Foto: Cenllieza Collahuasi

Proyecto Trolley Assist de Collahuasi.

ELECTRIFICACIÓN DE EQUIPOS MINEROS:

Flotas

sin diésel y nuevos desafíos

La transición hacia sistemas basados en electricidad gana terreno en la industria productiva. Su implementación requiere infraestructura adecuada, inversiones relevantes y capital humano especializado.

Juan Pablo Payero, director del Área de Energía de Inacap, explica que el proceso de descarbonización y la consecuente electrificación de flotas y consumos térmicos en la minería "responde a una convergencia ineludible de factores de mercado, regulatorios y técnicos que hacen insostenible la dependencia del diésel a largo plazo".

Por un lado, "la presión global por la trazabilidad de la huella de carbono ha convertido la producción de "minerales verdes" en un determinante estructural para la competitividad de la industria chilena, donde contar con una baja intensidad de emisiones es ahora una condición básica para acceder a mercados premium y financiamiento sostenible. Por otro lado, desde una perspectiva puramente técnica y operativa, las faenas mineras se están enfrentando a la ley de rendimientos decrecientes en sus esfuerzos tradicionales de eficiencia; una vez optimizados los procesos basales, las soluciones estándar resultan insuficientes para generar reducciones significativas", afirma.

A esta mirada se agregan antecedentes operacionales que dimensionan el desafío. Según comenta Álvaro Riquelme, académico de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Adolfo Ibáñez (UAI), comenta que en las minas a rajo abierto "los camiones de extracción de gran tonelaje —con capacidades que superan las 300 toneladas— pueden consumir entre 250 y 400 litros de diésel por hora de operación, lo que representa una fracción importante del consumo energético total de la mina. En muchos casos, el combustible utilizado en

La sustitución de combustibles fósiles en faenas **avanza impulsada por metas climáticas, mayor eficiencia productiva y exigencias de competitividad internacional.**

camiones, cargadores y equipos auxiliares puede explicar hasta el 70% de las emisiones directas de una operación minera".

Asimismo, el especialista aporta el dato de que "el costo directo de extracción y movimiento de material —parte del costo operativo conocido como C1— suele ubicarse en un rango de US$0,40 a US$0,70 por libra de cobre producida, dependiendo de la ley del mineral, la profundidad del rajo y la relación estéril/mineral. Dentro de ese costo, el consumo de combustible puede representar entre 10% y 20 % del costo total de mina, lo que lo convierte en uno de los principales focos de eficiencia operacional".

Frente a este panorama, la electrificación de equipos se ha convertido en una alternativa atractiva tanto desde el punto de vista ambiental como económico.

Riquelme estima que sistemas como el trolley assist —en los que los camiones se conectan a líneas eléctricas en rampas de alta pendiente— pueden reducir el consumo de diésel de un camión hasta en 30 % o incluso 50 % en ciertos segmentos del ciclo de transporte. "Esto no sólo reduce emisiones, sino que también mejora la productividad, ya que los camiones pueden operar con mayor potencia en las rampas y disminuir los tiempos de ciclo", recalca.

Fortalecimiento tecnológico

Desde el ámbito institucional y tecnológico, la doctora Cynthia Torres, directora ejecutiva de Ciptemin, menciona que "los compromisos de carbono neutralidad asumidos por las principales compañías mineras han puesto el foco en las emisiones de Alcance 1, donde el consumo de diésel en flotas de extracción, equipos auxiliares y maquinaria subterránea representa una fuente relevante. Reducir ese componente es clave para avanzar en metas climáticas concretas y medibles", afirma.

A este contexto se añade, "la transformación de la matriz energética chilena, con una alta penetración de energías renovables, que genera una condición habilitante que hace viable electrificar con un impacto real en reducción de emisiones. No se trata sólo de cambiar combustible, sino de operar con electricidad cada vez más limpia".

Para la autoridad de Ciptemin, otro factor que incide es la competitividad internacional: "Los mercados demandan minerales con menor huella de carbono y mayor trazabilidad ambiental, y la electrificación se convierte en un elemento diferenciador".

Una visión similar plantea María Constanza Sáenz de Santa María, presidenta del Comité de Sostenibilidad ESG de Aprimin, quien hace hincapié en que para avanzar hacia la carbono neutralidad, la minería debe reducir sus emisiones directas, donde el diésel tiene un rol predominante.

"Hoy, este proceso se acelera porque las tecnologías de electrificación han alcanzado un nivel de madurez que permite reemplazar estos combustibles sin afectar la productividad, incorporando además mejoras relevantes

Foto: Archivo B2B Media Group

El consumo energético es un factor que impacta de manera relevante en los costos de operación.

en seguridad y salud en faena", explica.

Respecto de las implicancias de esta transición, la ejecutiva considera que el principal beneficio es avanzar hacia una minería más segura, eficiente y competitiva a nivel global, capaz de responder a mayores estándares ambientales y productivos. "El desafío radica en la magnitud de las inversiones requeridas y en la necesidad de adecuar con rapidez la infraestructura eléctrica y operativa que demanda esta transformación", advierte.

En este proceso de adopción tecnológica, cobra relevancia el rol de instituciones que permitan reducir la incertidumbre asociada a la incorporación de nuevas soluciones tecnológicas. Tal es el caso del Centro Nacional de Pilotaje (CNP), que actúa como un tercero independiente que diseña, ejecuta y valida pruebas piloto en condiciones representativas de operación. Matías Castro, gerente técnico de esta organización, explica que, en el ámbito de la transición energética minera, el CNP ha participado en distintas iniciativas orientadas a evaluar tecnologías emergentes vinculadas a la electrificación y al uso de nuevos vectores energéticos. Entre ellas se incluyen pilotajes asociados a electromovilidad minera y movilidad basada en hidrógeno.

De manera complementaria, se han desarrollado experiencias de validación tecnológica relacionadas con el uso de hidrógeno en aplicaciones térmicas y energéticas dentro de faena, incluyendo pruebas de blending de hidrógeno con GLP en sistemas de generación térmica, así como iniciativas exploratorias orientadas a evaluar el potencial uso de hidrógeno en equipos de transporte minero de gran escala, como los camiones de extracción.

"Este tipo de pilotajes permite generar conocimiento técnico en condiciones reales de operación y comprender mejor los requerimientos de infraestructura, seguridad y desempeño asociados a estas nuevas soluciones energéticas. De esta forma, el pilotaje tecnológico se transforma en un puente entre el desarrollo tecnológico y su adopción industrial, facilitando decisiones de inversión con menor riesgo y contribuyendo a acelerar la transición hacia una minería progresivamente más sostenible y eficiente", asegura Castro.

Desafíos

Pese a los avances descritos, Juan Pablo Payero su-

Foto: Gentileza Aprimin

Foto: Gentileza Ciptemin

Foto: Gentileza Inacap

Foto: Gentileza UAI

Foto: Gentileza CNP

De Izq. a Der.:
María Constanza Sáenz de Santa María, presidenta del Comité de Sostenibilidad ESG de Aprimin.

Cynthia Torres, directora ejecutiva de Ciptemin.

Juan Pablo Payero, director del Área de Energía de Inacap.

Álvaro Riquelme, académico de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Adolfo Ibáñez.

Matías Castro, gerente técnico de CNP.

braya que "la electrificación no sólo reduce drásticamente las emisiones directas y mejora radicalmente la salud ocupacional al interior de las faenas al eliminar el material particulado y los gases tóxicos, sino que los equipos eléctricos presentan una eficiencia muy superior a sus contrapartes diésel, optimizando así el control operacional y disminuyendo los altos costos de mantenimiento".

Aunque considera que los obstáculos para materializar esta transformación son igualmente exigentes, debido a que, al requerir una reingeniería integral de los procesos, las empresas enfrentan la necesidad de inyectar niveles de inversión (CAPEX) significativamente mayores, además de resolver complejos retos de infraestructura eléctrica e integración de redes inteligentes. "A esto se suma el que quizás sea el mayor desafío en la actualidad: formar más talento especializado, debido principalmente a que operar ecosistemas electrificados que integran inteligencia artificial y analítica avanzada para ajustar la operación en tiempo real exige un perfil técnico que hoy es altamente demandado y poco frecuente", agrega.

En esa misma dirección, la doctora Cynthia Torres hace hincapié en que "electrificar grandes flotas implica rediseñar infraestructura eléctrica, asegurar disponibilidad de potencia, gestionar inversiones de capital significativas y enfrentar tecnologías que, en algunos segmentos como el rajo abierto, aún están en fases de maduración o escalamiento. A ello se suma la necesidad de desarrollar nuevas capacidades técnicas y adaptar los modelos operacionales".

Empresas y academia

En este escenario de transformación sectorialMaría Constanza asegura que las empresas proveedoras cumplen un rol habilitador clave en el proceso de descarbonización que se está produciendo en el sector minero.

"No sólo suministran tecnología, sino que aportan innovación, conocimiento técnico y soluciones integrales que permiten implementar esta transición de manera más ágil, eficiente y sostenible", afirma la ejecutiva.

Paralelamente, Juan Pablo Payero releva el hecho que, frente a la brecha de capital humano especialista, la educación técnico-profesional asume un rol protagónico y habilitador para la industria, entendiendo que el éxito de la transición energética no depende únicamente de la adopción de nuevas tecnologías, sino de quienes las operan.

"Desde Inacap, nuestra contribución estratégica consiste en anticiparnos a las necesidades del sector productivo mediante la formación de capital humano avanzado y pertinente, preparando a los especialistas que la minería requiere para dar soporte a estos sistemas complejos. Nuestro enfoque trasciende la enseñanza teórica para centrarse en desarrollar competencias técnicas e integrales en áreas críticas como el mantenimiento de flotas cero emisiones, la gestión energética, la automatización y la digitalización de procesos", menciona. mch