

enlace minero

Año 13 / #54
Ene-Mar 2026



SHELL LUBRICANTS

Diseñado para **superar desafíos**



www.enlaceminero.com

RUBIA

LUBRICANTES



Visita nuestra página
web para conocer a
nuestros distribuidores

200+
APROBACIONES
DE
FABRICANTES DE
VEHICULOS Y EQUIPOS
PESADOS*



TotalEnergies

Innovación en lubricantes para todo tipo de motor

Protege tus equipos con los lubricantes Powershift Dynatrans, formulados para operar en condiciones extremas. Gracias al sistema de monitoreo ANAC, analizamos el estado del aceite, asegurando un rendimiento óptimo, mayor protección y una vida útil prolongada del lubricante. Esto permite extender los intervalos de drenado y reducir costos operativos.

totalenergies.mx

[TotalEnergiesMexico](https://www.facebook.com/TotalEnergiesMexico)

[TotalEnergiesMX](https://twitter.com/TotalEnergiesMX)

[totalenergies_mx](https://www.instagram.com/totalenergies_mx)

serieEV
vehículo eléctrico



MacLean Engineering, con vista a las necesidades inmediatas y futuras de la demandante operación minera subterránea, ha ampliado su línea de productos para ofrecer alternativas que permitan que la productividad en sus operaciones se incremente, utilizando alta tecnología que encamine a operaciones más seguras y limpias.

Contamos con la capacidad en México de fabricar nuestros reconocidos equipos a Diesel, ahora en sus versiones a Batería BEV.

Electrificación de Flota Completa | EV probado, EV listo

NUESTRO COMPROMISO CON LA SEGURIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD MINERA ES PROFUNDO.

Tel: (442) 479-8803
macleanengineering.com
jporras@macleanengineering.com

MacLean
Rendimiento. Fiabilidad. Innovación.



QUIMICA TEUTON

PRODUCTOS QUÍMICOS PARA LA INDUSTRIA MINERA



LÍDER EN EL MERCADO

CON 35 AÑOS EN LA INDUSTRIA MINERA

SERVICIOS:

INVESTIGACIÓN METALÚRGICA



CONTACTO

(33) 3811-0370
(33) 3810-0493
(33) 3810-9323

CONTACTO@QUIMICATEUTON.COM
WWW.QUIMICATEUTON.COM

PRODUCTOS

● FLOTACIÓN DE MINERALES

- ESPUMANTES.
- MODIFICADORES DE SUPERFICIE.
- COLECTORES.
- DEPRESORES.
- XANTATOS.

● SUPRESORES DE POLVO

● TRATAMIENTO DE AGUA

- FLOCULANTES.
- ANTIINCRUSTANTES.
- DISPERSANTES.

● AYUDAS DE FILTRADO

- DESHIDRATANTES.

MERCADO INDUSTRIAL te conecta con una amplia y diversa variedad de inventarios de equipos industriales, mineros y refacciones multimarcas disponibles, ahorrando tiempo y recursos



MERCADO INDUSTRIAL

+ 10, 000 clientes satisfechos



Presencia en México, Centro y Sudamerica

**Si cuentas con activos fuera de operación,
somos tu mejor opción para su comercialización.**

Explora nuestros inventarios con más de 8 mil publicaciones en:

mercadoindustrial.com.mx

6621680047

ventas@mercadoindustrial.mx

compras@mercadoindustrial.mx

MENSAJE DEL DIRECTOR

Minería en Transformación: Estrategia, Ciencia y Sostenibilidad para un Futuro Fragmentado

La minería moderna se encuentra en un punto de inflexión. En un entorno global marcado por la fragmentación geopolítica, la transición energética y la presión regulatoria, el sector enfrenta el reto de reinventarse sin perder su esencia productiva. Este nuevo número de Enlace Minero ofrece una mirada profunda y estratégica a los pilares que sostienen esa transformación.

Abrimos con un análisis técnico sobre la optimización de rampas subterráneas, donde el diseño inteligente, la seguridad operacional y la eficiencia energética se entrelazan como elementos clave para una minería más competitiva y resiliente. En un contexto donde cada metro excavado representa una inversión significativa, repensar la infraestructura subterránea no es solo una cuestión de ingeniería, sino de visión estratégica.

En paralelo, abordamos el fenómeno de los minerales críticos, protagonistas de una nueva arquitectura minera global. Litio, cobalto, tierras raras y otros elementos esenciales para la transición energética están redefiniendo las prioridades de exploración, inversión

y diplomacia. En un mundo fragmentado, estos recursos se han convertido en activos geopolíticos, y su gestión exige una lectura más compleja y multidisciplinaria.

La geología estructural, a menudo relegada a un segundo plano, emerge en este número como una herramienta poderosa en la exploración y prospección. Comprender las estructuras profundas del subsuelo permite no solo mejorar la precisión de los modelos geológicos, sino también reducir riesgos y optimizar recursos. Es, en muchos sentidos, la clave oculta que puede marcar la diferencia entre el éxito y el fracaso de un proyecto minero.

Finalmente, proyectamos los retos de la industria minera hacia 2026, un horizonte donde convergen nuevas regulaciones ambientales, volatilidad de mercados y la necesidad urgente de una visión estratégica que integre sostenibilidad, innovación y responsabilidad social. La minería del futuro no será solo más tecnológica, sino más consciente de su rol en el equilibrio global.

Este número de Enlace Minero invita a pensar, debatir y construir. Porque en tiempos de cambio, la mejor herramienta es el conocimiento.

Juan Carlos Piña Rodríguez
Dirección Enlace Minero
Latinoamérica



Directorio

Enlace Minero, revista trimestral

Director general:

Juan Carlos Piña Rodríguez

Editora Ejecutiva:

Adriana Quintero Bonilla

Editor Asociado:

Juan De Dios Magallanes Quintanar

Redacción y Corrección de Estilo:

Adriana Quintero Bonilla

Gerente de Marca & Marketing:

Flor Selene Cerros Muro

Gerente Comercial:

Juan Carlos Piña Rodríguez

Colaboración Fotográfica:

James Hodgins

info@miningindustrialphotographer.com

www.miningphotog.com

Enero- Marzo 2026

No. De certificado de reserva de derechos al uso exclusivo 04-2013-121613250800-102

No. De certificado de Licitud de título y Contenidos: 16437

Domicilio de la publicación:

Av. Sierra Madre #433 -2 Colinas del padre, Zacatecas. C.P. 98085.

ventaslatinoamerica@enlaceminero.com

direccion@enlaceminero.com

+52 (492) 1056598

www.enlaceminero.com

La opinión de nuestros colaboradores no necesariamente refleja la línea editorial de esta revista.

Prohibida la reproducción total o parcial de contenidos para fines de lucro, para otros fines, citar referencia.

CONTENIDO

Optimización de rampas
subterráneas: diseño, seguridad y
eficiencia como pilares de la minería
moderna

8



Exploración Renovada en México para
Asegurar el Reemplazo de Reservas:
Pilar Estratégico para un Crecimiento
Minero Sostenible

18



Minerales Críticos: La Nueva
Arquitectura de la Minería Global
en un Mundo Fragmentado y en
Transición

28



Geología estructural: La clave
oculta en la exploración y
prospección minera

32



Programas y Procedimientos de
Seguridad en la Industria Minera:
Eficiencia, Evolución y Futuro

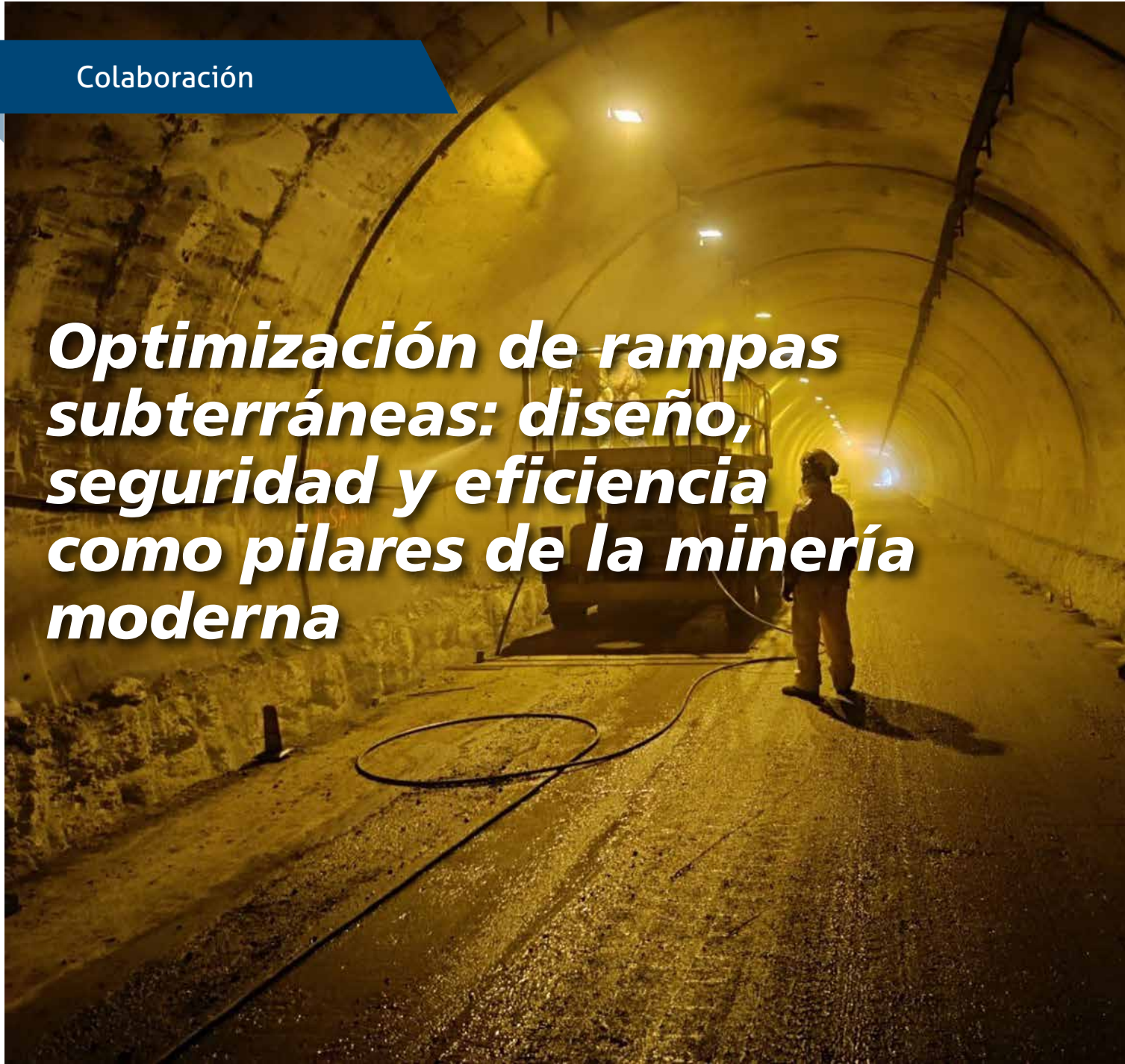
38



“Retos de la Industria Minera
en 2026: Regulación, Mercado y
Visión Estratégica para un Sector
en Transformación”

44





Optimización de rampas subterráneas: diseño, seguridad y eficiencia como pilares de la minería moderna

Introducción

En la minería subterránea contemporánea, la eficiencia operativa y la seguridad del personal dependen en gran medida de decisiones de diseño que, en muchos casos, se toman durante las primeras etapas

de planeación del proyecto. Entre estas decisiones, el diseño y la optimización de las rampas subterráneas representan uno de los factores más críticos, ya que estas infraestructuras constituyen el eje principal de acceso, transporte y

conectividad dentro de la mina.

Las rampas subterráneas no solo permiten el tránsito de equipos y personal entre niveles, sino que también funcionan como corredores fundamentales para la ventilación, el tendido de



servicios, la evacuación en emergencias y, en muchos casos, como parte integral del sistema de producción. Un diseño inadecuado puede traducirse en mayores tiempos de ciclo, incremento en costos operativos, deterioro acelerado de

equipos, condiciones inseguras y, en el peor de los escenarios, en accidentes graves o fallas estructurales. En este contexto, la optimización de rampas subterráneas debe entenderse como un proceso integral que combina ingeniería geotécnica, análisis operacional, evaluación económica y la aplicación de tecnologías emergentes. Este artículo aborda de manera detallada los principios de diseño, los criterios de seguridad, las estrategias de eficiencia operativa, las innovaciones tecnológicas y diversos casos de éxito que demuestran cómo una adecuada gestión de rampas subterráneas puede transformar significativamente el desempeño de una operación minera.

La función estratégica de las rampas en minería subterránea

Desde una perspectiva histórica, las rampas surgieron como una alternativa flexible a los sistemas de tiros verticales y planos inclinados, permitiendo el uso de equipos móviles para el desarrollo y la explotación. Con el tiempo, su rol se ha expandido hasta convertirse en verdaderos sistemas logísticos subterráneos. En una mina moderna, la

rampa principal suele ser el primer acceso al yacimiento y se convierte en la columna vertebral de la operación. A partir de ella se desarrollan niveles, subniveles y accesos secundarios, configurando una red que condiciona la secuencia de minado, la ventilación y el transporte. Por esta razón, cualquier mejora o deficiencia en su diseño tiene un impacto transversal en toda la operación.

Además, las rampas influyen directamente en la flexibilidad del plan minero. Un trazado bien concebido permite ajustes en la secuencia de explotación, facilita expansiones futuras y reduce la necesidad de desarrollos adicionales costosos. Por el contrario, una rampa mal ubicada o con parámetros geométricos inadecuados puede convertirse en un cuello de botella permanente.

Criterios fundamentales de diseño geométrico

El diseño geométrico de rampas subterráneas es una disciplina que combina normas técnicas, experiencia operativa y criterios específicos del yacimiento. Entre los parámetros más relevantes se encuentran la pendiente longitudinal, el radio de curvatura, la sección transversal y el perfil longitudinal.

La pendiente es uno de los factores más sensibles, ya que condiciona el desempeño de los equipos de transporte. Pendientes excesivas incrementan el consumo de combustible, aceleran el desgaste de frenos y neumáticos, y reducen la velocidad de ascenso con carga. En la mayoría de las operaciones subterráneas, las pendientes suelen oscilar entre el 8% y el 15%, dependiendo del tipo de equipo, la longitud de la rampa y las condiciones del macizo rocoso. La optimización de este parámetro implica encontrar un equilibrio entre minimizar la longitud total de la rampa y mantener condiciones operativas seguras y eficientes.

Los radios de curvatura, tanto horizontales como verticales, también juegan un papel clave. Curvas cerradas dificultan la maniobrabilidad de los equipos, incrementan el riesgo de colisiones y reducen la velocidad de operación. En minas donde se emplean camiones de gran tamaño, los radios mínimos deben ser cuidadosamente evaluados desde la etapa de diseño conceptual, considerando no solo las dimensiones del equipo, sino también factores como el peralte, la visibilidad y el espacio para bermas de seguridad.

La sección transversal de la rampa debe garantizar un tránsito seguro y eficiente. Esto incluye el ancho necesario para el paso

de los equipos, el espacio para servicios, cunetas de drenaje y, en algunos casos, carriles de circulación diferenciados. Una sección subdimensionada puede generar congestiones y elevar el riesgo de accidentes, mientras que una sección sobredimensionada incrementa los costos de excavación y sostenimiento. Profundización geotécnica en el diseño y optimización de rampas subterráneas. Desde el punto de vista geotécnico, las rampas subterráneas representan uno de los desarrollos más desafiantes dentro de una mina, ya que suelen atravesar grandes extensiones del macizo rocoso, intersectar múltiples dominios geomecánicos y





mantenerse activas durante prácticamente toda la vida útil de la operación. A diferencia de galerías de producción o desarrollos temporales, las rampas están sujetas a un uso intensivo y prolongado, lo que exige criterios de estabilidad más conservadores y un enfoque de diseño de largo plazo.

La caracterización geotécnica de una rampa no puede limitarse a campañas puntuales de exploración. Es fundamental entender que el comportamiento del macizo rocoso varía espacial y temporalmente. Factores como cambios litológicos, variaciones en el estado de esfuerzos, presencia de estructuras geológicas mayores —fallas, zonas de cizalla o contactos litológicos— y la influencia del agua subterránea condicionan de manera directa la estabilidad de la excavación.

En este sentido, la definición de dominios geotécnicos a lo largo del trazado de la rampa se convierte en una herramienta esencial. Cada dominio presenta características mecánicas y estructurales particulares que deben reflejarse en el diseño de la sección, el tipo de sostenimiento y la secuencia de excavación. En rampas que atraviesan zonas de roca competente, puede optarse por secciones optimizadas

con sostenimiento mínimo, mientras que en sectores de baja calidad del macizo es necesario incrementar la robustez del soporte, incluso a costa de mayores costos iniciales.

La modelación numérica juega un papel central en esta etapa. Herramientas tridimensionales permiten evaluar no solo la estabilidad inmediata tras la excavación, sino también la evolución de deformaciones a lo largo del tiempo. Este análisis resulta especialmente relevante en minas profundas, donde el incremento de esfuerzos induce fenómenos como convergencias progresivas, spalling o fallas inducidas por esfuerzo. La capacidad de anticipar estos comportamientos permite implementar medidas de refuerzo oportunas y evitar interrupciones operativas costosas.

Otro aspecto geotécnico frecuentemente subestimado es la interacción entre la rampa y otras excavaciones cercanas. A medida que la mina se desarrolla, la rampa puede quedar influenciada por zonas de explotación, cámaras colapsadas o hundimientos inducidos por métodos como el block caving. Una planificación integrada, que considere la evolución del campo de esfuerzos y la vida útil de la rampa, es clave para

mantener su funcionalidad a largo plazo.

Importancia de la geotecnia en la optimización de rampas La estabilidad geomecánica es uno de los pilares del diseño de rampas subterráneas. Cada metro excavado altera el estado de esfuerzos del macizo rocoso, y la respuesta de la roca dependerá de su resistencia, grado de fracturamiento, presencia de agua y orientación de discontinuidades.

Una caracterización geotécnica detallada permite anticipar problemas de estabilidad y definir medidas de sostenimiento adecuadas. Ensayos de laboratorio, mapeo geológico estructural y clasificaciones del macizo, como RMR o Q-System, proporcionan información clave para el diseño. Sin embargo, la optimización real se logra cuando estos datos se integran en modelos numéricos que simulan el comportamiento del macizo bajo diferentes escenarios de excavación.

El uso de modelación numérica tridimensional permite evaluar deformaciones, redistribución de esfuerzos y zonas potenciales de falla. De esta manera, es posible ajustar la geometría de la rampa, definir

espesores de sostenimiento y establecer secuencias de excavación que minimicen el riesgo geotécnico. En muchas operaciones, esta aproximación ha permitido reducir significativamente los costos de sostenimiento sin comprometer la seguridad. Sostenimiento como variable de optimización y no solo de seguridad

Tradicionalmente, el sostenimiento se ha concebido como una medida de seguridad reactiva. Sin embargo, en el contexto de la optimización de rampas, el sostenimiento debe entenderse como una variable de diseño que impacta directamente en los costos operativos y la disponibilidad de la infraestructura.

La selección adecuada del sistema de sostenimiento —pernos, cables, malla, shotcrete o combinaciones de estos— depende no solo de la calidad del macizo, sino también de la función de la rampa, la intensidad del tráfico y las condiciones ambientales. Rampas principales, sometidas a vibraciones constantes por el tránsito de equipos pesados, requieren soluciones más robustas que accesos secundarios.

El enfoque moderno privilegia sistemas de sostenimiento flexibles y energéticamente

absorbentes, capaces de adaptarse a deformaciones controladas sin perder capacidad portante. Este criterio es especialmente relevante en minas profundas o en entornos con alta actividad sísmica inducida, donde los sistemas rígidos pueden fallar de manera frágil.

Desde el punto de vista económico, una inversión inicial mayor en sostenimiento adecuado suele traducirse en menores costos de mantenimiento, menos rehabilitaciones y mayor disponibilidad operativa. Numerosos estudios de caso han demostrado que el costo del sostenimiento representa solo una fracción del impacto económico asociado a la pérdida de una rampa principal por inestabilidad.

Seguridad operacional en rampas subterráneas

La seguridad en rampas subterráneas va más allá de la estabilidad de la excavación. El tránsito constante de equipos pesados en espacios confinados genera riesgos específicos que deben ser gestionados de manera sistemática.

Uno de los principales riesgos es la interacción entre equipos móviles

y personal. Las rampas suelen ser zonas de alto tránsito, donde la visibilidad puede verse reducida por curvas, pendientes, polvo o iluminación insuficiente. Por ello, la implementación de sistemas de control de tráfico, señalización adecuada y protocolos claros de circulación es fundamental. El control de la velocidad es otro aspecto crítico. En pendientes descendentes, un exceso de velocidad puede provocar pérdida de control, especialmente en condiciones de humedad o presencia de material suelto. La instalación de zonas de escape, bermas de seguridad y sistemas de monitoreo de velocidad contribuye a reducir este riesgo.

Desde el punto de vista ambiental, las rampas concentran emisiones de equipos diésel, polvo y ruido. Una ventilación eficiente, integrada desde la etapa de diseño, es esencial para mantener condiciones seguras y cumplir con la normativa. En este sentido, la transición hacia equipos eléctricos está modificando de manera significativa los criterios tradicionales de ventilación y diseño.

Optimización del transporte y eficiencia operativa



La eficiencia de una rampa se mide, en gran parte, por su impacto en los tiempos de ciclo del transporte. Cada minuto adicional en el recorrido se traduce en menores toneladas movidas y mayores costos operativos. Por esta razón, la optimización del transporte es un objetivo central en la gestión de rampas.

El análisis detallado de los tiempos de ciclo permite identificar oportunidades de mejora. Factores como la pendiente, el estado del camino, la geometría de las curvas y la gestión del tráfico influyen directamente en la velocidad promedio de los equipos. En muchas minas, pequeñas mejoras en el perfil de la rampa o en la organización del tránsito han generado incrementos significativos en la productividad.

La gestión del mantenimiento también es clave. Superficies de rodadura en mal estado incrementan la resistencia al rodaje, el consumo energético y el desgaste de componentes. La implementación de programas de mantenimiento preventivo y predictivo, apoyados en inspecciones regulares y monitoreo continuo, permite mantener las rampas en condiciones óptimas y evitar paradas no programadas.

Enfoque operativo: la rampa como sistema logístico

Operativamente, una rampa subterránea debe analizarse como un sistema logístico continuo, donde cada restricción geométrica o condición adversa se refleja directamente en la eficiencia global de la mina. El tránsito de equipos en rampas es uno de los principales determinantes de los tiempos de ciclo y, por ende, del ritmo de producción.

Uno de los errores más comunes en la planificación es diseñar rampas únicamente con criterios geométricos, sin considerar el comportamiento real de los equipos en operación. La diferencia entre velocidades teóricas y velocidades reales puede ser significativa, especialmente en pendientes prolongadas o en tramos con curvas

cerradas. Factores como la habilidad del operador, el estado del camino y la carga transportada influyen directamente en el desempeño.

La optimización operativa requiere un análisis detallado de los flujos de tráfico. En rampas principales, la coexistencia de equipos de distinto tamaño y función genera interferencias que reducen la eficiencia. La implementación de esquemas de circulación definidos, horarios diferenciados o incluso rampas segregadas para distintos tipos de tránsito puede mejorar sustancialmente el rendimiento.

El mantenimiento operativo de la rampa es otro factor crítico.



Superficies irregulares, acumulación de finos o drenaje deficiente incrementan la resistencia al rodaje y el desgaste de componentes. Desde una perspectiva operativa, mantener una rampa en condiciones óptimas no es solo una cuestión de seguridad, sino una estrategia directa de reducción de costos.

Interacción entre diseño de rampas y selección de equipos

La relación entre el diseño de rampas y la selección de equipos es bidireccional. Un diseño adecuado debe responder a las características de los equipos, pero también es posible ajustar la flota para maximizar el aprovechamiento de una infraestructura existente.

En operaciones donde la rampa presenta pendientes limitantes o radios de curvatura reducidos, la selección de equipos con mayor capacidad de tracción o menor radio de giro puede compensar restricciones geométricas. Sin embargo, estas decisiones deben evaluarse cuidadosamente desde el punto de vista económico, considerando costos de adquisición, mantenimiento

y consumo energético.

La tendencia hacia equipos eléctricos introduce nuevas variables operativas. Si bien estos equipos presentan ventajas claras en términos de emisiones y ventilación, su desempeño en rampas largas y pronunciadas depende de la capacidad de las baterías y de la infraestructura de recarga. Integrar estas consideraciones desde la etapa de diseño es fundamental para evitar limitaciones futuras.

Tecnologías digitales aplicadas a rampas subterráneas

La transformación digital ha abierto nuevas posibilidades para la optimización de rampas. Una de las más relevantes es el uso de gemelos digitales, que integran información geológica, geotécnica y operativa en un entorno virtual dinámico. Estos modelos permiten simular escenarios de tráfico, evaluar cambios en el diseño y analizar el impacto de diferentes estrategias operativas sin intervenir físicamente la mina.

La automatización del transporte subterráneo es otra tendencia en crecimiento. Equipos autónomos o semiautónomos ofrecen ventajas en términos de seguridad, consistencia

operativa y eficiencia energética. En rampas, estos sistemas pueden mantener velocidades óptimas, respetar distancias de seguridad y responder de manera inmediata a condiciones cambiantes.

El monitoreo en tiempo real mediante sensores distribuidos a lo largo de la rampa proporciona información valiosa sobre deformaciones, vibraciones, condiciones ambientales y estado de la superficie.

Cuando estos datos se analizan mediante algoritmos de inteligencia artificial, es posible anticipar problemas y tomar decisiones proactivas, reduciendo riesgos y costos. Análisis económico de la optimización de rampas

Desde la perspectiva económica, la optimización de rampas subterráneas debe evaluarse bajo un enfoque de costo del ciclo de vida y no únicamente en términos de inversión inicial. La rampa influye en múltiples componentes del costo operativo, incluyendo transporte, mantenimiento de equipos, ventilación, sostenimiento y seguridad.

Un diseño que minimiza la longitud de la rampa puede reducir costos de desarrollo, pero si esto implica pendientes excesivas o geometrías desfavorables, los costos operativos a



largo plazo pueden superar ampliamente el ahorro inicial. Por el contrario, una rampa ligeramente más larga, pero con mejores condiciones operativas, puede generar ahorros sostenidos durante toda la vida de la mina.

El transporte es uno de los rubros más sensibles. Pequeñas reducciones en los tiempos de ciclo se traducen en incrementos significativos de la capacidad productiva, lo que impacta directamente en los ingresos. En este sentido, la optimización de rampas puede considerarse una inversión de alto retorno, especialmente en minas de gran escala.

La seguridad también tiene un componente económico relevante. Accidentes, interrupciones operativas y rehabilitaciones no planificadas generan costos directos e indirectos que rara vez se reflejan en los análisis tradicionales. Incorporar criterios de seguridad desde el diseño de la rampa reduce estos riesgos y aporta estabilidad financiera a la operación.

Casos de éxito en la optimización de rampas
Diversas operaciones alrededor del mundo han demostrado que una estrategia integral de optimización de rampas genera beneficios tangibles.

En minas de oro en Australia, la implementación de modelos digitales integrados ha permitido rediseñar rampas existentes, reduciendo pendientes críticas y mejorando la gestión del tráfico. Estos cambios se han traducido en reducciones de dos dígitos en los tiempos de ciclo y ahorros significativos en costos operativos.

En Chile, algunas minas polimetálicas han apostado por la automatización del transporte en rampas principales, logrando mejoras sustanciales en seguridad y disponibilidad de equipos. La reducción de incidentes y la mayor consistencia en los ciclos de transporte han fortalecido la competitividad de estas operaciones.

En México, varios proyectos subterráneos han llevado a cabo reingenierías de sus redes de rampas, integrando criterios de circulación unidireccional, mejoras en ventilación y sistemas avanzados de control de tráfico. Los resultados incluyen una disminución notable de congestiones, mayor vida útil de los equipos y una mejora en los indicadores de seguridad.

Casos económicos comparativos y lecciones aprendidas

Diversos estudios de benchmarking en la industria minera han demostrado que

operaciones con rampas optimizadas presentan costos unitarios significativamente menores en comparación con minas con diseños heredados o poco flexibles. En particular, minas que han invertido en rediseñar rampas críticas han logrado extender la vida útil de la infraestructura y retrasar inversiones mayores en nuevos accesos.

En algunos casos, la optimización de rampas ha permitido incluso modificar el plan de minado, habilitando el acceso a zonas previamente consideradas marginales desde el punto de vista económico. Esto evidencia que la rampa no solo es un elemento operativo, sino una herramienta estratégica para maximizar el valor del yacimiento.

Integración de los enfoques geotécnico, operativo y económico

El verdadero potencial de la optimización de rampas subterráneas se alcanza cuando los enfoques geotécnico, operativo y económico se integran en un modelo único de toma de decisiones. La fragmentación de estos análisis conduce a soluciones parciales que rara vez maximizan el valor global del proyecto.

Las herramientas modernas de planificación permiten evaluar simultáneamente la

estabilidad geomecánica, el desempeño operativo y el impacto económico de diferentes alternativas de diseño. Este enfoque integrado facilita la selección de soluciones equilibradas, donde la seguridad y la eficiencia se refuerzan mutuamente.

Perspectivas futuras y desafíos

El futuro de las rampas subterráneas estará marcado por la electrificación del transporte, la integración de sistemas inteligentes y una mayor exigencia en materia de seguridad y sostenibilidad. Los equipos eléctricos no solo reducen emisiones, sino que modifican los requerimientos de ventilación y abren nuevas oportunidades de diseño.

Asimismo, la inteligencia artificial y el análisis avanzado de datos permitirán una optimización continua, adaptando el diseño y la

operación de las rampas a las condiciones reales de la mina. Este enfoque dinámico representa un cambio de paradigma frente a los diseños estáticos del pasado.

Conclusión

La optimización de rampas subterráneas es uno de los desafíos más complejos, multidimensional y, al mismo tiempo, más rentables de la minería subterránea moderna. es un proceso complejo que impacta directamente en la seguridad, la eficiencia y la rentabilidad de la minería subterránea. Desde la geotecnia, define la estabilidad y la durabilidad de la infraestructura; desde la operación, condiciona la eficiencia del transporte y la productividad; y desde la economía, impacta directamente en los costos, los ingresos y la sostenibilidad del proyecto. Un diseño adecuado, respaldado por

una sólida caracterización geotécnica y potenciado por tecnologías digitales, permite transformar las rampas en verdaderos activos estratégicos de la operación.

En un entorno minero cada vez más exigente, donde la competitividad depende de márgenes ajustados, la importancia de la sostenibilidad en las operaciones y altos estándares de seguridad, las rampas dejan de ser simples excavaciones de acceso para convertirse en activos estratégicos. Su optimización, basada en datos, tecnología y una visión integral, es una de las claves para garantizar el éxito de las operaciones subterráneas del presente y del futuro. Por lo que invertir en la optimización de rampas no es una opción, sino una necesidad para la minería moderna.





TECMIN SERVICIOS

BARRENACIÓN CON RECUPERACIÓN DE NÚCLEO

+ 6,000,000
MÉTROS SEGUROS
PERFORADOS
INTERIOR MINA Y SUPERFICIE



**60 EQUIPOS BDD
DISPONIBLES**

**VENTA DE EQUIPOS
DE BARRENACIÓN
NUEVOS**



BARRENACIÓN
- RECUPERACIÓN DE NÚCLEO
- BARRENOS DE SERVICIOS



EQUIPOS DE
BARRENACIÓN



GEOLOGÍA Y
EXPLORACIÓN



EMPLEOS
TECMIN





Exploración Renovada en México para Asegurar el Reemplazo de Reservas: Pilar Estratégico para un Crecimiento Minero Sostenible

Un eje estratégico para el crecimiento económico, el desarrollo social y la sostenibilidad minera del país.

Por: Juan Carlos Piña Rodríguez



Introducción

La industria minera mexicana se encuentra en un momento crucial. Tras décadas de explotación, las reservas de minerales estratégicos enfrentan agotamiento progresivo en muchos de los yacimientos más maduros. Frente a este reto, la exploración mineral renovada emerge como una estrategia fundamental no solo para asegurar el reemplazo de reservas, sino también como un motor de desarrollo económico nacional, generación de empleo de calidad, fortalecimiento de la carga tributaria y, de manera integral, como un factor determinante en la construcción de un desarrollo social sostenible.

La minería ha sido, históricamente, uno de los pilares más sólidos del desarrollo económico de México. Desde la época colonial hasta la actualidad, la riqueza mineral del territorio ha impulsado la creación de ciudades, corredores industriales, infraestructura estratégica y una cultura técnica profundamente ligada a las ciencias de la tierra. Sin embargo, como toda actividad extractiva, la minería enfrenta un reto estructural inevitable: el agotamiento progresivo de sus reservas.

En este contexto, la

exploración minera renovada se posiciona como el factor más crítico para garantizar la continuidad del sector, asegurar el reemplazo de reservas y mantener el impacto positivo de la minería en el Producto Interno Bruto (PIB), la generación de empleo, la recaudación fiscal y el desarrollo social de amplias regiones del país. Sin exploración no hay nuevos proyectos; sin nuevos proyectos no hay producción futura; y sin producción, el sector pierde su capacidad de contribuir de manera significativa al bienestar nacional.

Este artículo explora de manera detallada cómo una política de exploración activa y bien orientada puede transformar la dinámica del sector minero en México. Analiza los impactos económicos, implicaciones normativas y sociales, así como los beneficios estratégicos de largo plazo que derivan del fortalecimiento de la actividad exploratoria.

Este artículo aborda de manera extensa, analítica y narrativa la importancia estratégica de reactivar y fortalecer la exploración minera en México. Se analizan sus implicaciones económicas, sociales, normativas y ambientales, así como su papel determinante en la competitividad del país,

la atracción de inversión y la construcción de una minería moderna, responsable y socialmente aceptada.

1. La exploración minera como fundamento del ciclo de vida de la minería
El ciclo minero y el papel irremplazable de la exploración

La minería no comienza con la extracción, sino con la exploración. Todo proyecto minero, independientemente de su tamaño o complejidad, atraviesa un ciclo de vida que inicia con la identificación de anomalías geológicas, continúa con campañas exploratorias sistemáticas, evaluación de recursos y reservas, desarrollo del proyecto, explotación, cierre y rehabilitación.

La exploración es, por tanto, la fase más temprana pero también la más determinante del ciclo minero. Es en esta etapa donde se define si un territorio tiene o no el potencial para albergar una operación económicamente viable y socialmente responsable. La falta de inversión en exploración hoy se traduce, inevitablemente, en una caída de producción en el futuro.

México frente al desafío del reemplazo de reservas

En México, muchas de las minas actualmente en operación corresponden a yacimientos descubiertos

hace varias décadas. Si bien la ingeniería moderna ha permitido extender la vida útil de estas operaciones mediante optimización, minería subterránea avanzada y procesamiento de materiales, estas estrategias no sustituyen la necesidad de descubrir nuevos cuerpos minerales.

El reemplazo de reservas no solo implica encontrar nuevos depósitos, sino también redefinir modelos geológicos, explorar a mayor profundidad, incorporar tecnologías de exploración indirecta y apostar por regiones subexploradas del país. Este desafío exige visión de largo plazo, certeza jurídica y una política pública que reconozca a la exploración como inversión estratégica.

El Contexto Actual de la Minería en México

Madurez de Reservas y Necesidad de Reemplazo

La minería mexicana ha sido una base sólida de la economía durante más de un siglo. Con una tradición productiva en metales como el oro, plata, cobre, zinc y plomo, México es reconocido a nivel global por su riqueza mineral. Sin embargo, muchos de los depósitos explotados actualmente están llegando a etapas avanzadas de extracción, reduciendo gradualmente las reservas económicas

que sostienen la producción futura.

El reemplazo de reservas es fundamental para mantener la actividad productiva a mediano y largo plazo. Este proceso depende directamente de programas de exploración efectivos. Sin exploración, la industria enfrenta inevitablemente un declive de producción, afectando empleos, exportaciones, inversión y la propia competitividad del país.

La Exploración como Eje Estratégico

La exploración mineral no es un gasto, sino una inversión estratégica. Es la actividad que permite descubrir nuevos cuerpos de mineral, optimizar recursos existentes y abrir la puerta a proyectos de minería futura. En este sentido, México enfrenta una oportunidad histórica para reimpulsar su capacidad exploratoria y atraer inversión —tanto nacional como extranjera— en proyectos de alto potencial.

2. Implicaciones Económicas de la Exploración Renovada Contribución al Producto Interno Bruto (PIB)

La minería contribuye de forma directa al PIB nacional y, de manera indirecta, a través de una extensa cadena de valor que incluye manufactura, transporte, energía, servicios financieros,

ingeniería y tecnología. La exploración, aunque representa una fracción menor del valor total del sector en el corto plazo, es la base que sustenta toda esta estructura económica. En México, la minería representa una porción relevante del PIB manufacturero y de la balanza comercial. Sin embargo, sin exploración activa, la tendencia de producción se encamina a la estabilidad o incluso a la contracción.

Exploración y Efecto Multiplicador

La exploración mineral tiene un efecto multiplicador en la economía:

- Genera actividad directa en geología, ingeniería, perforación y servicios asociados.
- Desarrolla cadenas de suministro local.
- Incrementa la demanda de tecnología y servicios especializados.

Esto, a su vez, estimula la actividad económica regional, dinamiza sectores como logística, transporte, hospedaje y alimentación, y genera un impacto positivo en el consumo y en la recaudación fiscal.

Una exploración activa genera inversión constante, incluso antes de que exista producción. Cada campaña exploratoria moviliza capital, insumos, tecnología y mano de obra especializada,



creando un flujo económico que se refleja en economías regionales y nacionales.

Efecto multiplicador en economías regionales

Las actividades de exploración suelen desarrollarse en regiones alejadas de los grandes centros urbanos, donde las oportunidades económicas son limitadas. En estos contextos, la llegada de un proyecto exploratorio puede representar una transformación profunda:

- Activación de proveedores locales
- Contratación de servicios comunitarios
- Mejora de caminos y accesos
- Incremento del comercio regional

Este efecto multiplicador convierte a la exploración en un detonador de desarrollo económico local, incluso antes de que exista una mina en operación.

Inversión Directa y Retención de Capital

La exploración es intensiva en tecnología y capital humano especializado. La llegada de inversiones exploratorias conlleva transferencia tecnológica y capacitación, elevando las capacidades locales y generando un entorno propicio para futuros proyectos mineros.

Además, un programa exploratorio robusto puede atraer capital extranjero

adicional, reafirmando la confianza de los inversionistas en el marco jurídico y social del país.

3. Generación de Empleo y Desarrollo de Capital Humano

Empleo Directo y Secundario
La exploración genera empleos directos en actividades especializadas, incluyendo geólogos, ingenieros, técnicos de perforación, especialistas en procesamiento de datos y profesionales de medioambiente. Estos puestos suelen ofrecer salarios competitivos y oportunidades de crecimiento profesional. Una cadena productiva exploratoria vigorosa también crea empleo indirecto:

- Proveedores de servicios logísticos
- Empresas de transporte y maquinaria
- Servicios de campo (alimentación, alojamiento, seguridad)
- Consultorías ambientales y sociales

Este aporte laboral se traduce en una mayor capacidad de consumo comunitario, fortaleciendo economías locales y generando un entorno más próspero.

Empleo especializado y empleo comunitario

La exploración minera demanda perfiles técnicos altamente especializados:

geólogos, geofísicos, geoquímicos, ingenieros, perforistas, técnicos de muestreo, analistas de datos y especialistas ambientales. Estos empleos suelen ofrecer salarios competitivos y oportunidades de desarrollo profesional.

De manera paralela, se genera empleo local en actividades de apoyo, logística, seguridad, transporte, alimentación y mantenimiento, lo que permite una integración directa de las comunidades al proyecto.

Formación académica y transferencia de conocimiento

Un entorno de exploración dinámica impulsa la demanda de profesionales capacitados, fortaleciendo universidades, institutos técnicos y centros de investigación. Asimismo, promueve la transferencia de tecnología y conocimiento, elevando el nivel técnico del capital humano nacional.

Formación Profesional y Capacitación Técnica

La exploración exige y, a su vez, fomenta la formación de capital humano técnico y profesional. Programas académicos en geociencias, ingeniería de minas e ingeniería ambiental se benefician de una mayor demanda, incentivando la actualización curricular y fortaleciendo la vinculación

entre universidades, centros de investigación y la industria. Exploración, inversión y confianza en el país

Atracción de inversión nacional y extranjera

La exploración es el primer eslabón de la cadena de inversión minera. Un país con reglas claras, procesos eficientes y certidumbre jurídica resulta atractivo para inversionistas que buscan proyectos de largo plazo.

Cuando la exploración se frena, no solo se detiene el descubrimiento de nuevos yacimientos, sino que se envía una señal negativa a los mercados internacionales, afectando la percepción del país como destino de inversión.

Exploración como indicador de competitividad minera

Los países líderes en minería comparten una característica común: una exploración constante y sostenida en el tiempo. Esto les permite renovar su cartera de proyectos, mantener producción estable y adaptarse a cambios en la demanda global de minerales.

4. Fortalecimiento de la Carga Tributaria

Recaudación Fiscal Derivada de la Exploración y Producción

Los impuestos, derechos e ingresos derivados de la minería son una fuente

importante de financiamiento para las finanzas públicas. La exploración, al habilitar nuevos proyectos de extracción, incrementa las bases fiscales a través de:

- Impuestos sobre la renta de empresas del sector
- Regalías y derechos mineros

- Contribuciones por actividades extractivas

- Impuestos locales y participación federal

Una red tributaria bien estructurada, combinada con una actividad exploratoria dinámica, puede traducirse en mayores ingresos públicos sin comprometer la competitividad del sector.

Inversión Social Obligatoria y Beneficios Comunitarios

Las empresas mineras suelen estar sujetas a obligaciones de inversión social en las comunidades donde operan. Estas inversiones —que pueden formar parte de compromisos contractuales o programas de responsabilidad social empresarial (RSE)— se traducen en infraestructura comunitaria, programas de educación, salud, vivienda, y mejoras en servicios básicos.

La exploración, al abrir nuevas áreas de operación, amplía las zonas beneficiadas por este tipo de inversión, contribuyendo al desarrollo equitativo de regiones tradicionalmente rezagadas.

5. Cumplimiento Normativo y Buenas Prácticas

Marco Normativo Minero en México

La exploración minera en México está sujeta a un conjunto de regulaciones que abarcan aspectos mineros, ambientales, sociales y laborales. El cumplimiento normativo no debe verse como una barrera, sino como un mecanismo para garantizar operaciones responsables y sostenibles.

México cuenta con un marco legal que regula desde la concesión de derechos mineros hasta aspectos ambientales y sociales. La Ley Minera, normativas ambientales, regulaciones laborales y esquemas de consulta a comunidades son elementos que estructuran la actividad minera.

Una exploración eficaz y responsable debe operar dentro de los siguientes pilares:

- Permisos ambientales (evaluaciones de impacto, manejo de ecosistemas, gestión de residuos)

- Consulta y vinculación comunitaria

- Uso eficiente de recursos hídricos y energéticos

- Protección de patrimonio cultural

Mejores Prácticas Internacionales Aplicadas Localmente

El cumplimiento de



estándares internacionales —como las directrices del Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM), los Principios del Equinto de Londres, o las mejores prácticas en divulgación de datos exploratorios (JORC, NI 43-101)— fortalece la confianza en proyectos exploratorios y promueve la transparencia del sector.

Aplicar estas prácticas mejora la percepción pública de la minería, facilitando procesos de socialización de proyectos y reduciendo riesgos de conflictos socioambientales. A diferencia de la explotación, la exploración tiene una huella ambiental relativamente baja. No obstante, requiere planeación, monitoreo y restauración progresiva para minimizar impactos y preservar ecosistemas.

6. Impacto Social: Más Allá de la Producción

Desarrollo de Comunidades Locales

El impacto social de una exploración y posterior explotación responsable se manifiesta en diversos frentes: Infraestructura pública mejorada

Proyectos exploratorios y mineros suelen llevar consigo inversiones en caminos, acceso a servicios básicos y electrificación.

Servicios de educación y salud

Programas de becas, capacitación técnica, clínicas móviles y apoyos comunitarios elevan la calidad de vida regional.

Diversificación económica local

La presencia de exploración activa crea oportunidades para emprendimientos locales y emprendimiento urbano-rural en sectores como transporte, manufactura ligera y servicios profesionales.

Diálogo Comunitario y Consentimiento Social

El éxito de la exploración depende profundamente del consentimiento y apoyo social. La minería moderna promueve esquemas participativos que incluyen:

- Diálogo permanente con comunidades
- Mecanismos de queja y resolución
- Transparencia sobre impactos y beneficios
- Compromisos claros sobre cuidado ambiental

Estos mecanismos no solo reducen el riesgo de conflictos, sino que fomentan relaciones de confianza que aportan estabilidad a largo plazo.

Dimensión social de la exploración minera

Relación temprana con comunidades

La exploración es la primera etapa de contacto entre una empresa minera y una comunidad. Un enfoque

basado en diálogo, transparencia y respeto sienta las bases para una relación de largo plazo.

Desarrollo social y cohesión comunitaria

Los proyectos exploratorios responsables pueden impulsar mejoras en educación, salud, infraestructura básica y capacitación, generando beneficios tangibles incluso antes de la fase productiva.

7. Exploración Responsable y Sostenibilidad Ambiental

Impacto Ambiental y Monitoreo Preventivo

La exploración, a diferencia de la explotación, tiene un impacto relativamente menor en el entorno físico. No obstante, implica actividades que pueden alterar el suelo, el agua y la biodiversidad si no se manejan con estrictos estándares ambientales.

Las empresas responsables adoptan prácticas como:

- Estudios previos de línea base ambiental
- Perforación dirigida y de mínima huella
- Manejo de suelo y control de erosión
- Planes de rehabilitación progresiva

Innovación Tecnológica y Reducción de Huella

Las tecnologías modernas han permitido reducir significativamente los impactos ambientales de

la exploración. El uso de procesos geofísicos no invasivos, modelos predictivos asistidos por IA y equipos eficientes reduce consumo de energía y emisiones.

Estas innovaciones representan un doble beneficio: protegen el entorno y reducen costos operativos, mejorando la viabilidad técnica y económica de los proyectos. Exploración y desarrollo de minerales estratégicos

La transición energética y la digitalización global han incrementado la demanda de minerales estratégicos como cobre, litio, zinc, plata y tierras raras. México posee un potencial geológico significativo en estos recursos, cuya identificación depende directamente de programas exploratorios robustos.

8. La Exploración como Estrategia de Largo Plazo

Previsión del Ciclo Minero

El ciclo de vida de un yacimiento mineral — descubrimiento, exploración, evaluación, desarrollo, explotación, cierre y rehabilitación— requiere planificación estratégica. Sin actividades exploratorias, el ciclo se acorta, y la industria se enfrenta a:

- Menor producción futura
- Pérdida de competitividad internacional
- Disminución de inversiones

• Riesgo de abandono de zonas productivas

Por el contrario, la exploración sostenida permite:

- Descubrir y evaluar nuevos yacimientos
- Extender la vida útil de operaciones existentes
- Optimizar planes de producción y logística
- Generar reservas de reemplazo que garantizan sostenibilidad productiva

Estrategias Gubernamentales y Privadas

La coordinación entre actores públicos y privados es esencial. Políticas que promuevan incentivos fiscales, transparencia en concesiones, protección de derechos comunitarios y seguridad jurídica robusta atraerán inversiones exploratorias de alto valor. Una minería sostenible no se limita a mitigar impactos, sino que planifica el futuro. La exploración permite diseñar operaciones más eficientes, reducir riesgos técnicos y ambientales, y asegurar continuidad productiva.

9. Casos de Éxito y Lecciones Internacionales

Comparación con Países Líderes en Exploración

En países con políticas sólidas de exploración, como Australia, Canadá o Chile, se han implementado mecanismos efectivos para atraer capital, proteger el medio ambiente y fomentar desarrollo local:

• Incentivos fiscales para exploración temprana

• Modelos de licencias y concesiones transparentes

• Integración de comunidades desde etapas iniciales

• Estándares ambientales y sociales exigentes

Estos ejemplos demuestran que un equilibrio entre regulación, inversión y participación social puede generar resultados altamente positivos para toda la nación. Recaudación tributaria

La exploración habilita proyectos que, en etapas posteriores, generan impuestos, derechos y regalías que fortalecen las finanzas públicas.

Inversión social derivada de la minería

Los recursos fiscales y las inversiones sociales asociadas a la minería contribuyen a cerrar brechas de desarrollo regional.

10. Desafíos y Oportunidades

Desafíos Actuales

Entre los principales desafíos para impulsar la exploración en México se encuentran:

- Falta de incentivos fiscales claros
- Burocracia en permisos ambientales
- Percepción pública negativa en algunas regiones
- Infraestructura deficiente en zonas remotas

Oportunidades Inmediatas



No obstante, existen oportunidades relevantes:

- Valor de los minerales estratégicos en un mercado global en crecimiento
- Demanda creciente de metales críticos para tecnologías verdes
- Potencial geológico subexplotado en varias regiones del país
- Avances tecnológicos que reducen barreras de entrada

Retos estructurales

- Acceso a permisos
- Certidumbre jurídica
- Infraestructura en zonas remotas
- Percepción social

Oportunidades estratégicas

- Potencial geológico subexplotado
- Demanda global de minerales críticos
- Innovación tecnológica
- Talento nacional especializado

Conclusión: Una Visión Comprometida con el Futuro

La exploración renovada en México no es una simple actividad técnica, sino una estrategia nacional de desarrollo integral. Asegurar el reemplazo de reservas implica:

- Sostener y crecer la producción minera

- Incrementar la participación del sector en el PIB

- Generar empleo de calidad y formación profesional

- Fortalecer la base tributaria del país

- Promover inversiones sociales con impacto positivo

- Integrar la protección ambiental con innovación tecnológica

- Consolidar relaciones armónicas con comunidades

En un mundo que demanda recursos minerales para tecnologías del futuro — como energías limpias,

infraestructura inteligente y almacenamiento de energía— México posee una oportunidad extraordinaria para posicionarse como un actor global clave. Este posicionamiento se logra a través del redescubrimiento de su potencial mineral, sustentado en una exploración responsable, transparente y socialmente comprometida.

La minería del mañana se construye hoy, y la exploración es su piedra angular.



“SÍ HAY ALGO QUE HACER, SEGURO LO HACEMOS”



Consultoría
Capacitación
Muestreos
Materiales y Reactivos
Floculantes
Sistemas de Control avanzado

J5 ofrece diferentes productos y servicios con el objetivo de contribuir a la solución de problemas del día a día, desafíos metalúrgicos y capacitación especializada para obtener soluciones permanentes y a largo plazo. Nuestra misión es colaborar con sus operaciones para lograr sus objetivos.

jesus.arguijo@j5consultoria.com
www.j5consultoria.com



IM360+

El Mejor Simulador de su Clase - Optimizado para Capacitación Subterránea

SISTEMA VISUAL PROFESIONAL

IM360+ es el primer simulador minero que combina 3D estereoscópico, una pantalla de 360 grados, gráficos fotorrealistas y tecnología de seguimiento de cabeza RealView™. IM360+ ofrece un nivel de realismo nunca visto en la industria minera. La plataforma se basa en el enorme éxito de sus predecesores, IM360-B y, antes, IM360 y UG360, que se convirtieron en el estándar mundial de la minería de los últimos 31 años, formando a más de 250.000 operadores de equipos mineros en 51 países.

**Contáctenos para solicitar una demostración
o para obtener más información.**

Teléfono: +52 55 6828 8036

Email: Enquiries@ImmersiveTechnologies.mx



XXXVI
CONVENCIÓN INTERNACIONAL DE
MINERÍA
ACAPULCO 2025
LA MINERÍA UNIDA POR MÉXICO

**Visítenos en la Conferencia
Minera de Acapulco**

19-22 de noviembre de 2025

Puesto #691

IMMERSIVE
TECHNOLOGIES

OBTENGA RESULTADOS

IM360+ PLATAFORMA DE ALTA FIDELIDAD / ANALÍTICAS DE DESEMPEÑO DEL OPERADOR / ENTRENAMIENTO ESTÁNDAR DE MINAS / MÁQUINA VIRTUAL



Minerales Críticos: La Nueva Arquitectura de la Minería Global en un Mundo Fragmentado y en Transición

Por: Juan Carlos Piña Rodríguez

****Introducción**

Cuando la minería deja de ser sector y se convierte en sistema**

La historia del desarrollo humano puede leerse como una sucesión de eras definidas por los materiales que las sostienen. La Edad del Bronce, la Edad del Hierro, la revolución del carbón y del acero, la era del petróleo. Hoy, el mundo transita hacia una etapa distinta, menos evidente pero igual de determinante: la era de los minerales críticos. Estos materiales, muchas veces desconocidos fuera del ámbito técnico, se han convertido en los elementos

estructurales de la economía contemporánea, habilitando tecnologías que prometen transformar la forma en que producimos energía, nos desplazamos, nos comunicamos y organizamos nuestras sociedades.

A diferencia de otros momentos históricos, esta transformación ocurre en un contexto global marcado por tensiones geopolíticas, fragmentación económica, crisis climática y demandas sociales crecientes. La minería, lejos de desaparecer en un mundo que busca reducir su huella ambiental, se vuelve más necesaria que nunca. Sin minerales críticos

no hay transición energética, no hay electrificación masiva, no hay digitalización ni autonomía tecnológica. Este artículo aborda el fenómeno de los minerales críticos desde una perspectiva integral, ampliada y profundamente contextualizada, analizando su exploración, explotación, mercado global, dimensiones económicas, sociales, políticas y ambientales, así como su papel central en el escenario mundial actual.

****Capítulo I**

Minerales críticos: concepto dinámico y piedra angular



del nuevo orden industrial**. El concepto de mineral crítico no es absoluto ni permanente. Se trata de una categoría funcional, determinada por la interacción entre tres variables principales: importancia estratégica, dificultad de sustitución y riesgo de suministro. Un mineral puede ser abundante en términos geológicos y aun así considerarse crítico si su producción está concentrada en pocos países o si su procesamiento depende de tecnologías altamente especializadas. En el escenario actual, los minerales críticos se han multiplicado en número y relevancia. Elementos como litio, níquel, cobalto y manganeso son esenciales para baterías; las tierras raras para imanes permanentes; el cobre para la electrificación; el grafito para almacenamiento energético; el silicio, el germanio y el galio para semiconductores. Incluso metales tradicionalmente considerados "comunes" adquieren una nueva dimensión estratégica cuando se analizan desde la perspectiva de la transición energética. Esta nueva criticidad ha provocado un cambio profundo en la percepción de la minería. Ya no se trata únicamente de extraer recursos para el mercado, sino de asegurar la continuidad de sistemas tecnológicos

completos. En este sentido, los minerales críticos funcionan como nodos de interdependencia global: su ausencia o escasez puede desencadenar efectos en cascada en múltiples sectores económicos.

**Capítulo II

Exploración de minerales críticos: entre la urgencia del mercado y los tiempos de la geología**

La exploración minera atraviesa uno de los momentos más complejos de su historia reciente. Por un lado, existe una presión creciente para descubrir y desarrollar nuevos yacimientos de minerales críticos en plazos cada vez más cortos. Por otro, la realidad geológica impone límites claros: los procesos naturales que concentran estos minerales son complejos, localizados y difíciles de predecir.

La exploración moderna de minerales críticos se apoya en modelos geológicos sofisticados que integran información estructural, geoquímica, isotópica y geofísica. La incorporación de inteligencia artificial y análisis de grandes volúmenes de datos ha permitido identificar patrones regionales y mejorar la selección de objetivos, pero no ha eliminado el riesgo inherente a la actividad.

Además, muchos de los

nuevos objetivos exploratorios se encuentran en regiones con alta sensibilidad ambiental o social. Esto obliga a replantear la exploración como una actividad integral, donde la evaluación ambiental temprana, la relación con comunidades y la transparencia sean componentes esenciales desde las primeras etapas. El desafío central es claro: el mundo necesita nuevos proyectos de minerales críticos, pero estos no pueden desarrollarse bajo los paradigmas del pasado. La exploración debe ser más eficiente, más responsable y más integrada al contexto territorial.

**Capítulo III

Explotación y procesamiento: el verdadero epicentro de la competencia global**

Si la exploración define el potencial, la explotación y el procesamiento determinan el poder real. En el escenario mundial actual, la verdadera competencia no se centra únicamente en quién tiene los recursos, sino en quién controla las etapas más avanzadas de la cadena de valor.

La extracción de minerales críticos suele implicar desafíos técnicos significativos: leyes variables, mineralogías complejas, altos requerimientos de energía y agua, y procesos metalúrgicos altamente

especializados. Estos factores elevan los costos y aumentan la importancia de la innovación tecnológica y la eficiencia operativa.

Sin embargo, el procesamiento es el punto neurálgico. Muchos países productores carecen de la infraestructura y el conocimiento necesario para refinar y transformar sus minerales en productos intermedios o finales. Esta dependencia limita su capacidad de capturar valor y los expone a fluctuaciones del mercado internacional. En respuesta, se observa una tendencia creciente hacia la relocalización y diversificación de capacidades de procesamiento. Países industrializados buscan reducir su dependencia externa, mientras que países productores exploran estrategias para avanzar en la cadena de valor. Este reacondicionamiento industrial redefine el mapa de la minería global.

**Capítulo IV

El mercado global de minerales críticos en un mundo fragmentado**

El mercado de minerales críticos refleja las tensiones del mundo contemporáneo. A diferencia de otros commodities, su comercio está cada vez más influenciado por decisiones políticas, estrategias

industriales y consideraciones de seguridad nacional.

La demanda global crece impulsada por políticas de descarbonización, electrificación del transporte y digitalización. Sin embargo, esta demanda no es homogénea ni lineal: varía según regiones, tecnologías y marcos regulatorios. La oferta, por su parte, enfrenta restricciones estructurales que dificultan una respuesta rápida.

Esta asimetría genera volatilidad y episodios recurrentes de escasez o sobreoferta. En este contexto, los precios dejan de ser el único mecanismo de ajuste, y emergen contratos de largo plazo, acuerdos gubernamentales y alianzas estratégicas como herramientas clave para asegurar suministro.

El mercado de minerales críticos ya no puede entenderse como un espacio neutral de intercambio: es un campo de disputa donde convergen intereses económicos, políticos y tecnológicos.

**Capítulo V

Economía de los minerales críticos: inversión, financiamiento y riesgo sistémico**

La economía de los minerales críticos se caracteriza por altos niveles de incertidumbre y riesgo. Los proyectos requieren inversiones

intensivas en capital, largos periodos de maduración y enfrentan riesgos geológicos, regulatorios, sociales y de mercado.

No obstante, el atractivo estratégico de estos minerales ha captado la atención de nuevos actores financieros. Fondos soberanos, bancos de desarrollo y organismos multilaterales han comenzado a desempeñar un papel más activo, reconociendo que la seguridad de suministro es un bien público global.

La rentabilidad de los proyectos depende cada vez más de su posicionamiento estratégico, su integración en la cadena de valor y su capacidad para cumplir con estándares ambientales, sociales y de gobernanza. En este sentido, la economía de los minerales críticos trasciende el cálculo financiero tradicional.

**Capítulo VI

Dimensión social: minería, legitimidad y contrato territorial**

La minería de minerales críticos se desarrolla en territorios donde las comunidades demandan algo más que compensaciones económicas. Exigen participación, respeto y beneficios duraderos. La licencia social para operar se ha convertido en un factor crítico de viabilidad.

En el escenario actual, los



conflictos sociales no son anomalías, sino síntomas de modelos de desarrollo en disputa. Los proyectos que no integran las dimensiones sociales desde el inicio enfrentan riesgos significativos de retrasos, sobre costos o cancelaciones.

Al mismo tiempo, la minería de minerales críticos puede ser una poderosa herramienta de desarrollo territorial si se gestiona adecuadamente. Infraestructura,

empleo calificado, transferencia tecnológica y encadenamientos productivos son beneficios potenciales que deben materializarse de manera equitativa y transparente.

**Capítulo VII

Política y geopolítica: minerales críticos como instrumentos de soberanía** Los minerales críticos se han convertido en piezas clave del ajedrez geopolítico. Las tensiones comerciales, los conflictos armados y la fragmentación del comercio internacional han evidenciado la vulnerabilidad de las cadenas de suministro globales.

En respuesta, muchos países han adoptado estrategias explícitas para asegurar el acceso a minerales críticos. Estas incluyen incentivos a la exploración, apoyo financiero a proyectos estratégicos, control de inversiones extranjeras y

fortalecimiento de alianzas regionales.

Para países con potencial geológico, especialmente en América Latina, África y Asia, esta coyuntura representa una oportunidad histórica para redefinir su papel en la economía global. Sin embargo, también implica el reto de evitar nuevas formas de dependencia y extractivismo.

**Capítulo VIII

Medio ambiente y sostenibilidad: la paradoja central de la minería crítica**

La minería de minerales críticos enfrenta una paradoja fundamental: es indispensable para la transición energética, pero puede generar impactos ambientales significativos si no se gestiona adecuadamente.

El uso intensivo de agua, la generación de residuos, las emisiones de carbono y la alteración de ecosistemas son desafíos que exigen soluciones innovadoras. La adopción de energías renovables, la economía circular, el reciclaje de minerales y la restauración progresiva son elementos clave de la minería del futuro. La sostenibilidad ya no es un componente accesorio, sino un criterio central de competitividad y legitimidad.

**Capítulo IX

Innovación, tecnología y el futuro de los minerales críticos**

La innovación tecnológica será determinante para el futuro de los minerales críticos. Nuevos métodos de exploración, procesamiento más eficiente, reciclaje avanzado y sustitución parcial de materiales forman parte de la respuesta a la creciente demanda.

Sin embargo, la tecnología no elimina la necesidad de minería; la redefine. Incluso los escenarios más optimistas de reciclaje y sustitución indican que será necesario desarrollar nuevos proyectos para satisfacer la demanda futura.

**Conclusión

Minerales críticos y el nuevo contrato entre minería y sociedad**

Los minerales críticos no son simplemente insumos industriales; son elementos estructurales del mundo contemporáneo. Su gestión definirá el éxito o fracaso de la transición energética, la estabilidad económica y la cohesión social en las próximas décadas.

La minería enfrenta el desafío histórico de demostrar que puede ser estratégica, responsable y sostenible al mismo tiempo. La forma en que se gestionen los minerales críticos determinará no solo el futuro del sector, sino el rumbo del desarrollo global.



Geología estructural: La clave oculta en la exploración y prospección minera

Introducción

La geología estructural es una disciplina geocientífica que estudia la geometría, orientación y distribución de las estructuras de la corteza terrestre y los mecanismos que las generaron a lo largo del tiempo geológico. Compuesta por conceptos fundamentales como deformación, fallas, pliegues, fracturas y foliaciones, esta

rama proporciona una base científica crucial para entender cómo se organiza y distribuye un depósito mineral dentro del contexto tectónico y geodinámico regional.

En el sector minero, la geología estructural ha emergido como uno de los pilares estratégicos dentro de las fases de exploración y prospección

de recursos minerales. Su correcta aplicación permite no solamente identificar zonas potencialmente mineralizadas, sino también diseñar programas de exploración eficientes, optimizar costos, reducir riesgos técnicos y guiar decisiones clave para el desarrollo de proyectos exitosos en ambientes geológicamente complejos.



Este artículo presenta un análisis profundo de la geología estructural enfocada a la exploración minera, describiendo su importancia técnica, aplicaciones prácticas, métodos y tecnologías modernas, integración con otras disciplinas geocientíficas, recomendaciones operativas, tendencias emergentes y ejemplos de casos de éxito en la industria minera global.

1. Conceptos fundamentales de la geología estructural

1.1 ¿Qué es la geología estructural?

La geología estructural es la rama de la geología que analiza la deformación de las capas y materiales rocosos en la corteza terrestre, interpretando la historia tectónica de una región y las fuerzas responsables de la formación de estructuras como fallas, pliegues y fracturas. Esta disciplina no solo describe la geometría de las estructuras, sino que también intenta entender los procesos mecánicos y cinemáticos que las generaron.

Las estructuras geológicas se forman como respuesta a los esfuerzos tectónicos —compresión, extensión y cizalla— que

actúan sobre las rocas, y generan deformaciones permanentes. Comprender esta deformación es esencial para predeterminedar dónde y cómo se concentran los minerales económicamente valiosos en un territorio.

1.2 Principales tipos de estructuras geológicas

A continuación, se describen las estructuras que tienen mayor relevancia en exploración minera:

- Fallas: fracturas con desplazamiento relativo a lo largo de un plano. Las fallas pueden actuar como conductos para la circulación de fluidos mineralizantes, favoreciendo la precipitación de minerales valiosos.
- Pliegues: doblamiento de capas rocosas bajo compresión. Los pliegues pueden concentrar mineralizaciones en los flancos o zonas de inflexión, siendo claves en yacimientos como los VMS o depósitos de estratiformes.
- Fracturas y diaclasas: discontinuidades sin desplazamiento apreciable que aumentan la permeabilidad y pueden controlar la migración de fluidos hidrotermales.
- Zonas de cizalla y foliaciones: áreas con alta deformación ductil

que pueden albergar mineralizaciones diseminadas o concentradas. Estas estructuras, tanto a pequeña como gran escala, condicionan la geometría del yacimiento, su continuidad, distribución y persistencia lateral y en profundidad.

2. Rol de la geología estructural en la exploración minera

2.1 Control estructural de mineralización

La fase inicial de cualquier proyecto de exploración requiere identificar y comprender los controles de mineralización —es decir, los factores geológicos que determinaron dónde y por qué se formó un depósito mineral—. La geología estructural permite identificar estos controles mediante el mapeo y análisis de estructuras que han servido como canales para la circulación de fluidos mineralizantes o como trampas para su precipitación.

Por ejemplo, en muchos depósitos de oro epitermal y pórfidos, las fallas y fracturas juegan un papel preponderante como zonas de alta permeabilidad donde se concentran fluidos hidrotermales ricos en metales. Un análisis

estructural detallado permite orientar los sondajes de perforación de manera eficiente hacia zonas con mayor probabilidad de mineralización.

2.2 Escala de aplicación estructural

Los estudios estructurales se aplican en diferentes escalas dentro de un proyecto minero:

- Escala regional: permite reconocer grandes estructuras tectónicas que controlan los dominios geológicos favorables para una mineralización específica.
- Escala de distrito: definiciones más detalladas del control de fallas, pliegues y zonas de cizalla que pueden albergar múltiples depósitos en una región.
- Escala de yacimiento: análisis detallado de la geometría interna del cuerpo mineral y sus discontinuidades para estimar la continuidad espacial y la conectividad del mineral.

En cada una de estas escalas, la correcta interpretación estructural puede significar la diferencia entre un programa de exploración exitoso y uno infructuoso.

3. Integración con otras disciplinas geocientíficas

3.1 Geofísica

Los datos geofísicos —como magnetometría, gravedad, sísmica y resistividad— son fundamentales para inferir estructuras ocultas bajo cobertura sedimentaria o vegetación. La interpretación conjunta de estos datos con la cartografía estructural permite construir modelos más completos de fallas y contactos geológicos no visibles en superficie.

Por ejemplo, métodos sísmicos de reflexión y refracción ayudan a delinear estratos y superficies de falla profundas que luego pueden observarse como anomalías estructurales favorables a la mineralización.

3.2 Geoquímica

La geoquímica proporciona datos sobre la presencia de anomalías metalogénicas. Cuando estos datos están integrados a estructuras geológicas conocidas —por ejemplo, correlacionando anomalías geoquímicas con zonas de falla o pliegues—, la probabilidad de descubrir mineralización económica se incrementa significativamente.

La integración efectiva de geoquímica y estructural ha demostrado ser una estrategia clave para vectorizar hacia cuerpos mineralizados profundos.

3.3 Modelamiento geológico 3D

El modelado tridimensional es una de las herramientas más poderosas en la exploración moderna. Permite a los geólogos integrar datos estructurales con información de perforación, geoquímica y geofísica para visualizar de manera tridimensional los sistemas mineralizados. Esto no solo mejora la estimación de recursos, sino que también apoya el diseño de programas de perforación optimizados.

4. Técnicas y herramientas modernas utilizadas en geología estructural

La geología estructural tradicionalmente se basa en el trabajo de campo con brújula geológica para medir orientación de planos y direcciones de buzamiento. Sin embargo, el avance tecnológico ha revolucionado esta disciplina, incorporando métodos geoespaciales y de modelado que mejoran la precisión y rapidez del análisis:

4.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Fotogrametría

La utilización de SIG y datos fotogramétricos permite mapear estructuras a gran escala con precisión milimétrica, integrando datos



de elevación, topografía y orientación estructural.

4.2 LiDAR y drones de alta resolución

El uso de tecnologías LiDAR (Light Detection and Ranging) y drones equipados con cámaras multispectrales permiten capturar datos topográficos extremadamente precisos, incluso en zonas de difícil acceso. Esto facilita la identificación y registro de lineamientos estructurales claves que pueden estar asociados con mineralización.

4.3 Escaneos 3D y televiewers
Técnicas como perfiladores acústicos u ópticos (televiewers) permiten visualizar las discontinuidades internas del macizo rocoso en perforaciones, aportando datos estructurales de alta resolución que son vitales para interpretar la continuidad de fallas y fracturas en profundidad.

4.4 Software especializado de interpretación estructural
Herramientas como Leapfrog, Move y otros paquetes de software geológico permiten analizar datos estructurales en 3D, construir modelos de fallas y sistemas de fracturas, y realizar simulaciones cinemáticas que predicen comportamientos futuros

de estos sistemas ante condiciones geológicas específicas.

5. Ejemplos de aplicaciones exitosas de geología estructural

5.1 Trend de Carlin, Nevada (Estados Unidos)

En este prolífico distrito aurífero hospedado en rocas sedimentarias, las estructuras como pliegues y fallas de bajo ángulo han controlado la mineralización aurífera diseminada. Los estudios estructurales han permitido identificar zonas de dilatación que actúan como trampas para oro, guiando los esfuerzos exploratorios hacia los sectores de mayor ley.

5.2 Integra Gold – Depósito Lamarck Sigma (Australia)

Un caso moderno donde la integración de geología estructural con inteligencia artificial para modelar patrones de mineralización ha permitido definir zonas de alta probabilidad de mineralización en estructuras complejas. Técnicas avanzadas de análisis estructural y herramientas predictivas ayudaron a reducir la incertidumbre exploratoria.

5.3 Witwatersrand Basin

(Sudáfrica)

La formación del mayor depósito de oro del mundo está estrechamente relacionada con estructuras sedimentarias controladas por fallas y contactos litológicos que concentraron partículas de oro en conglomerados antiguos. La comprensión estructural de estos cuerpos ha sido clave para la explotación a gran escala durante más de un siglo.

6. Recomendaciones para aplicar geología estructural en exploración

1. Realizar un mapeo geológico detallado en el campo: Las observaciones directas siguen siendo insustituibles para identificar estructuras, orientar mediciones y registrar datos de precisión.

2. Integrar datos geofísicos y geoquímicos con estructuras: La convergencia de múltiples disciplinas incrementa la probabilidad de éxito exploratorio.

3. Capacitación continua del equipo geológico: La interpretación estructural requiere experiencia, juicio geológico y comprensión tectónica.

4. Uso de tecnologías modernas: Implementar software de modelado 3D, SIG, LiDAR y drones para enriquecer la calidad de los

datos estructurales.

5. Establecer protocolos de control de calidad (QA/QC): Asegurar que los datos estructurales recopilados sean consistentes y verificables para construir modelos confiables.

7. Tendencias y tecnologías emergentes

La geología estructural está evolucionando con el uso de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático para analizar grandes volúmenes de datos estructurales y detectar patrones difíciles de discernir manualmente. Además, la integración con tomografía de ruido ambiental y nuevas técnicas

geofísicas promete explorar más profundo con mayor resolución.

Asimismo, se están desarrollando herramientas de visión por computadora para extraer automáticamente lineamientos geológicos de imágenes satelitales, lo que permite un mapeo estructural más rápido y detallado.

Conclusión

La geología estructural es una disciplina que ha demostrado ser esencial para la exploración y prospección minera moderna. No solo ayuda a entender la arquitectura de los sistemas mineralizados,

sino que también guía decisiones estratégicas en programas de exploración, optimiza costos y reduce riesgos técnicos asociados a proyectos mineros complejos. La integración con otras disciplinas como geofísica y geoquímica, el uso de tecnologías avanzadas y la capacitación continua del personal geológico son factores clave para maximizar el valor de los datos estructurales. A medida que la industria minera enfrenta retos globales de eficiencia, sostenibilidad y descubrimiento de nuevos depósitos, el papel de la geología estructural seguirá siendo indispensable para alcanzar estos objetivos.





**#SOMOS
MINEROS Y MINERAS
DECORAZÓN**

W W W . O R L A M I N I N G . C O M



Orla Camino Rojo



@orla.caminorojo



@OrlaCaminoRojo



orla.camino.rojo



Programas y Procedimientos de Seguridad en la Industria Minera: Eficiencia, Evolución y Futuro

La seguridad en la industria minera no es simplemente un requisito legal o un conjunto de normas a cumplir: es la piedra angular que garantiza la integridad de las personas, la continuidad operativa y la sostenibilidad social del sector. La naturaleza de las operaciones mineras —ambientes subterráneos, maquinaria pesada, materiales explosivos y condiciones geológicas cambiantes— exige programas de seguridad sólidos, dinámicos y adaptados a los tiempos modernos.

La industria minera es, por naturaleza, una de las actividades productivas con mayores niveles de

exposición al riesgo. La interacción constante con condiciones geológicas cambiantes, ambientes confinados, maquinaria pesada, explosivos, sustancias peligrosas y procesos de alta energía convierte a la seguridad en un eje estratégico y no solo en una obligación normativa. En este contexto, los programas y procedimientos de seguridad han evolucionado de simples listas de cumplimiento a complejos sistemas de gestión que buscan anticipar riesgos, proteger la vida humana y garantizar la continuidad operativa.

Hoy más que nunca, la eficiencia de estos programas depende de su capacidad

para ser preventivos, flexibles, comprensibles, tecnológicamente integrados y culturalmente aceptados. La seguridad minera moderna no puede ser rígida ni burocrática; debe ser un sistema vivo que evolucione al ritmo de la operación, de la tecnología y de la sociedad.

1. Evolución Histórica de los Programas de Seguridad Minera

Desde los inicios de la minería moderna, los protocolos de seguridad han evolucionado de enfoques reactivos a sistemas preventivos y predictivos:

- Primeras prácticas (siglo XIX – mediados del



XX): predominaban reglas básicas y supervisión directa. La cultura de seguridad era incipiente, y los accidentes como la tragedia de El Teniente en 1945 demostraron la necesidad de enfoques más estructurados en emergencias mineras.

- Sistemas formales de gestión (mediados del XX): surgieron modelos como el Neil George Safety System, un método de autoevaluación y verificación diaria que integró inspecciones, comunicación y entrenamiento formal, aún vigente en diversas minas del mundo.

- Finales del siglo XX – presente: se consolidan los Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional (por ejemplo, basados en ISO 45001), enfatizando la participación activa de todos los niveles de la organización. La gestión de incidentes, análisis de riesgos y cultura de reporte se vuelven pilares fundamentales.

Enfoques iniciales: reacción ante el accidente
Durante gran parte del siglo XX, la seguridad minera se basó en enfoques reactivos. Las medidas se implementaban como respuesta directa a accidentes graves o catastróficos. Las investigaciones se centraban en identificar fallas individuales más que causas sistémicas, y la prevención se entendía como el cumplimiento de reglas básicas y uso de equipos de

protección personal.

En esta etapa, la seguridad era vista como un costo operativo inevitable y no como una inversión estratégica. La capacitación era limitada y los trabajadores tenían poca participación en la identificación de riesgos. Este tránsito de una seguridad basada en cumplimiento hacia una cultura preventiva y participativa ha sentado las bases de las mejores prácticas actuales.

Consolidación de sistemas formales

A partir de la segunda mitad del siglo XX, y particularmente tras grandes accidentes mineros a nivel mundial, comenzó a surgir la necesidad de estructurar la seguridad bajo sistemas formales. Se introdujeron conceptos como:

- Procedimientos estandarizados
- Inspecciones sistemáticas
- Entrenamiento técnico especializado
- Brigadas de emergencia internas

Este periodo marcó el inicio de una visión más organizada, aunque aún centrada en el cumplimiento documental.

Gestión moderna de la seguridad

En las últimas décadas, la industria ha transitado hacia Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional, donde el enfoque cambia de “evitar accidentes” a “gestionar riesgos”. Modelos basados en estándares internacionales

integran liderazgo, cultura organizacional, análisis de datos y mejora continua.

Actualmente, la seguridad se entiende como un elemento transversal que impacta directamente en la productividad, la reputación corporativa y la licencia social para operar.

2. Conceptos Fundamentales para Programas de Seguridad Eficientes

Un programa de seguridad minero eficiente debe considerar los siguientes elementos:

a) Cultura de seguridad participativa

Más que cumplir normas, las operaciones deben promover un entorno donde cada persona se sienta responsable de la seguridad. Esto incluye:

- Comunicación abierta de riesgos y casi accidentes.
- Liderazgo visible y comprometido con la seguridad.
- Participación activa de los trabajadores en la identificación de peligros.

b) Identificación y evaluación de peligros (IPERC)

Un sistema robusto de identificación de peligros y evaluación de riesgos permite anticipar eventos adversos antes de que ocurran. Se recomienda usar matrices dinámicas y revisión continua con base en datos reales.

c) Procedimientos claros y prácticos

Los procedimientos deben ser específicos, entendibles y aplicables; no simples

formularios burocráticos. La documentación debe orientarse a la acción y a la mejora continua.

d) Medidas tecnológicas de prevención

La incorporación de tecnologías modernas ha transformado la seguridad minera. Ejemplos clave:

- Sistemas de detección de gases avanzados para alertas tempranas en ambientes subterráneos.
- Comunicación y localización en tiempo real para seguimiento de personal y evacuaciones.
- Sistemas de IA y análisis predictivo para anticipar fallas de equipos y condiciones peligrosas.
- Entrenamiento inmersivo con Realidad Virtual (VR) para preparar a trabajadores en situaciones de emergencia sin riesgo real.

Estas herramientas no reemplazan la gestión humana, pero sí potencian la prevención, la toma de decisiones y la respuesta frente a incidentes.

La cultura de seguridad como pilar central

Ningún programa de seguridad es eficaz si no existe una cultura organizacional sólida. La cultura de seguridad se refleja en la forma en que las personas toman decisiones, comunican riesgos y reaccionan ante situaciones inseguras.

Un programa eficiente debe:

- Promover el liderazgo visible y coherente

- Fomentar la responsabilidad compartida

- Eliminar la cultura del castigo y favorecer el aprendizaje

- Reconocer la seguridad como un valor, no como una prioridad temporal

Cuando la seguridad se interioriza como parte del trabajo diario, los procedimientos dejan de ser imposiciones y se convierten en herramientas útiles.

Identificación de peligros y evaluación de riesgos

La base técnica de cualquier programa de seguridad es un proceso robusto de identificación, evaluación y control de riesgos. En minería, este proceso debe ser:

- Continuo, no estático
- Específico para cada etapa del proceso minero
- Adaptado a condiciones geológicas y operativas cambiantes

Las matrices de riesgo deben actualizarse con información real de la operación y no limitarse a revisiones anuales. La integración de datos operativos y reportes de campo es clave para su efectividad.

Procedimientos operativos claros y funcionales

Uno de los principales problemas de los sistemas de seguridad es la sobrecarga documental. Procedimientos extensos, técnicos y poco claros tienden a ser ignorados en campo.

Un procedimiento eficaz debe:

- Ser claro, conciso y visual

- Estar alineado con la realidad operativa

- Explicar el "por qué" y no solo el "qué"

- Ser validado por quienes lo ejecutan

La simplicidad bien diseñada incrementa el cumplimiento y reduce la probabilidad de error humano.

3. La Importancia de las Brigadas de Rescate Minero Rol y responsabilidad de las brigadas

Las brigadas de rescate minero representan la última línea de defensa ante emergencias mayores. Su función va más allá del rescate físico: son un componente crítico de la preparación, la prevención y la gestión de crisis.

Entre sus principales funciones destacan:

- Respuesta inmediata ante incendios, colapsos, explosiones o inundaciones
- Evaluación de condiciones post-accidente

- Coordinación con autoridades externas y servicios especializados

- Participación activa en simulacros y análisis de escenarios

Las brigadas de rescate son estructuras especializadas y entrenadas para responder a emergencias que superan las capacidades operativas regulares:

Funciones esenciales

- Respuesta inmediata ante colapsos, incendios, inundaciones y otros eventos críticos.



- Técnicas de búsqueda y rescate en ambientes complejos, especialmente subterráneos.

- Coordinación con servicios externos de emergencia y autoridades. Capacitación y preparación continua

Una brigada eficaz requiere entrenamiento riguroso, simulaciones realistas y actualización constante en técnicas avanzadas de rescate, maquinaria especializada y protocolos de seguridad. Se recomienda que las brigadas no sean un área aislada, sino integrada al sistema de seguridad general de la mina, participando en ejercicios conjuntos, simulacros y análisis de incidentes.

Capacitación y equipamiento

La efectividad de una brigada depende de su preparación técnica y física. El entrenamiento debe ser continuo y realista, incluyendo:

- Uso de equipos de respiración autónoma
- Técnicas de búsqueda y rescate subterráneo
- Manejo de materiales peligrosos
- Atención prehospitalaria en ambientes extremos

La inversión en brigadas no debe verse como un gasto, sino como una garantía de resiliencia operativa.

4. Superar la Burocracia: Programas Dinámicos y Accionables

Uno de los retos más

frecuentes en la industria minera —especialmente en organizaciones grandes— es la burocratización excesiva de los procedimientos de seguridad. Esto puede traducirse en:

- Formularios largos y complejos.
- Reportes duplicados o irrelevantes.
- Procesos lentos de aprobación.

Reducción de la Burocracia: Seguridad Ágil y Accionable
Uno de los grandes retos actuales es transformar sistemas de seguridad excesivamente burocráticos en modelos ágiles y orientados a la acción. La sobre-documentación genera fatiga administrativa y reduce el compromiso del personal operativo.

Principales fallas de los modelos burocráticos

- Duplicación de formatos
- Reportes sin retroalimentación
- Procesos lentos de aprobación
- Indicadores que no reflejan la realidad del campo

Estrategias para programas dinámicos

- Digitalización de reportes y permisos de trabajo
- Automatización de análisis de tendencias
- Integración de seguridad con producción y mantenimiento
- Retroalimentación inmediata al personal

Cuando la información fluye rápidamente, la seguridad

se convierte en un proceso proactivo y no en una carga administrativa.

Recomendaciones para dinamizar programas

- Simplificación de documentación, con enfoque en lo que realmente aporta valor.

- Automatización de reportes y análisis de datos mediante plataformas digitales que reduzcan carga manual y errores.

- Procesos de retroalimentación corta, donde los trabajadores reciban información inmediata sobre acciones tomadas tras sus reportes.

- Evaluación de desempeño en tiempo real, con indicadores claves (KPIs) visibles para todo el equipo.

5. Tecnologías Emergentes: Oportunidades para una Minería Más Segura

La transformación digital no es una moda: está redefiniendo cómo se percibe y gestiona la seguridad en la minería.

La innovación tecnológica ha abierto nuevas oportunidades para elevar los estándares de seguridad: Inteligencia artificial y análisis predictivo

El uso de IA permite identificar patrones de riesgo a partir de grandes volúmenes de datos, anticipando fallas antes de que ocurran incidentes.

Sensores, IoT y wearables

- Monitoreo de gases, vibraciones y condiciones ambientales

- Seguimiento en tiempo real del personal

- Alertas tempranas de exposición a riesgos

Realidad virtual y aumentada
Estas herramientas han revolucionado la capacitación, permitiendo entrenamientos inmersivos en escenarios de alto riesgo sin exponer a los trabajadores. Automatización y robótica
La operación remota y el uso de equipos autónomos reducen significativamente la exposición humana en zonas críticas.

Inteligencia Artificial y machine learning

Estas herramientas permiten analizar datos de múltiples fuentes (sensores, condiciones ambientales, comportamiento del personal) para identificar patrones de riesgo invisibles a la supervisión humana.

Robótica y vehículos autónomos

Robots y maquinaria autónoma pueden desempeñar tareas peligrosas —como inspecciones en zonas inestables o entrega de suministros en áreas críticas— reduciendo la exposición humana al riesgo.

Wearables y sensores IoT

Cascos inteligentes, sensores de condición ambiental y dispositivos de monitoreo continuo aportan datos en tiempo real para decisiones más rápidas y certeras.

Plataformas digitales de gestión

Software especializado permite consolidar, analizar y transformar datos de seguridad en información

accionable, reduciendo tiempos de respuesta y facilitando auditorías automatizadas.

6. Casos de Éxito y Lecciones Aprendidas en la Industria Minera

Aunque los desafíos son globales, existen ejemplos donde la implementación estratégica de programas de seguridad ha resultado en mejoras significativas:

- Operaciones que integran monitoreo exhaustivo con datos en tiempo real han logrado reducciones importantes en incidentes graves comparados con modelos tradicionales.

- Minas que adoptan entrenamientos inmersivos con VR han observado mejor retención de protocolos y mayor confianza del personal ante situaciones de emergencia.

Estos casos demuestran que la seguridad y la eficiencia operativa no son objetivos opuestos, sino complementarios.

A nivel mundial, operaciones mineras que han apostado por sistemas integrales de seguridad han logrado:

- Reducciones sostenidas en tasas de accidentes
- Mayor eficiencia operativa
- Mejor aceptación social de sus proyectos
- Mayor estabilidad laboral y retención de talento

Estos casos demuestran que la seguridad bien gestionada es un factor de competitividad, no un obstáculo para la producción.

Conclusión

Diseñar programas y procedimientos de seguridad eficientes en la minería implica integrar cultura organizacional, gestión de riesgos, tecnología, brigadas de rescate especializadas y procesos ágiles. La industria ha avanzado enormemente, pero los retos actuales requieren una visión que priorice sistemas preventivos, participación activa de los trabajadores y aprovechamiento de herramientas emergentes. La seguridad en la industria minera ha dejado de ser un conjunto de reglas estáticas para convertirse en un sistema dinámico, estratégico e integral. Diseñar programas y procedimientos eficientes implica comprender que la seguridad no se impone: se construye con liderazgo, participación, tecnología y aprendizaje continuo.

La seguridad minera del futuro no será más compleja, sino más inteligente, más integrada y más humana —permitiendo no solo preservar vidas, sino elevar los estándares de productividad y sostenibilidad del sector.

El futuro de la minería segura dependerá de la capacidad del sector para simplificar sin perder rigor, innovar sin perder control y proteger a las personas sin sacrificar productividad. En ese equilibrio reside la verdadera eficiencia de los programas de seguridad minera.

The Aeolus logo is positioned at the top center of the advertisement. It features the brand name 'AEOLUS' in a bold, black, sans-serif font. The letter 'O' is replaced by a stylized circular icon consisting of concentric rings, suggesting motion or a tire tread pattern. The entire logo is set against a solid yellow background that spans the top of the image.

AEOLUS

The background of the advertisement is a photograph of a mining operation. A large yellow dump truck is shown in the middle ground, driving on a dirt road within a deep quarry. The truck is carrying a load of dark material, likely coal or ore. In the foreground on the left, a large, detailed close-up of a tire tread is visible, showing a complex, blocky pattern designed for off-road use. The quarry walls are steep and rocky, and mountains are visible in the far distance under a clear sky.

MÁS HORAS DE TRABAJO

AG01 PRO

Diseñada para enfrentar jornadas prolongadas y condiciones extremas en minería a cielo abierto. Gracias a su carcasa reforzada y compuestos de hule que ayudan a reducir el desgaste y maximizar la vida útil operativa.

Con más de 60 años de experiencia global, Aeolus respalda cada producto con soporte técnico especializado, garantías adaptadas y cobertura local donde realmente importa.

WE OWN THE OFF-ROAD

marketingint@aeolustyre.com

www.aeolusotr.com

“RETOS DE LA INDUSTRIA MINERA EN 2026: REGULACIÓN, MERCADO Y VISIÓN ESTRATÉGICA PARA UN SECTOR EN TRANSFORMACIÓN”

Por: Juan Carlos Piña Rodríguez

Un análisis integral del entorno normativo, social, económico y tecnológico que redefine el futuro de la minería en México y América Latina.

Introducción

La industria minera global enfrenta un momento de transformación profunda y acelerada conforme

entramos en 2026. Esta actividad, esencial para la provisión de materias primas que alimentan la economía mundial — desde la infraestructura tradicional hasta la transición energética— se ha inmersa en una convergencia de presiones sociales, políticas, regulatorias y económicas

sin precedentes.

Compañías, gobiernos, comunidades y mercados están reconfigurando sus expectativas y estrategias. La minería ya no se concibe sólo como extracción de recursos; se ha convertido en un eje central de debates sobre sostenibilidad, soberanía nacional de recursos,



modificaciones centrales fue la reducción en la duración de concesiones de 50 a 40 años, lo cual introduce un desafío significativo para un sector que suele planear inversiones a largo plazo debido a los amplios periodos hasta la recuperación de capital. Esta percepción de incertidumbre jurídica ha sido señalada como un factor que disuade la inversión extranjera directa y el financiamiento de proyectos exploratorios.

Asimismo, la consolidación de la exploración bajo la administración del Servicio Geológico Mexicano, aunque tiene bases técnicas, también ha sido criticada por limitar la participación activa de privados en ésta fase crítica del ciclo minero. El T-MEC y su revisión: una oportunidad pendiente

La revisión del Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC) en 2026 plantea un momento clave para la minería mexicana. Para diversas empresas del sector, incluir un capítulo específico de minería dentro del T-MEC significaría no solo reconocimiento estratégico, sino también la alineación de estándares regulatorios, cooperación para inversiones y mayor certidumbre para capital global.

Este esfuerzo es especialmente relevante

innovación tecnológica y responsabilidad social corporativa. Este artículo analiza de forma exhaustiva los retos que enfrenta la industria, desde la normativa y la regulación hasta la visión de crecimiento adoptada por las propias empresas mineras.

1. Marco Normativo y Regulación: ¿Hacia Dónde se Dirige la Legislación Minera?

1.1. Cambios legislativos clave en México y su impacto En México, las reformas recientes a la Ley Minera han generado debate intenso dentro del sector. Una de las

porque la minería alimenta a más de 190 sectores productivos del país y puede incrementar la competitividad regional al integrarse de forma más profunda con las cadenas de valor energéticas, tecnológicas y manufactureras.

1.2. Regulación internacional y sus efectos en el comercio
A nivel global, nuevas regulaciones ambientales y de gobernanza (como la legislación europea para la reducción de la deforestación en productos de exportación) comienzan a tener impacto sobre sectores extractivos en mercados emergentes y desarrollados. Si bien estudios académicos muestran que estas normas pueden disminuir impactos ambientales, también introducen costos de cumplimiento y revisiones más estrictas de cadenas de suministro, retos que los operadores mineros deben integrar en sus estrategias comerciales.

Además, normas como la Foreign Subsidies Regulation de la Unión Europea fuerzan una mayor transparencia en inversiones transfronterizas, lo cual afecta directamente las fusiones y adquisiciones internacionales en la minería.

2. El Entorno Económico Global y su Influencia en los Mercados Mineros

2.1. Dinámicas de precios y demanda de materias primas

En 2026, la presión sobre la demanda de minerales críticos continúa creciendo. Metales como el cobre, litio, cobalto y grafito se han colocado en el centro de las estrategias de transición energética, electrificación y tecnologías de alto valor agregado. La demanda global de cobre, por ejemplo, se proyecta que aumente significativamente en los próximos años para sostener proyectos de energía renovable, infraestructura eléctrica y la expansión de inteligencia artificial.

Este incremento de demanda empuja los precios y ha incentivado una ola de fusiones entre gigantes mineros para asegurar reservas productivas existentes frente al coste y la complejidad de desarrollar nuevos yacimientos.

2.2. Consolidación y reacondicionamiento de la industria

Los mercados están siendo testigos de movimientos estratégicos que buscan crear escala, eficiencia y acceso a reservas clave. Ejemplos recientes incluyen conversaciones de fusión

entre empresas como Rio Tinto y Glencore, que de concretarse podría resultar en la compañía minera más grande del mundo, posicionándose de manera dominante en la producción de cobre.

De igual manera, la fusión de Anglo American y Teck Resources está siendo evaluada favorablemente por los reguladores de la Unión Europea, reflejando una tendencia de consolidación global para enfrentar la presión del mercado y la competencia geopolítica por recursos estratégicos.

2.3. Costos de operación, productividad y capital

Empresas mineras enfrentan un aumento sostenido de costos operativos, el cual proviene de distintos vectores como materiales, energía, logística y, de manera crítica, gastos regulatorios. Las tasas corporativas de impuestos y regalías han subido en muchos países, elevando el punto de equilibrio operativo. Además, factores como la depreciación de reservas y caída de leyes minerales incrementan la complejidad de las operaciones, presionando a una mayor eficiencia y modernización mediante tecnologías como la automatización, IA y



análisis de datos avanzados.

2.4. Financiamiento y retornos de inversión

En un entorno de tasas de interés más elevadas en varias economías importantes, el costo promedio del capital para proyectos mineros se ha incrementado, afectando la viabilidad de nuevas inversiones. Frentes como financiamiento sostenible (sustainable finance), acuerdos de streaming y asociaciones público-privadas se vuelven cada vez más relevantes para atraer capital.

3. Entorno Social y Gobernanza: Licencia Social para Operar

3.1. Expectativas de comunidades y grupos civiles La minería moderna es mucho más que extracción de minerales — es una actividad con impactos sociales directos y prolongados. Esto exige que las empresas no solo cumplan la ley, sino que consigan y mantengan lo que se denomina una Licencia Social para Operar (LSO), es decir, la aceptación y respaldo de las comunidades locales en todas las fases del proyecto.

Empresas que no integran procesos efectivos de diálogo comunitario y beneficios compartidos han enfrentado bloqueos, protestas y

mayores costos legales y operativos. En 2026, este desafío no ha disminuido: las exigencias de comunidades para protección ambiental, derechos laborales, beneficios tangibles y participación en beneficios son más intensas que nunca.

3.2. Responsabilidad Social Corporativa (RSC) y sostenibilidad

La RSC se ha consolidado como eje estratégico para la competitividad y credibilidad del sector minero. En México, por ejemplo, las inversiones de las empresas afiliadas a la Cámara Minera de México en proyectos ambientales y programas comunitarios alcanzaron cifras significativas recientemente, subrayando el compromiso del sector con prácticas

responsables.

Estas iniciativas no sólo buscan mitigar impactos, sino también crear valor socioeconómico local, al invertir en infraestructura, educación, salud y proyectos productivos, aspecto que se convierte en una herramienta de gestión de riesgos y fortaleza corporativa.

4. Desarrollo Tecnológico y Minería 4.0

4.1. Automatización, IA y digitalización

La industria minera se encuentra en plena adopción de lo que se ha denominado Minería 4.0: integración de tecnologías como inteligencia artificial,



automatización y procesamiento inteligente de datos para optimizar operaciones.

Las empresas que han avanzado más en estas áreas muestran mejoras en productividad, mayor seguridad y reducción de costos operativos. Sin embargo, la adopción tecnológica también enfrenta retos de capacitación de capital humano, inversión inicial elevada y resistencia cultural interna.

4.2. Gestión del talento y crisis de habilidades

Una de las tendencias más preocupantes es la escasez de talento especializado,

especialmente en áreas técnicas, digitales y de sostenibilidad. Un porcentaje creciente de la fuerza laboral minera se aproxima a la jubilación, mientras que la atracción de talento joven hacia áreas mineras no ha sido suficiente.

Las empresas exitosas están implementando programas robustos de capacitación interna, alianzas con universidades y esfuerzos para diversificar perfiles laborales, incluidos expertos en datos, sostenibilidad y ciencia ambiental.

5. Perspectivas de

Crecimiento y Nuevos Proyectos

5.1. Exploración y desarrollo de nuevos activos

A pesar de un entorno regulatorio desafiante, la exploración sigue siendo la principal palanca para asegurar el futuro del sector. En regiones como Sonora, México, se proyecta una significativa expansión de actividad minera para 2026, impulsada por la recuperación de permisos ambientales y expectativas de mayor flujo de inversión.

5.2. Minerales críticos y transición energética

El auge de tecnologías verdes y la electrificación





global ha colocado a minerales como el cobre, litio, grafito y cobalto en el centro de las estrategias de expansión. Proyectos vinculados a estos materiales atraen inversiones, aunque también enfrentan barreras de infraestructura, permisos ambientales y competencia geopolítica.

Por ejemplo, en Groenlandia se aprobó un gran proyecto de mineral de grafito de alta pureza, subrayando cómo gobiernos y bloques regionales están moviendo piezas para asegurar fuentes propias de suministros críticos.

6. Visión Empresarial: Estrategias y Proyecciones hacia 2030

Las empresas mineras grandes y medianas están redefiniendo sus estrategias para 2030 y más allá:

6.1. Integración de sostenibilidad en la estrategia corporativa

Para atraer inversiones y operar con licencia social, las corporaciones han colocado la sostenibilidad en el centro de sus modelos de negocio. Esto incluye objetivos de reducción de emisiones, gestión de agua, reutilización de recursos y prácticas de economía circular.

6.2. Colaboración con gobiernos y comunidades

Modelos exitosos de desarrollo implican colaboración activa con autoridades locales y nacionales, co-inversión en infraestructura y acuerdos beneficiosos para comunidades indígenas y rurales, que buscan participación equitativa en los beneficios de la minería.

6.3. Adaptación ante presión política y geopolítica

Con la creciente preocupación por la seguridad de suministro de minerales estratégicos, muchos gobiernos han intensificado su involucramiento en decisiones corporativas del sector minero, incluyendo políticas de contenido local, restricciones de exportación y apoyo a inversiones clave.

Conclusión

La industria minera en 2026 se halla en una encrucijada: por un lado, un impulso sin precedentes hacia la expansión y el rol estratégico en la economía global, impulsado por la transición energética y las necesidades productivas; por otro, una complejidad mayor que nunca en regulación, expectativas sociales, costos operativos, financiamiento y tecnología.

Para navegar con éxito este entorno, las empresas deben:

- Reforzar la certeza jurídica

y la transparencia en sus relaciones con gobiernos y reguladores.

- Crear valor compartido con comunidades y partes interesadas, obteniendo licencias sociales duraderas.
- Invertir en tecnologías disruptivas y capacitación del talento.

- Adoptar modelos flexibles de financiamiento que incorporen criterios ESG y colaboraciones público-privadas.

- Posicionarse estratégicamente en minerales críticos, con una visión de largo plazo y resiliencia frente a geopolítica y ciclos de mercado.

En suma, 2026 no es un año de transición, sino un punto de inflexión para la minería global — donde estrategias inteligentes y responsabilidad integral definirán qué empresas y países liderarán la próxima década de desarrollo sustentable.

Artículo: Retos de la Industria Minera en 2026

Nota editorial general:

Los datos presentados corresponden a estimaciones sectoriales y tendencias consolidadas a partir de reportes de organismos internacionales, consultoras especializadas y cámaras mineras, utilizados con fines analíticos y editoriales.



Uso de la Fotogrametría en la Industria Minera: Impulso a la Productividad, Eficiencia y Competitividad Operativa

Introducción

La industria minera global se encuentra inmersa en una profunda transformación tecnológica. La presión por extraer recursos de manera más eficiente, segura y rentable ha llevado a las operaciones

a adoptar soluciones digitales avanzadas. Entre estas, la fotogrametría, especialmente combinada con plataformas aéreas como drones o UAS (Unmanned Aerial Systems), se ha consolidado como una herramienta estratégica

para optimizar procesos, mejorar la planificación, monitorear operaciones y reducir riesgos.

La fotogrametría —basada en la adquisición de imágenes desde distintos puntos de vista y su procesamiento para generar



modelos tridimensionales de gran detalle— no es solo una técnica de captura de datos geoespaciales. Se ha convertido en un habilitador clave de la toma de decisiones basada en datos, la gestión eficiente del recurso, y la integración con sistemas inteligentes de análisis. Su impacto va desde el levantamiento topográfico inicial hasta el cierre de mina y la supervisión ambiental, con beneficios tangibles en productividad y competitividad.

Este artículo examina en profundidad cómo la fotogrametría está revolucionando la minería moderna, sus aplicaciones, beneficios operativos, impactos tecnológicos, retos, ejemplos prácticos y recomendaciones para su implementación efectiva.

1. ¿Qué es la Fotogrametría y por qué es relevante en minería?

1.1 Concepto técnico

La fotogrametría es la técnica de medir y reconstruir objetos y superficies tridimensionales a partir de fotografías superpuestas. Utiliza principios de geometría y óptica junto con algoritmos matemáticos para crear modelos digitales del terreno (DTM), nubes de puntos 3D y ortomosaicos de alta resolución.

En minería, estos modelos permiten cuantificar volúmenes de materiales, realizar análisis volumétricos de stockpiles, planificar rutas de acceso o analizar cambios en taludes a lo largo del tiempo. La fotogrametría moderna aprovecha no solo cámaras RGB tradicionales, sino también sensores multiespectrales y otros equipos que amplían el valor de los datos recopilados.

1.2 De la topografía convencional a la fotogrametría

Tradicionalmente, el levantamiento topográfico en minería se hacía con estaciones totales, GPS de alta precisión y métodos manuales que requerían más tiempo, mayores riesgos para el personal y frecuentemente mayor costo operativo.

La fotogrametría — especialmente con drones— reduce o elimina muchos de estos problemas. Un vuelo corto con un UAV puede capturar miles de imágenes que, transformadas por software especializado, permiten obtener información precisa del terreno sin que el personal tenga que ingresar a zonas peligrosas o inaccesibles.

2. Aplicaciones de la Fotogrametría en la Industria Minera

La fotogrametría tiene

aplicaciones directas en múltiples fases de una operación minera:

2.1 Exploración y planificación inicial

Durante la exploración, la fotogrametría facilita:

- Mapeo detallado del terreno, capturando características geográficas relevantes.
- Identificación de estructuras geológicas y fracturamientos, ayudando a definir zonas de interés con mayor precisión.

- Generación de modelos 3D que integran datos geoespaciales en un entorno visual fácil de interpretar.

Esto se traduce en una planificación más efectiva de campañas de perforación, caminos de acceso y ubicación de puntos de muestreo, reduciendo tiempos y costos.

2.2 Cálculo volumétrico y gestión de stockpiles

Uno de los usos más valiosos de la fotogrametría en minería es el cálculo preciso de volúmenes de material extraído, apilado o acumulado. El cálculo tradicional por inventarios manuales puede tener grandes márgenes de error, mientras que los modelos 3D generados fotogramétricamente ofrecen mediciones con alta fidelidad y con mayor frecuencia.

Estos datos se usan para:

- Control de inventarios.
- Planificación logística.
- Balance de materiales.
- Gestión financiera operacional.

2.3 Monitoreo de taludes y controles geotécnicos

La estabilidad de taludes es crítica para evitar accidentes, suspendiendo operaciones o provocando pérdidas económicas. La fotogrametría permite:

- Monitoreo continuo y automático del deterioro o desplazamientos de taludes.
- Detección temprana de grietas o zonas inestables.
- Integración de modelos en software de análisis geotécnico para estudios comparativos a largo plazo. La capacidad de generar modelos altamente precisos también permite cumplir con estándares de seguridad y regulaciones geotécnicas más estrictas.

2.4 Integración con análisis ambiental y sostenibilidad

Más allá de operaciones internas, la fotogrametría es útil para:

- Monitoreo de cambios ambientales alrededor de la mina, como erosión del suelo, cuerpos de agua o cobertura vegetal.
- Evaluación de impacto ambiental y cumplimiento de normativas ESG.
- Documentación visual y cuantitativa de la restauración del terreno post-

explotación.

2.5 Integración con tecnologías auxiliares

La fotogrametría puede trabajar de forma complementaria con:

- LiDAR, para obtener aún más detalle en topografías complejas.
- Geofísica remota por satélite, mejorando el entendimiento del subsuelo.
- Modelado digital para simulación y realidad virtual.
- Sistemas BIM (Building Information Modeling) y gemelos digitales de mina para pruebas de escenarios.

3. Impacto en Productividad y Eficiencia Operativa

La adopción de la fotogrametría en la minería no es solo una mejora técnica aislada; impacta directamente la productividad, eficiencia y competitividad global de las operaciones:

3.1 Reducción significativa de tiempos operativos

La fotogrametría aérea con drones puede completar levantamientos en horas que antes tomaban días o semanas con métodos manuales. Esta reducción del tiempo de recolección de datos acelera la frecuencia de análisis y la toma de decisiones.

3.2 Mejora en la precisión de los datos

Modelos tridimensionales precisos reducen los errores de cálculo que frecuentemente se presentan con técnicas tradicionales, especialmente cuando se trata de medir volúmenes o estimar reservas. Esto tiene un impacto directo en la estimación de producción y planificación de cargas de trabajo.

3.3 Optimización del uso de recursos

Al generar información precisa más rápidamente:

- Se reduce el uso de personal en campo.
- Se optimiza la asignación de equipos pesados.
- Se pueden reducir viajes de transporte de material mal estimado.

Todo esto contribuye a disminuir costos y elevar los índices de eficiencia general de la operación.

3.4 Mejora en la seguridad de los trabajadores

Una de las contribuciones más importantes de la fotogrametría es que el personal no necesita ingresar a zonas peligrosas para recopilar datos, disminuyendo el riesgo de accidentes y lesiones.

3.5 Digitalización de decisiones y análisis predictivo

Los modelos fotogramétricos permiten generar métricas que alimentan sistemas de análisis predictivo,



potenciados por inteligencia artificial, que pueden anticipar fallas, optimizar rutas y mejorar flujos de trabajo, reduciendo tiempos muertos y desviaciones en los resultados.

4. Innovaciones Tecnológicas y Tendencias Actuales

La fotogrametría no es estática; evoluciona rápidamente con el avance tecnológico. Algunas de las tendencias más importantes que impactan la minería incluyen:

4.1 Drones y sistemas UAS de nueva generación

Los drones han dejado de ser simples plataformas de captura aérea. Hoy hay equipos diseñados específicamente para minería con mayor autonomía, resistencia en ambientes adversos, cámaras multispectrales e integración con sensores adicionales que amplían el rango de datos recopilados.

4.2 Inteligencia Artificial en el procesamiento de imágenes
El uso de algoritmos de IA en el procesamiento fotogramétrico acelera la creación de modelos y mejora su precisión, reduciendo tiempos de cómputo y errores humanos. Esto es especialmente relevante cuando se trabaja con grandes volúmenes de

datos recopilados por UAVs.

4.3 Integración con gemelos digitales y realidad virtual

Los modelos fotogramétricos pueden integrarse con entornos de realidad virtual y simulación, permitiendo a los ingenieros "caminar" virtualmente por la mina e interactuar con modelos 3D para diseñar y validar decisiones sin estar físicamente presentes.

4.4 Sensores avanzados y datos complementarios

Además de las cámaras tradicionales, el uso de sensores como hiperespectrales amplía lo que puede capturarse, permitiendo análisis más detallados de la composición del terreno y el material.

4.5 Procesamiento en la nube y colaboración remota

Con el aumento del uso de la nube, las operaciones mineras pueden procesar y compartir modelos en tiempo real con equipos remotos, facilitando la colaboración internacional y decisiones más rápidas sin depender de infraestructura local costosa.

5. Casos y Ejemplos Relevantes

5.1 Experiencias empresariales y transferencia de conocimiento

Empresas como Drummond Ltd. han liderado programas de transferencia tecnológica

en colaboración con universidades para aplicar fotogrametría con drones en el cálculo volumétrico de carbón, mejorando la eficiencia en mediciones y reduciendo errores en comparación con métodos tradicionales.

5.2 Evaluaciones académicas en operaciones reales

Tesis en el ámbito universitario han demostrado que el uso de drones con fotogrametría puede producir levantamientos topográficos con resultados comparables o superiores a técnicas convencionales, completando tareas en menos tiempo y con menor esfuerzo humano, incluso en áreas inaccesibles.

5.3 Casos de uso geotécnico en tajos abiertos

El uso de fotogrametría para monitorear y analizar taludes en minas a cielo abierto ha permitido validar, modificar y optimizar diseños operativos, además de integrar estas visualizaciones con tecnología VR para supervisión remota.

6. Desafíos y Consideraciones para su Implementación

Aunque los beneficios son claros, la adopción de fotogrametría enfrenta retos importantes:

6.1 Costos de software y hardware

El software especializado para procesamiento fotogramétrico puede ser costoso. Además, la necesidad de drones robustos, cámaras de alta resolución y hardware de cómputo potente representa una inversión considerable.

6.2 Gestión de grandes volúmenes de datos

Los levantamientos fotogramétricos generan enormes cantidades de datos que deben almacenarse, procesarse y analizarse. Sin un adecuado sistema de gestión de datos, las operaciones pueden saturar servidores o retrasar la toma de decisiones.

6.3 Capacitación técnica especializada

No basta con poseer la tecnología; se requiere personal capacitado en:

- Pilotaje de drones.
- Procesamiento fotogramétrico.
- Interpretación de modelos 3D.
- Integración con sistemas GIS y software de planificación.

Sin correcta formación, la tecnología no se aprovecha adecuadamente.

6.4 Condiciones ambientales y operativas

Factores como clima adverso, polvo, niebla o áreas con poca iluminación pueden dificultar la captura de imágenes claras, afectando la precisión de los modelos

generados.

7. Recomendaciones para la Implementación Exitosa

Para maximizar los beneficios de la fotogrametría en minería, se recomienda:

7.1 Desarrollar una estrategia de datos "end-to-end"

Desde la captura hasta la integración con sistemas GIS y plataformas de análisis, es crucial que todos los procesos estén alineados y optimizados.

7.2 Capacitar al personal de forma continua

La tecnología evoluciona rápidamente; invertir en capacitación técnica para pilotos UAV, procesadores y analistas asegura que la empresa aproveche la fotogrametría de forma eficiente.

7.3 Integrar fotogrametría con otras tecnologías

Combinación con LiDAR, sensores multispectrales y análisis avanzado con IA maximiza el valor de los datos recopilados.

7.4 Establecer protocolos de seguridad y cumplimiento

Dado que la fotogrametría reduce riesgos al personal en campo, es necesario mantener protocolos que aseguren el cumplimiento normativo tanto de UAVs como de operaciones mineras.

7.5 Adoptar soluciones escalables

Desde plataformas en la nube hasta software modular, optar por soluciones que escalen con el crecimiento de la operación garantiza flexibilidad y reducción de costos a largo plazo.

Conclusión

La fotogrametría representa una revolución operativa para la industria minera. Su capacidad para capturar datos precisos, reducir tiempos de medición, disminuir riesgos laborales y apoyar la toma de decisiones basadas en datos la convierte en una herramienta indispensable para la minería moderna y competitiva.

Su impacto va más allá del simple mapeo: se integra con sistemas inteligentes, permite monitoreo en tiempo real, optimiza recursos y habilita análisis avanzados de geotecnia, planificación y sostenibilidad. Adoptar la fotogrametría no es solo una mejora tecnológica, sino una inversión estratégica que influye directamente en la productividad, eficiencia operativa y competitividad de las operaciones mineras en un entorno global cada vez más exigente.

Sistemas de automatización para la Industria Minera



¡Alta resistencia a la temperatura, condiciones exteriores, carcasa robusta y protección eficaz contra choques y vibraciones!

Dispositivo de paro de tirón de emergencia.

Protección fiable de zonas de peligro grandes
Para utilización en cintas transportadoras
Versión muy resistente para el uso en entornos industriales muy exigentes
Ajuste sencillo de la tensión del cable
Integración en redes AS-i

¡Protege a los operarios y máquinas frente a posibles riesgos!



En la búsqueda de la mejora de la vida de componentes, cómo una mina documentó beneficios cercanos a los USD\$900,000.



SHELL
LUBRICANTS

Las operaciones de todas las industrias enfrentan una variedad de retos importantes en la actualidad, pero la mayoría coincide en que es indispensable buscar eficiencias y optimizar costos. Muchos equipos de mantenimiento no son conscientes del potencial que un programa de monitoreo puede ayudar a establecer.

Mediante una metodología enfocada en impactar positivamente el Costo Total de Propiedad (TCO por sus siglas en inglés) es posible impulsar la productividad. En muchos casos, las bases de proyectos de optimización de lubricación y extensión de vida de componentes o equipos se soportan en los datos de un programa de monitoreo de factores clave para los equipos. En equipos mineros, un componente esencial y en el que muchos programas están enfocados es el motor de los diferentes equipos móviles.

Observando las tendencias del desgaste y la salud del lubricante.

Cuando una operación establece objetivos de extensión de vida de componentes o equipo, es de vital importancia contar con una cantidad de datos suficiente para observar el comportamiento asegurando su representatividad en la operación a través del tiempo. En un caso particular que abordaremos como ejemplo, a lo largo de 5 años de operación se recopiló información que sustentó el excelente desempeño de los lubricantes Shell, así como la conservación adecuada de los componentes de los equipos.

En los siguientes gráficos se muestran los resultados de un equipo representativo de la flota del cliente para los metales Hierro y Aluminio, de los más relevantes al analizar el desgaste, en este caso se trata de un motor Cummins.

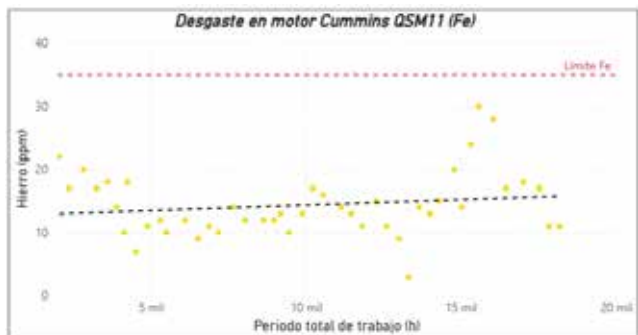


Fig. 1. Hierro a lo largo de la vida útil.



Fig. 3. Tasa de desgaste de hierro a lo largo de la vida útil.



Fig. 2. Aluminio a lo largo de la vida útil.



Fig. 4. Tasa de desgaste de Aluminio a lo largo de la vida útil.

Aunque existen diversos factores que determinan la vida total de un equipo, e inclusive, de cada uno de sus componentes; las tendencias observadas en estos gráficos nos indican que es posible inferir una vida mayor comparada con el estándar manejado por el cliente ya que se observan niveles mínimos de forma consistente a lo largo de 17,000 horas operativas comparados con los límites condenatorios publicados por Cummins.

Las tasas de desgaste muestran un control efectivo, se observa un incremento inicial normal y un incremento razonable durante el periodo en estudio; si únicamente con fines de realizar una comparación relativa, consideráramos normalizar el límite establecido por el fabricante para los metales presentados en este texto a las 250 horas, los valores estarían en lo general un 90% por debajo de éste.

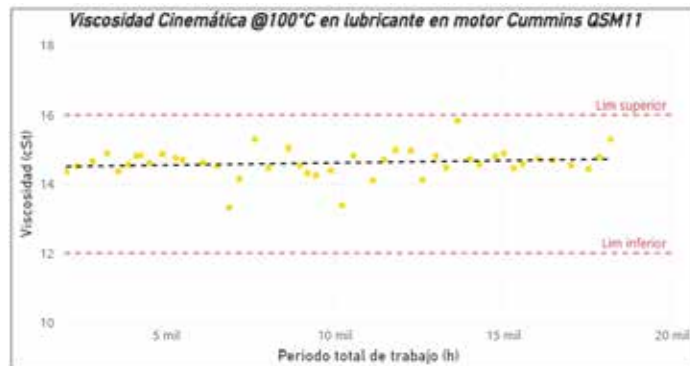


Fig. 5. Viscosidad del lubricante a lo largo de la vida útil.



Fig. 6. Oxidación del lubricante a lo largo de la vida útil.

Para nuestro caso de estudio, así como la Viscosidad y Oxidación; las principales propiedades fisicoquímicas del lubricante Shell Rimula R4 L 15W-40 se mantuvieron dentro de los límites establecidos por Cummins a lo largo de las horas operativas analizadas. Por supuesto, el análisis del caso en específico comprende la información de todos parámetros fisicoquímicos del aceite para constatar cómo existe una relación directa entre el control del desgaste en el motor y la salud del lubricante en operación.



Alcanzando la meta de un mejor TCO

Para Shell, el Costo Total de Propiedad se define como todos los costos involucrados desde la adquisición de un equipo, su operación, mantenimiento y hasta su decomisionamiento y disposición. Es por ello por lo que al extender su vida útil es posible materializar ahorros, pero es indispensable el uso de herramientas que habiliten la toma de decisiones para que estos esfuerzos no se conviertan en un problema.

Con ayuda de la implementación de una rutina robusta de monitoreo diseñada para proteger los activos, es posible la implementación de proyectos como el ilustrado en este artículo en el que se concluyó que era posible incrementar aproximadamente en 2.3 la vida útil que el cliente contemplaba para este componente. Esto es más de 120% la vida inicial de componente y representó un beneficio cercano a los \$900,000 dólares.

Con apoyo de los servicios técnicos de Shell, se dio seguimiento puntual al desempeño del lubricante en operación, detectando de forma oportuna las desviaciones que pudieran mermar la vida útil de los componentes y permitiendo tomar acciones oportunas. Las alianzas estratégicas con expertos en lubricación, que habiliten a la operación para el desarrollo de proyectos de alto impacto y que apoyen al análisis de la información que constituye la evidencia del desempeño de los aceites y los equipos es fundamental para alcanzar las metas.

En Shell nos enfocamos en convertirnos en ese aliado estratégico en quien su operación puede confiar para la implementación de programas integrales de lubricación que aportan valor gracias a la reducción del TCO.

Beneficios del caso de éxito estimados para un solo cliente y bajo las condiciones específicas de su operación. Los ahorros reales pueden variar dependiendo de los factores de cálculo en la estimación del TCO. Estimaciones realizadas para el mercado Mexicano. Las declaraciones en este artículo se presentan con fines demostrativos sobre los servicios y resultados alcanzables a través del trabajo técnico conjunto entre los expertos de Shell y los equipos de mantenimiento de operaciones industriales de clientes y no constituyen un compromiso de entrega de valor. Para cualquier duda o aclaración contacte a Shell directamente



ISO 9001:2015

Sistema de Gestión de Calidad Certificado

Número de certificado: CERT-AVRQ-21-09-510

Kal Tire S.A. de C.V.

www.kaltiremining.com



CAMINO
A CERO
KALTIRE

KALTIRE

**Ventas y Servicios: Llantas
OTR, Rines, Cadenas y
Accesorios**

MAT. HERMOSILLO

De los Pimas No17 Col Parque 7
Industrial,
CP 83297 Tel. (662)1084420
ventas.hermosillo@kaltire.com
ventas.hillotcar@kaltire.com

SUC.COLIMA

Carretera Colima - Coquimatlán # 706
Colonia Santa Fe
CP. 28973 Tel. Oficina: (+ 52) 312
3142377
ventas.colimatcar@kaltire.com

SUC. ZACATECAS

Antigua Carretera Panamericana
KM 2.5, Col. Mecánicos, T
el. (492) 768-7505 y (492)768-7471
ventas.zacatecas@kaltire.com

SUC. CHIHUAHUA

Calle 2 de abril # 2008
Col: Benito Juárez
Tel. Oficina +52 (842) 424-2700
Ext. 43051 & 43052
ventas.chihuahua@kaltire.com



XV CONFERENCIA ▶ 20
INTERNACIONAL 26
DE MINERÍA C U U



EXPO
CHIHUAHUA

NOS VEMOS EN CHIHUAHUA

Innovación
Sostenible

21 AL 24 20
DE ABRIL 26



El punto de encuentro más
grande de la minería en México

Stands
disponibles

▶ hola@mbeventos.com.mx

▶ 614 130 9234



LANZAMIENTO

LISTOS PARA HACER EL

DIRTY WORK

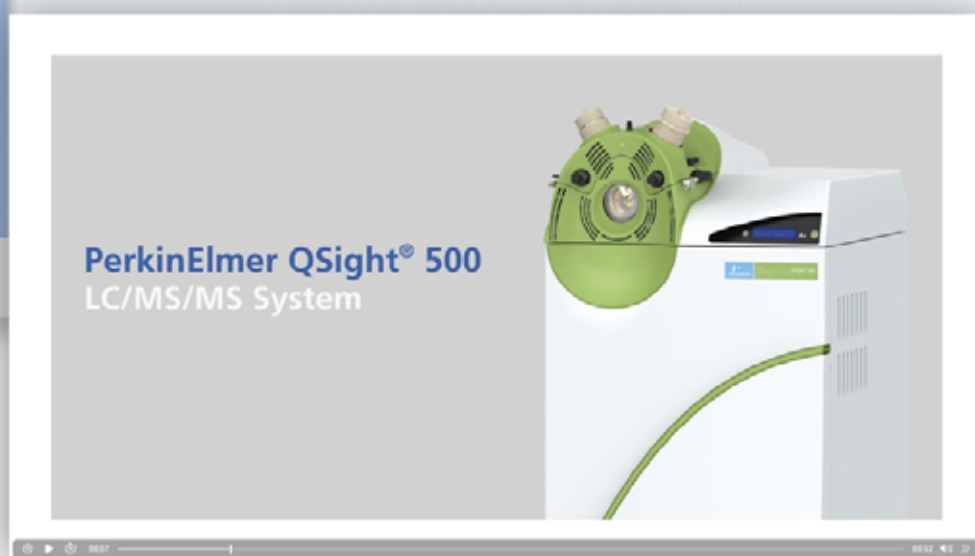


Sistema QSiht® 500 LC/MS/MS

Diseñado para lodos, grasas y las matrices más difíciles que puedas imaginar. Con una resistencia inigualable y una preparación de muestra mínima, el sistema QSiht 500 LC/MS/MS transforma incluso las muestras más desafiantes en datos limpios, confiables y procesables.

Impulsado por la tecnología StayClean™, el sistema QSiht 500 LC/MS/MS ofrece una mayor resistencia a la contaminación interna, lo que permite una preparación de muestra más sencilla y reduce el tiempo de inactividad, optimizando así los recursos y maximizando el rendimiento del laboratorio.

Las muestras difíciles se vuelven más fáciles, los análisis más simples y confiables.



Obtén más información en
www.perkinelmer.com/QSight500
Contactes con nuestros representantes de ventas:
argentina.applied@perkinelmer.com


PerkinElmer
Science with Purpose

Contrata Ahora!!!

Por solo

\$52,000

mxn anuales*

* Precio más IVA, en un solo pago.

**+ 300,000 profesionales de la minería
es nuestro alcance**

+ 5 Ediciones
+ Redes sociales
+ Pag completa

Publirreportaje de regalo +
Banner en sitio web +
Mailing masivo +



Frecuencia:
Trimestral
Ene - Abr - Jul - Oct - Dic



Tiraje:
3,000 ejemplares impresos
+25,000 Cuentas de correo
+4,000 visitas mensuales a web site
+240,000 contactos en redes sociales



Política editorial:
70% Contenido
30% Publicidad
Contenidos de Investigación,
Análisis y opinión



www.enlaceminero.com

direccion@enlaceminero.com

+52 (492) 105-65-98

FICEMIN

Facultad Internacional de
Capacitación y Educación
Minera

**Solo en 2024 cumplimos in situ
con más de 95,000 hrs./hombre
DE CAPACITACIÓN**

**Minería - Metalurgia - Geología - Seguridad
Medio Ambiente - Relaciones Comunitarias - Normativa
Legal - Finanzas - Gestión - Mantenimiento**

Cursos en calendario - On site - On Demand / Virtual - Presencial

coordinacion@ficemin.com
4921262558 - 492 1056598

PROSPECTORS & DEVELOPERS ASSOCIATION OF CANADA



MARCH 1-4
2026

**Don't miss
the world's
premier mineral
exploration and
mining convention**

- **27,000+** attendees
- **400+** hours of programming
- **1,300+** exhibitors
- Delegates from **125+** countries
- Meet investors & senior executives
- Unrivaled networking

pdac.ca/convention | Toronto, Canada

Teck

**Diamond
Sponsor**

