LITORALPRESS

Fecha: 25-06-2025
Medio: Revista Minería Chilena
Supl. : Revista Minería Chilena
Tipo: Noticia general
Título: **Camino a las cero emisiones**

Pág. : 6
Cm2: 583,4

Tiraje: Sin Datos
Lectoría: Sin Datos
Favorabilidad: No Definida

Electrificación de la minería:

Camino a las cero emisiones

La industria trabaja en resolver los diversos retos que conlleva alcanzar la carbono neutralidad, considerando sus implicancias en materia de eficiencia y costos.

www.litoralpress.cl

LITORALPRESS

Fecha: 25-06-2025
Medio: Revista Minería Chilena
Supl. : Revista Minería Chilena
Tipo: Noticia general
Título: **Camino a las cero emisiones**

Pág. : 7
Cm2: 560,0

Tiraje: Sin Datos
Lectoría: Sin Datos
Favorabilidad: No Definida

Camión minero Komatsu 930 PADT en operación.

Foto: Gentileza ABB

En el objetivo de reducir su huella ambiental, la industria minera despliega una serie de acciones con miras a disminuir las emisiones que se generan en sus diversas etapas productivas.

Al respecto, Joaquín Villarino, presidente ejecutivo del Consejo Minero, releva el hecho que la minería "está efectivamente proyectando un avance hacia la electrificación de sus procesos, en consistencia con las metas de descarbonización de las empresas mineras y del país. Un primer paso de la electrificación es asegurar que las fuentes de producción de esa electricidad sean las más limpias posibles y en esto la minería fue pionera al impulsar las energías renovables. Los avances han sido significativos y hoy, según cifras de Cochilco, la industria opera con un 74% de energías limpias a través de sus contratos de suministro de electricidad. Las proyecciones es que prontamente se superará el 80%, y ya hay varias faenas mineras que operan con 100% de energías renovables".

Refrendando lo anterior, el líder gremial resalta que "la minería también ha liderado la trazabilidad en el consumo de energía eléctrica con fuentes renovables. Según las cifras de la plataforma Renova, del Coordinador Eléctrico Nacional, del total de energía que fue verificada como proveniente de centrales renovables, un 87% corresponde a la minería".

Esto es complementado por Jorge Abraham, quien considera que, desde su cargo como vicepresidente del Comité de Innovación de la Asociación de Proveedores Industriales de la Minería (Aprimin), y también desde su rol de gerente de la División Process Industries de ABB, "tengo la convicción de que la electrificación de la minería en Chile representa una de las transformaciones más importantes y necesarias de nuestra industria. No sólo se trata de responder a los compromisos globales de sostenibilidad, sino también de asegurar la competitividad del sector en el mediano y largo plazo".

Costos y planificación

Joaquín Villarino advierte que "si la tecnología del futuro va a ser los CAEX eléctricos, ello demandará cambios significativos en la infraestructura eléctrica al interior de las faenas mineras y, por su volumen, también en el sistema eléctrico nacional, todo lo cual requiere recursos, planificación y tiempos significativos".

Relacionado a dicho punto, afirma que "los yacimientos que adopten estas tecnologías en sus flotas requerirán mayor capacidad eléctrica instalada, estaciones de carga y posiblemente soluciones de almacenamiento de energía para enfrentar posibles intermitencias. Junto a ello, una redefinición de los planes y diseño operacional, para el trazado de caminos, la logística de carga y la gestión de flotas".

En esa línea, menciona que, además de los desafíos anteriores para el reemplazo de diésel por electricidad en los CAEX, hay dos posibles trabas en las que se debe trabajar: "Habrá una fuerte demanda por nueva infraestructura, cuya concreción requiere permisos de la autoridad, de lo cual se desprende la necesidad de hacer más eficientes los procesos de tramitación. En segundo lugar, pero quizás más importante, se requiere que el costo de la electricidad sea competitivo, lo que sin duda hoy no se observa, considerando que en Chile este costo para la minería es un 18% más alto que en otros países mineros con los que competimos".

Esta inquietud es compartida por Javier Bustos, director ejecutivo de la Asociación de Clientes Eléctricos (Acenor), quien considera que "es prioritario que el sector eléctrico optimice los costos a lo largo de toda la cadena de suministro. En la actualidad, los altos costos sistémicos y cargos regulados, tales como transmisión y potencia, dificultan el avance hacia la electrificación de los consumos, tanto del sector minero, como de los distintos sectores productivos del país".

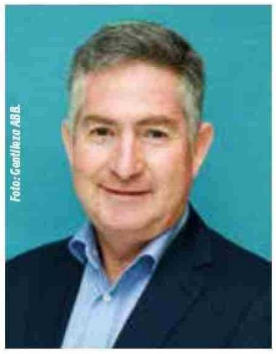
"La necesidad de suministrar una mayor demanda debe

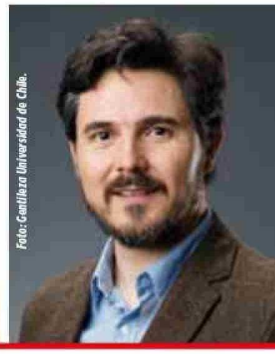
LITORALPRESS

Fecha: 25-06-2025
Medio: Revista Minería Chilena
Supl. : Revista Minería Chilena
Tipo: Noticia general
Título: **Camino a las cero emisiones**

Pág. : 9
Cm2: 479,2

Tiraje: Sin Datos
Lectoría: Sin Datos
Favorabilidad: No Definida





De Izq. a Der.: Joaquín Villarino, presidente ejecutivo del Consejo Minero.

Jorge Abraham, vicepresidente del Comité de Innovación de Aprimin.

Javier Bustos, director ejecutivo de la Asociación de Clientes Eléctricos.

Catalina López, Practice Leader en Estrategia de GEM Mining Consulting.

Juan Luis Yarmuch, académico del Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile.

atenderse de la manera más eficiente posible. En ciertos casos, será necesario invertir en infraestructura de transmisión o servicios complementarios, pero esto debe equilibrarse mediante una mayor generación cercana a los centros de consumo o autogeneración, y la internalización de los costos de servicios complementarios en aquellas unidades que generan más demanda de estos servicios, de modo que no todos los costos se trasladen al cliente final. Si se continúan traspasando todos los costos, el precio final para los clientes nunca será eficiente", advierte.

En ese contexto, Bustos expone que "es crucial poner al cliente en el centro de las decisiones del sector eléctrico. Si realmente aspiramos a que el cliente minero electrifique sus consumos, debemos enfocarnos en sus necesidades reales y cómo resolverlas. Es esencial ofrecer apoyo y opciones flexibles para que puedan adoptar nuevas tecnologías de manera eficiente".

"En definitiva, reducir las distorsiones e ineficiencias del sector eléctrico es fundamental para avanzar en la electrificación de la demanda", concluye la autoridad de Acenor.

Tareas pendientes

El presidente ejecutivo del Consejo Minero comenta que, "si bien contamos con grandes avances en reducción de emisiones provenientes del consumo eléctrico, los cuales continuarán, el mayor desafío está en reducir las emisiones provenientes del consumo de diésel en los grandes camiones de extracción minera o CAEX. Las emisiones de estos CAEX pueden representar un 80% de las emisiones directas de una faena minera y aún no está disponible la tecnología costo efectiva para una sustitución completa de diésel por electricidad a través de baterías. Lo que vemos es el desarrollo incipiente de algunos pilotos para introducir sistemas de trolleys en CAEX híbridos y otros para mezclar diésel con GNL".

Ante los diversos retos que conlleva alcanzar la carbono neutralidad, Jorge Abraham hace hincapié en que "no basta con ofrecer productos o servicios; hoy se requiere generar soluciones integradas, con visión de largo plazo, capaces de acompañar a la minería en una transición compleja que involucra aspectos técnicos, logísticos y estratégicos. La electrificación no es sólo cambiar motores diésel a motores eléctricos: requiere rediseñar caminos, contemplar espacios para estaciones de carga, considerar la autonomía operativa de equipos y robustecer toda la infraestructura eléctrica del entorno".

Asimismo, recalca que "nada de esto es posible

> **Un primer paso** de la electrificación es asegurar que las **fuentes de producción de esa electricidad sean las más limpias posibles"**, Joaquín Villarino

LITORALPRESS

Fecha: 25-06-2025
Medio: Revista Minería Chilena
Supl. : Revista Minería Chilena
Tipo: Noticia general
Título: **Camino a las cero emisiones**

Pág. : 10
Cm2: 493,8

Tiraje: Sin Datos
Lectoría: Sin Datos
Favorabilidad: No Definida

El uso de vehículos eléctricos se ha ido incrementando en el sector minero.

si no se trabaja de manera coordinada. Desde Aprimin promovemos una colaboración más estrecha entre proveedores, compañías mineras, entidades gubernamentales y academia para alinear la planificación minera con la infraestructura que esta nueva era demandará. La innovación debe estar al servicio de una minería más limpia, segura, sostenible y eficiente, y es justamente desde los proveedores donde puede nacer ese impulso disruptivo".

"Como gremio, estamos comprometidos a ser promotores e innovadores en el cambio. Y como ABB, seguiremos aportando con soluciones concretas, probadas en terreno, que contribuyan a liderar la minería responsable a nivel mundial", afirma Abraham.

Reforzamiento y planificación

En la visión de Catalina López, Practice Leader en Estrategia de GEM Mining Consulting, para avanzar en electrificación se requiere reforzar la infraestructura eléctrica en las zonas mineras y desarrollar soluciones de almacenamiento energético que permitan regular consumos en hora punta.

"La electrificación de una operación minera requiere evaluar la infraestructura eléctrica disponible y, en muchos casos, ampliarla o adaptarla para satisfacer la nueva demanda. Será necesario invertir en subestaciones más grandes, líneas nuevas o reforzadas, y sistemas de respaldo, lo cual conlleva costos relevantes. Como referencia, Escondida proyecta una inversión de US$250 millones para subestación y líneas internas, sistema de trolley y adecuaciones a camiones. Por otro lado, las tarifas asociadas a energía en horas punta podrían ser considerablemente más costosas y, por lo mismo, es fundamental evaluar las soluciones que permitan almacenar la energía en horarios más convenientes", explica.

Además expresa que se debe tener en cuenta "la electrificación en el proceso de planificación, considerando los tiempos de carga y desarrollar capital humano para gestionar los equipos de manera eficiente: La gestión de flota deberá integrarse con la gestión energética: planificar ventanas de carga para equipos para evitar detenciones prolongadas, y entrenar a los operadores en la conducción eficiente de vehículos eléctricos, evitando descargas innecesarias. Ninguna transformación es posible sin las personas. Se debe capacitar en competencias relacionadas a la electrificación: desde cursos para operadores de equipos eléctricos hasta especialización para eléctricos y mecánicos en el mantenimiento. Es importante fomentar la transferencia de conocimiento: que los profesionales que lideran los

> **Tengo la convicción** de que la electrificación de la minería en Chile **representa una de las transformaciones más importantes y necesarias** de nuestra industria", Jorge Abraham

LITORALPRESS

Fecha: 25-06-2025
Medio: Revista Minería Chilena
Supl. : Revista Minería Chilena
Tipo: Noticia general
Título: **Camino a las cero emisiones**

Pág. : 11
Cm2: 475,6

Tiraje: Sin Datos
Lectoría: Sin Datos
Favorabilidad: No Definida

pilotos actuales en empresas grandes documenten y difundan best practices al resto de la industria".

Junto con ello, la especialista de GEM sostiene que se requiere "evaluar el modelo de negocios para que sea un proceso costo eficiente y estructurar una gobernanza que permita avanzar colaborativamente y así evitar esfuerzos aislados o contradictorios: El costo de la energía eléctrica es un factor crucial al evaluar la electrificación de la minería, ya que de eso depende que los ahorros en combustible compensen o no la inversión. Históricamente, Chile ha tenido precios eléctricos más altos que otros países mineros. Según un estudio del Consejo Minero el precio promedio de la electricidad para la minería en Chile es de ~US$107/MWh versus el promedio mundial de ~US$90/MWh".

"La estrategia debe considerar mecanismos de reducción de los costos, esto requiere combinar instrumentos financieros adecuados (como subsidios, créditos verdes y líneas de cofinanciamiento público-privado), con modelos colaborativos que permitan compartir infraestructura y reducir barreras de entrada. La transición a una minería eléctrica involucra a múltiples actores y debe ser conducida de forma coordinada. Ningún actor por sí solo puede resolver los desafíos estructurales que plantea la electrificación: se requiere una gobernanza compartida, donde las políticas públicas habiliten la inversión, la industria impulse la demanda tecnológica, los proveedores adapten las soluciones a las condiciones locales, y el sistema financiero provea mecanismos de financiamiento adecuados", manifiesta Lopez.

Foto: Cedidos Ministerio de Minería.

Aspectos como el costo de la electricidad inciden en el avance de la descarbonización.

En esa línea, recalca que "la colaboración público-privada será clave para alinear tiempos, estándares e inversiones, y asegurar que la electrificación avance de manera sostenible y competitiva. Es importante establecer instancias público-privada que reúnan a representantes de gobierno, empresas mineras, proveedores y también academia".

Junto a ello, alude al hecho que "Chile está dando sus primeros pasos en la electrificación minera, con proyectos importantes (trolley en Escondida y Los Pelambres, flotas EV en SQM, LHDs eléctricos en Codelco) y un creciente ecosistema de proveedores energéticos y tecnológicos dispuestos a colaborar. No obstante, la adopción aún es limitada a pilotos y primeros equipos; el desafío es escalar estas experiencias a niveles masivos en la próxima década, para lo cual será crucial articular esfuerzos entre todas las partes interesadas".

Implementación técnica

Juan Luis Yarmuch, académico del Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile, asevera que "basado en nuestras últimas experiencias en el diseño de estrategias de descarbonización para la industria minera, considero que avanzar en la electrificación de la minería en Chile" se requiere priorizar cinco aspectos, que combinan el desarrollo tecnológico, la ingeniería y la planificación minera:

- La experiencia nos ha mostrado que es posible,

LITORALPRESS

Fecha: 25-06-2025
Medio: Revista Minería Chilena
Supl. : Revista Minería Chilena
Tipo: Noticia general
Título: **Camino a las cero emisiones**

Pág. : 12
Cm2: 457,9

Tiraje: Sin Datos
Lectoría: Sin Datos
Favorabilidad: No Definida

Foto: Gentileza Codelco.

Las mineras han ido electrificando sus flotas de transporte de trabajadores.

en algunos casos incorporar tecnologías como el sistema Trolley sin alterar los diseños mineros ni el plan de producción, pero esto exige un trabajo riguroso de optimización y simulación. Es fundamental que la infraestructura eléctrica —estaciones principales, líneas de transmisión, subestaciones rectificadoras, catenarias— se diseñe de manera integrada al plan minero desde las etapas tempranas, considerando la evolución temporal de la mina y los requerimientos energéticos a lo largo de la vida de la mina.

- La transición de camiones diésel-eléctricos a camiones eléctricos impone nuevos criterios de diseño de la mina. Dependiendo de la mina y el sistema seleccionado, se podría requerir de caminos más anchos para permitir la instalación de cargadores dinámicos y zonas para carga estacionaria. Estos ajustes pueden alterar significativamente el diseño y plan de producción.
- En nuestra experiencia es vital desarrollar modelos de optimización/simulación que permitan seleccionar el número y la ubicación de rampas electrificadas con Trolley/cargadores dinámicos, minimizando CAPEX y OPEX. Esto resulta crítico para asegurar que las inversiones en electrificación generen retornos tangibles en reducción de emisiones, sin comprometer la productividad del sistema mina.
- La tecnología de camiones eléctricos trae desafíos distintos a los camiones híbridos. La autonomía depende fuertemente del perfil de transporte. Por lo tanto, se deben desarrollar estudios específicos por ruta para evaluar la factibilidad técnica y operativa de cada alternativa, incluyendo la posibilidad de usar cargadores dinámicos en ruta o estaciones de carga rápida en puntos estratégicos.
- La instalación de sistemas eléctricos de alta potencia en el entorno minero requiere actualizar protocolos de seguridad y estándares operacionales. Este es un punto crítico para permitir una operación continua y segura, especialmente cuando se integran equipos de alta potencia en zonas activas de la mina. mch

> **Es prioritario** que el sector eléctrico **optimice los costos a lo largo de toda la cadena de suministro",** Javier Bustos