

MINERÍA CHILENA (M.R.) ISSN 0716-1042,
Editada por: B2B MEDIA GROUP



Proyecto piloto HDS en El Soldado.
Foto: Gentileza Anglo American

MINERÍA CHILENA

Consejo Editorial:

Jorge Riesco, Jorge Cantalalpo, Jerónimo Verdugo, Sergio Hernández, Ignacio Gauca, Francisco Acuña, Sebastián Pérez, Macarena Vallejo y Osvaldo Pastén.

Columnista: Santiago Oliva, Ingeniero Nuevas Tecnologías de Litio, Proyecto Salares Altoandinos, Enami

B2B Media Group

- **Gerente General:** Cristián Solís
csolis@b2bmg.cl
- **Editora:** Aracelly Pérez-Kallens
aperezkallens@b2bmg.cl
- **Subeditor Técnico:** Daniel Rojas
drojas@b2bmg.cl
- **Periodista:** Álvaro Guerrero
aguerrero@b2bmg.cl
- **Gerente TI:** Oscar Sánchez
osanchez@b2bmg.cl
- **Gerente Inteligencia Mercados:** Luis Ramírez
lramirez@b2bmg.cl
- **Jefe Finanzas:** Alex Céspedes
acespedes@b2bmg.cl
- **Encargado Suscripciones:** Rubén Villarroel
rvillarroel@b2bmg.cl
- **Fotografía:** Archivo B2B Media Group
- **Diseño Gráfico y Producción:**
Alejandra Barraza y Gloria Azócar
- **Impresión:** Gráfica Andes

MINERÍA CHILENA es una publicación mensual independiente, que no cuenta con patrocinios de ninguna naturaleza. La revista está disponible por suscripción, solicítela por Internet en: www.mch.cl o al **Depto. Suscripciones:** Rubén Villarroel, Tel.: +56 2 2757 4222, rvillarroel@b2bmg.cl

Suscripción: Anual \$69.990 (c/IVA), Estudiantes: \$35.000 (c/IVA). Ejemplar atrasado \$11.900 (c/IVA). Suscripción extranjero: EE.UU. y América del Sur US\$230; Centro América y Canadá US\$285; Europa y Resto del Mundo US\$320. En Chile, la revista se distribuye en forma gratuita a profesionales y ejecutivos de compañías mineras que trabajan directamente en labores de exploración, extracción, molienda, fundición y refinería de minerales metálicos y no metálicos; y a ejecutivos de organismos oficiales relacionados con la minería. Toda suscripción de cortesía es enviada solo a la dirección de la empresa donde trabaja el suscriptor.



6

Relaves:

Claves para una disposición segura y sostenible

Editorial	5	Panorama global en el mercado de litio y oportunidades para Chile	43
Columna de opinión Santiago Oliva, Ingeniero Nuevas Tecnologías de Litio, Proyecto Salares Altoandinos, Enami	13	Informe Técnico • Servicios de laboratorios: Soporte para el cumplimiento ambiental	56
VP Ejecutivo Operaciones: Collahuasi impulsa su evolución a través de la algoritmificación de sus procesos	15	• Bombas y válvulas: Eficiencia Energética en los sistemas de impulsión	60
Carlos Carmona: “Buscamos consolidar el rol del IIMCh como generador de tendencias en la industria minera”	21	• Sistemas de Tuberías en Minería: Oportunidades de mejoras desde lo técnico	64
Panorama hídrico: La industria minera frente al escenario nacional	25	Minería Sustentable Relaves, recuperación de minerales: Del “patio trasero” a ser protagonistas como recursos estratégicos	68
Women in Mining Chile: Avances y desafíos destacados en la Cena Anual 2024	31	Multotec Chile: “Estamos conscientes de las cada vez más altas exigencias de la minería en Sudamérica”	72
Andrés Rebolledo: “América Latina deberá aumentar la producción de litio más de diez veces en los próximos 20 años”	37	Mercado minero	73
Encuentro Anual AIC: El impulso de la ingeniería a la sostenibilidad	40	Índice Avisadores	76



De cero a 10

¿Cuánto nos preocupamos?

Hace unos días, el Banco Central dio cuenta de que, de acuerdo con la información preliminar, el Imacec de septiembre de 2024 no presentó variación en comparación con igual mes del año anterior.

Al respecto, la entidad detalló que la producción de bienes cayó 2,3% en términos anuales, resultado que se explicó principalmente por el resto de bienes, en particular por el menor valor agregado de la generación eléctrica. Sin embargo, pese a las cifras negativas, la minería presentó un crecimiento de 0,2%.

En ese contexto, son diversas las voces que hablan de la importancia de implementar urgentemente medidas que permitan dar un nuevo impulso al crecimiento económico nacional, donde aspectos como la permisología concentran la preocupación de la industria.

A ello se suma la reciente elección de Donald Trump como nuevo Presidente de Estados Unidos, hecho que ha alimentado la incertidumbre sobre los efectos que tendrán en el plano global las políticas que implemente en materia económica y la relación que establezca con China, impactando por ejemplo en la demanda por minerales críticos, y por ende, en las proyecciones de crecimiento de la industria minera nacional.

Hace poco, Chile también fue escenario de procesos electorarios, que implicaron una serie de cambios en los gobiernos locales y regionales; a lo que se agrega la renuncia de diversas autoridades, que se preparan para ser parte de las próximas elecciones parlamentarias y presidenciales, factores

que incidirán en el ritmo de la discusión legislativa de iniciativas que concentran la atención de las empresas, como por ejemplo las dirigidas a resolver los desafíos de la permisología.

Todos estos hechos dan cuenta de una realidad cambiante, desafiante por decirle menos, pero en la que ciertas inquietudes persisten, tal como la urgencia del combate al cambio climático, y el rol que Chile y su industria minera poseen ante dicha tarea. A esta altura del año, tampoco es posible negar el cansancio y el desgaste propio de meses de intensa actividad, en el que las compañías productoras y las empresas proveedoras han procurado dar lo mejor de sí para una actividad económica, como la minería, que no descansa.

Ante todo ello, la invitación es a redoblar los esfuerzos de todos quienes son parte del ecosistema

Las compañías productoras y las empresas proveedoras **han procurado dar lo mejor de sí** para una actividad económica, como la minería, que no descansa.

minero, porque frente a las diversas preocupaciones que pudieran existir, la prioridad es ocuparse y enfocarse en lo que estamos haciendo bien, en el marco de un sector productivo que los últimos años ha sabido superar una serie de desafíos, como por ejemplo la pandemia del Covid, aprender de dichos logros, y ver qué se puede mejorar, a partir del esfuerzo, el conocimiento y la entrega de quienes han convertido a Chile en un país minero de clase mundial. **mch**

Relaves:

Claves para una disposición segura y sostenible

A worker in an orange safety vest and white hard hat is operating a surveying instrument on a large-scale mining tailings disposal site. The site features long, parallel ridges of tailings material under a clear blue sky. In the background, a long, elevated conveyor system is visible.

El ecosistema minero desarrolla mecanismos para evitar la ocurrencia de algún incidente, ante los riesgos, que generan la actividad sísmica y los eventos climáticos extremos.

osición



Foto: Cemiliza Anglo American

Tranque Las Tórtolas de Anglo American.

En un contexto donde el cambio climático impone cada vez mayores desafíos, la disposición segura de los relaves se convierte en una prioridad para la industria minera nacional.

La dra. Cynthia Torres, directora ejecutiva del Ciptemin, explica que “la gestión adecuada de estos depósitos es crucial no sólo para minimizar el impacto ambiental, sino que también para garantizar la seguridad de las comunidades cercanas. En Chile, donde la actividad sísmica y los eventos climáticos extremos son parte de la nueva realidad, el manejo de relaves debe considerar los riesgos geotécnicos y geoquímicos”.

En esa línea, menciona que “los desafíos están, justamente, en la normativa de construcción, las nuevas tecnologías para la materialidad de los relaves, la recuperación de agua y de metales preciosos o tierras raras, así como en el desarrollo de nuevos materiales de construcción y técnicas para los tranques de relaves”.

Agrega que “es fundamental considerar el diseño de sis-

temas de impermeabilización en los depósitos de relaves, como los geotextiles, y la implementación de métodos que minimicen la infiltración de agua y la exposición de los relaves a agentes oxidantes. Incorporar nuevas tecnologías, como los relaves espesados o filtrados, es clave para reducir el contenido de humedad, lo que disminuye los riesgos de contaminación y mejora la estabilidad química y física de las instalaciones”.

Esto es complementado por Christian Ihle, profesor asociado del Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile, quien advierte que “la planificación de una disposición segura de relaves requiere una visión holística, que integre desde la fase inicial del proyecto el cierre y la estabilidad física a perpetuidad del depósito. Este compromiso a largo plazo impacta las decisiones de diseño, operación y planificación presupuestaria”. “Para ello, es fundamental una caracterización exhaustiva del relave, que incluya su composición química, propiedades geotécnicas y potencial de generar drenaje ácido. Simultáneamente, se deben evaluar las condiciones climáticas del sitio, con especial atención a eventos extremos como lluvias torrenciales o terremotos, y la hidrogeología, considerando la interacción del depósito con las aguas superficiales y subterráneas para prevenir

la contaminación”, añade el académico.

El profesional, quien es además gerente de Innovación de Shimin Ingeniería, recalca que “el diseño de la estructura de contención debe garantizar la estabilidad a largo plazo, considerando la geotecnia del terreno y la gestión de riesgos, incluyendo la identificación de peligros potenciales y la implementación de medidas de mitigación. Complementariamente con los aspectos técnicos, es importante evaluar el impacto ambiental en la flora, fauna y la calidad del agua, incorporando tempranamente a las comunidades locales. El cierre del depósito debe ser planificado desde el inicio, incluyendo la rehabilitación del área, el control del drenaje ácido y la revegetación, considerando especies con potencial para la fitorremediación”.

Gestión sostenible

Marco Pavez, jefe de Tranques y Agua de Anglo American, comenta que “la gestión segura de los relaves es clave para todo yacimiento minero, dado que la continuidad operacional y la extracción de los minerales dependen del buen manejo de los estériles y de relaves generados como parte del proceso minero”. En su visión, los factores más relevantes para considerar al momento de gestionar la disposición de relaves de manera segura son:



De Izq. a Der.:
 Dra. Cynthia Torres, directora
 ejecutiva del Ciptemin.
 Christian Ihle, profesor asociado
 del Departamento de Ingeniería de
 Minas de la Universidad de Chile.
 Marco Pavez, jefe de Tranques y
 Agua de Anglo American.

- Mantener una caracterización adecuada de los relaves que se manejan.
- Conocer la ubicación geográfica del depósito de relaves, lo que permite manejar la topografía propia de la zona del depósito, y conocer sus características geológicas y geotécnicas, la sismicidad del área y sus condiciones climatológicas e hidrográficas.

- Conocer y mantener actualizado el diseño y asegurar una construcción y operatividad que proporcionen seguridad a los depósitos de relaves, debido a que en estas etapas se definen y materializan las condiciones que rigen su estabilidad.
- Se debe mantener una gobernanza sólida para la gestión segura de los relaves.
- Se debe considerar los posibles impactos ambientales y sus medidas de monitoreo y control aprobadas en los permisos ambientales correspondientes.
- Es de vital importancia

asegurarse que el diseño, construcción, operación y vigilancia del depósito de relaves, cumpla la normativa local, las regulaciones aplicables y con los estándares de gestión segura de relaves.

• Factores sociales, como la proximidad de depósitos de relaves a comunidades vecinas, deben ser manejados adecuadamente.

De igual forma, Benigno Godoy, académico investigador de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño de la Universidad San Sebastián (USS), alude al hecho que “mediante el control de los materiales con los que se construyen los relaves se

SHIMIN
INGENIERÍA

EXPERTOS EN RELAVES

NOSOTROS DISEÑAMOS,
Y TODO FLUYE...

www.shimin.cl

puede lograr una disposición segura teniendo en consideración los diversos factores de riesgo a los que están expuestos estos desechos de diversos procesos mineros”. “Asimismo, conocer las composiciones de los materiales que se depositan en dichos relaves es otra forma de resguardar un tratamiento más seguro en estos procesos, lo anterior se puede conseguir a través de análisis químicos que permitan determinar estas composiciones”, añade el especialista.

Por su parte, Christian Ihle sostiene para asegurar la estabilidad física a perpetuidad, “el proyecto debe concebirse con sistemas de drenaje eficientes y un programa de monitoreo continuo. En cuanto a la contención de infiltraciones, los sistemas activos, que requieren intervención humana y consumo de energía, tienen mayores costos de operación y mantenimiento que los pasivos, que aprovechan procesos naturales, como por ejemplo humedales construidos. Si bien los sistemas pasivos requieren una mayor inversión inicial, su costo a largo plazo es menor”.

Monitoreo y estabilidad

Entre 2016 y 2024, Fundación Chile ejecutó el Programa Tranque, que “aborda brechas de gestión que han sido relevadas en distintas

hojas de ruta y políticas de la minería y que apuntan a proteger tanto a las comunidades aledañas como el medio ambiente y así asegurar la licencia social para operar; una iniciativa con un fuerte componente de innovación tecnológica”, afirma Carla Calderón, jefa de Proyecto de la Gerencia de Sustentabilidad de la entidad.

En el marco de dicha iniciativa “se diseñó e implementó un sistema de monitoreo y alerta temprana transparente basado en estándares de monitoreo y evaluación de la estabilidad física y de la estabilidad química de los depósitos de relaves, con el objetivo de entregar información oportuna y confiable acerca del desempeño de estos ámbitos tanto a la

compañía minera como a la autoridad y a las comunidades”, explica la profesional de FCH.

Destaca además que este sistema de monitoreo y alerta temprana actualmente se encuentra operando en modo piloto en Sernageomin con el seguimiento de un tranque de relaves y, en conjunto con Fundación Chile, se está trabajando para que durante 2024 y comienzos de 2025, se sumen otros cuatro tranques de relave y de esa manera se vaya encaminando hacia la consolidación del Observatorio Nacional de Relaves.

En ese contexto, es relevante mencionar el trabajo que realiza Anglo American, que ante fenómenos climáticos extremos y sismos de gran

La disminución de las leyes de mineral trae aparejado mayores volúmenes de material a movilizar.



Foto: Cariflexa, Ministerio de Minería

La gestión segura de los relaves **es clave para todo yacimiento minero**, dado que la continuidad operacional y la extracción de los minerales dependen del buen manejo de los estériles”, Marco Pavez.



Foto: Centileza Anglo American

Anglo American ha procurado incorporar diversos avances en la gestión de sus relaves.

intensidad, ha implementado el estándar Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM por su sigla en inglés), “fortaleciendo las medidas que aseguran un comportamiento adecuado de sus depósitos de relaves. La adherencia al GISTM refleja el compromiso de Anglo American de buscar permanentemente mejorar el desempeño de los depósitos de relaves en términos de estabilidad, junto a la actualización de los estudios geológicos geotécnicos, sísmicos e hidrológicos en cada uno de los depósitos de relaves de nuestra compañía. Esto ha permitido verificar que el diseño de nuestros depósitos es capaz de resistir eventos sísmicos de gran magnitud, así como condiciones climáticas extremas”, expone Marco Pavez.

Añade que “paralelamente, estamos desafiándonos para ir más allá, en línea con nuestro enfoque de innovación y sustentabilidad FutureSmart

Mining TM, a través del cual hemos implementado diversas acciones con foco en la introducción de nuevas tecnologías, para contar con operaciones cada vez más seguras, sustentables y eficientes, que convivan en armonía con los territorios que las acogen”.

Al respecto, Pavez destaca la tecnología de Apilamiento Hidráulico Deshidratado (HDS por su sigla en inglés – Hydraulic Dewatered Stacking): “Se trata de un sistema de disposición de relaves que, mediante una metodología y configuración estratégica, permite el desaguado de los relaves in situ, generando una mayor recirculación y reciclaje de agua, mayor compactación y estabilidad de la superficie, y una más rápida remediación ambiental del terreno al momento del cierre”.

Desde la academia

Con miras a la sostenibilidad del sector, entidades como la Universidad Adolfo Ibáñez (UAI) se encuentran realizando “cursos especializados, tales como Relaves Mineros, Geomecánica y Geotecnia Aplicada, abordan aspectos esenciales como el diseño de infraestructuras mineras y la influencia de factores sísmicos y climáticos en su estabilidad. Se profundiza en análisis de taludes, caracterización de materiales granulares y ensayos In-situ, aspectos clave para garantizar la estabilidad a

largo plazo de los depósitos mineros”, precisa Miguel Herrera, académico de la Facultad de Ingeniería y Ciencias.

“Los estudiantes también tienen la oportunidad de aplicar conceptos teóricos en la práctica, utilizando equipos de prospección geotécnica y geofísica, y accediendo a la escuela mina planta UAI, donde se lleva a cabo la caracterización de materiales mineros y se evalúa su estabilidad. En el ámbito de la investigación, el programa de magíster en ingeniería se enfoca en la caracterización de botaderos, la medición de resistividad eléctrica para analizar la saturación del suelo, estudios sobre licuefacción y aplicaciones de shotcrete, entre otros temas relevantes para la minería”, suma a lo anterior.

En tanto, Ricardo Moffat, otro de los académicos de esta Facultad, resalta el hecho que en la UAI “se abordan investigaciones en hidrometalurgia, orientadas a la recuperación eficiente de metales de interés económico, lo que no sólo maximiza el aprovechamiento de recursos, sino que también mitiga el impacto ambiental asociado a la gestión de residuos mineros. La implementación de tecnologías innovadoras en esta área promete mejorar la eficiencia en la recuperación y reducir costos, impulsando así el avance en el sector. Adicionalmente, en el

campo de la bioingeniería, se investigan técnicas de fitorremediación, utilizando plantas resistentes que facilitan la restauración de ecosistemas degradados y contribuyen a la adaptación al cambio climático, promoviendo la recuperación de la biodiversidad local”.

A ello se suma el que “en Ciptemin contamos con espacios de pruebas para realizar pilotajes simulando pilas de lixiviación y relaves, diseñarlas y ponerlas a prueba desde el punto de vista estructural. Todo esto está a disposición para probar tecnologías antes de que lleguen a la pequeña, mediana y gran minería, y de esta manera evitar posibles accidentes”, relata la Dra. Cynthia Torres.

La autoridad del Ciptemin deja ver que “actualmente tenemos alianzas con empresas especialistas en análisis de materiales y geotecnia, y cuentan con un laboratorio avanzado de materiales que se diferencia de los análisis tradicionales que realizan otras empresas. Esta alianza nos permitirá trabajar en el análisis de vibraciones y del comportamiento de la roca en términos de su resistencia frente a vibraciones y fragmentación”. “Al contar con espacios disponibles para pilotear nuevas tecnologías, podemos evitar riesgos en la operación, especialmente en un área tan compleja como la de los relaves”, recalca.



En tanto, Andrés González, gerente general del Centro Nacional de Pilotaje (CNP), alude al rol que poseen en la validación de nuevas tecnologías orientadas a lograr la disposición segura de relaves.

“Algunas soluciones innovadoras han sido piloteadas por el CNP, como proyectos de conversión de relaves en materiales de construcción -lo que es la revalorización de los relaves y su disminución de estos pasivos

Por otro lado, “si hablamos de eventos telúricos y eventos climáticos extremos hay sistemas de monitoreo que también hay que validar y predecir cómo está el cuerpo del relave, el espejo y también ir viendo cómo evoluciona en el tiempo la sensorización también, y temas de estabilidad de las estructuras o muros de los tranques, de manera de poder monitorear”, asevera la autoridad del CNP. Junto con ello, en cuanto a

De Izq. a Der.:

Carla Calderón, jefa de Proyecto de la Gerencia de Sustentabilidad de Fundación Chile.

Miguel Herrera, académico de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Adolfo Ibáñez.

Ricardo Moffat, académico de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Adolfo Ibáñez.

Benigno Godoy, académico investigador de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño de la Universidad San Sebastián

Andrés González, gerente general del Centro Nacional de Pilotajes.

La gestión adecuada de estos depósitos es crucial no sólo para minimizar el impacto ambiental, sino que también **para garantizar la seguridad de las comunidades** cercanas”,

Dra. Cynthia Torres

ambientales-; así como nuevas tecnologías que buscan reducir el volumen de los relaves o generar su consumo parcial, optimizando su manejo. También existen enfoques que trabajan en la filtración y manejo del agua, lo que disminuye los riesgos, aumentando el porcentaje de sólidos en estos RISes”, aterriza.

la previsión de eventos telúricos y climáticos extremos, afirma que “se están validando sistemas de monitoreo y sensorización que permiten predecir el comportamiento de los tranques de relaves, tanto el cuerpo del relave, el espejo, el nivel del agua; como la evolución en el tiempo de la estabilidad de las estructuras y muro”. **mch**