gerente de Estudios de la Sonami.

Amin Hekmatnejad, profesor asociado del Departamento de Minería de la Universidad de Chile.

Dr. Sergio León-Ríos, sismólogo e investigador del AMTC

Dra. Diana Comte, sismóloga e investigadora del AMTC

de emergencia internas, lo que dificulta una respuesta oportuna ante incidentes mayores.

-Es fundamental avanzar en políticas públicas que apoyen la adopción de estándares mínimos de seguridad en toda la industria, fomentando soluciones modulares, acceso a financiamiento y asesoría técnica para operaciones más pequeñas.

AMTC: tecnología, monitoreo y alerta temprana

Desde la vereda científica, el Dr. Sergio León-Ríos, sismólogo e investigador del Advanced Mining Technology Center (AMTC), explica que si bien los sismos no pueden predecirse, las herramientas actuales permiten conocer mejor el entorno y preparar respuestas más efectivas.

"Primero que todo, hay que recordar que los sismos no se pueden predecir (...) preparar planes de acción ante algún temblor de magnitud importante", sostiene el profesional de la AMTC.

En ese sentido, el trabajo desarrollado por el AMTC en tomografía sísmica pasiva ha permitido integrar información geológica para optimizar los procesos de exploración.

"La aplicación de la tomografía sísmica pasiva (...)reducir costos en una etapa donde cada peso es crucial", añade.

La Dra. Diana Comte, también sismóloga e investigadora del AMTC, pone el foco en las limitaciones de los sistemas de alerta temprana, especialmente ante sismos cercanos al epicentro.

La investigadora expresa que "tal como se ha dicho muchas veces, el mejor inspector de obras es el terremoto mismo (…) no hay alerta temprana que funcione porque el tiempo de aviso sería muy corto."

"Existen trabajos científicos que han identificado algunos sistemas de fallas en Chile", afirma Comte.

Desafíos estructurales y diseño resiliente

A juicio del académico Amin Hekmatnejad, profesor asociado del Departamento de Minería de la Universidad de Chile, la preparación frente a sismos debe incorporar una mirada integral y multiescenario, que abarque desde rajos y túneles hasta relaves e infraestructura crítica. Precisa:

1- El primer gran desafío es caracterizar y predecir el comportamiento dinámico del macizo rocoso [...] detectar 'hot spots' de falla.
2- Estabilidad de taludes y botaderos en rajo abierto
3- Presas y depósitos de relaves

Reinaldo Salazar: "Muchas faenas han desarrollado **una cultura de seguridad reforzada, con departamentos dedicados al monitoreo geotécnico y sísmico,** procedimientos de evacuación y protocolos robustos de fortificación".

4- Control de roca en minería subterránea profunda
5- Gestión y toma de decisiones bajo un marco multiescenario
6- Estabilidad de la infraestructura minera

Desde su experiencia, Hekmatnejad resalta también diversas buenas prácticas en diseño estructural, monitoreo y prevención de licuefacción en relaves, túneles y rajos:

-Open pit:

"Para mejorar la estabilidad de los taludes frente a sismos, el diseño debe (1) incorporar explícitamente la carga sísmica mediante análisis dinámicos 3-D con FEM/DEM que verifiquen que el factor de seguridad no descienda por debajo de 1,0 durante el pulso sísmico; (2) implementar un control activo de aguas subterráneas mediante desagüe mecánico que reduzca la presión de poros y el riesgo de licuefacción; (3) mantener una geometría tipo valle evitando crestas convexas para limitar la amplificación topográfica de las aceleraciones; (4) retirar la capa meteorizada y minimizar los contrastes de rigidez recortando el talud hasta exponer roca competente; y (5) En monitoreo, los radares interferométricos de alta frecuencia se han transformado en estándar; combinados con algoritmos IA que analizan tendencias de velocidad y aceleración, permiten anticipar deslizamientos antes del colapso".

Foto: B2B Media Group

Operaciones de minera subterránea.

-Túneles y galerías:

"Para absorber cargas dinámicas se utilizan pernos de energía como D-Bolt® y UniPass®, capaces de deformarse plásticamente sin perder capacidad de anclaje. En monitoreo, redes triaxiales de micro-sismicidad pueden alimentar modelos predictivos para delimitar zonas de liberación súbita de energía".

-Tranques de relaves:

"Las presas de relaves deben priorizar la construcción aguas abajo o en la línea central para una mayor estabilidad sísmica, con el apoyo de evaluaciones de riesgo sísmico, modelado dinámico y análisis probabilístico. Los diseños deben incorporar relaves drenados y una zonificación basada en las propiedades del material para mitigar los riesgos de licuefacción. Las presas aguas arriba son más vulnerables debido a su dependencia de relaves no consolidados y generalmente se desaconsejan en zonas sísmicas, a menos que estén reforzadas y bien monitoreadas. El monitoreo en tiempo real mediante geófonos, acelerómetros y sistemas de alerta temprana activados por sismo permite la detección de eventos sísmicos y facilita inspecciones rápidas. Los piezómetros, sensores de presión de poro, InSAR y radares terrestres permiten la detección temprana de licuefacción, filtraciones y deformación superficial para una gestión proactiva de riesgos."

No obstante, el académico advierte que la actual normativa aún presenta vacíos importantes frente al riesgo sísmico real. mch