

ESPECIAL  
**AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA**



OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS:

# Eficiencia

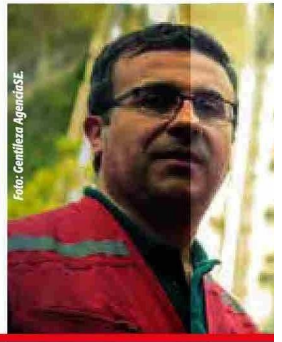
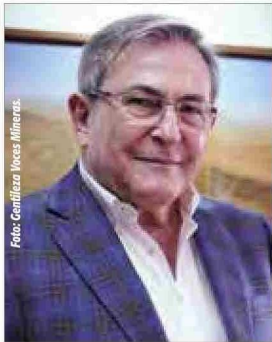
operativa y gestión energética impulsan  
 la productividad minera

**E**specialistas coinciden en los procesos de optimización son fundamentales en la industria minera e impactan favorablemente en ella, ya que permiten mejorar de manera integrada la eficiencia energética de las operaciones, tanto a nivel unitario como en el sistema productivo en su conjunto.  Especialistas coinciden en que los procesos de optimización son fundamentales en la industria minera, ya que permiten mejorar de

manera integrada el desempeño energético de las operaciones, tanto a nivel unitario como del sistema productivo en su conjunto. De acuerdo con el estudio “Consumo energético de la minería del cobre al año 2024” de Cochilco, en los últimos quince años ha habido un aumento progresivo de la demanda energética, superior al incremento en la producción de cobre. Según el documento público, “entre el 2010 y el 2024 la producción nacio-

nal de cobre aumentó solo un 1,6%, mientras que el consumo energético total del sector ha aumentado un 54%. Desglosando por tipo de energía, el consumo eléctrico ha aumentado un 48% y el de combustibles un 60%, en el mismo periodo”. Según Pablo Becerra, académico de la Universidad de Atacama “la optimización de procesos productivos reduce el consumo de recursos necesarios para poder producir el producto final. En el caso de la minera, la energía es uno de los recursos más relevantes en la estructura de costo, representan entre el 15% y el 30% de los costos operativos totales y en opera-

**El uso** estratégico de la energía y la mejora continua de **los sistemas productivos se posicionan como factores clave para elevar el desempeño** y contener costos en la industria.



ciones más remotas cerca de un 40%”.

A ello, Becerra añade que “al reducir el consumo de diésel y optimizar el uso de la red eléctrica, la industria disminuye sus emisiones de alcance 1 y 2, un paso obligatorio para cumplir con las metas globales de descarbonización y minería verde”. A esta mirada se suma que, Ester Espinoza, jefa (i) del área de Industria y Mercados de la AgenciaSe, afirma que “la optimización no sólo mejora indicadores energéticos, sino que también aumenta la productividad y la competitividad, lo que es fundamental para sectores como la minería, donde la energía representa un componente relevante de los costos”.

Desde una perspectiva complementaria, Severino Modena, director de Voces Mineras, plantea que “en la medida en que estos ahorros se mantengan en el tiempo y contribuyan a la disminución de impactos ambientales, se fortalece la sostenibilidad del negocio, asegurando una operación más eficiente, competitiva y

alineada con los estándares actuales”.

A nivel operacional, Jaime Pizarro, Managing Director Natural Resources KPMG Chile, sostiene que “uno de los puntos críticos es la continuidad operacional, ya que los procesos de puesta en marcha y ramp-up suelen generar elevados consumos de energía y desgaste de equipos”.

Bajo este enfoque, el ejecutivo agrega que “abordar estos desafíos desde una mirada integrada permite reducir costos, mejorar la confiabilidad y avanzar en sostenibilidad, entendiendo que esta última es una consecuencia natural de procesos bien diseñados y ejecutados de forma consistente”.

### **Tecnologías habilitadoras para una optimización productiva**

Las estrategias de optimización productiva en minería se apoyan hoy en un conjunto de tecnologías y herramientas que permiten mejorar la eficiencia, reducir costos,

aumentar la recuperación y operar de forma más segura y sostenible. Como ejemplo, Severino Modena explica que “se pueden citar los sistemas de control integrado de operación; monitoreo geotécnico en tiempo real; análisis de fragmentación y perforación–tronadura optimizada; mantenimiento predictivo de equipos y maquinarias”.

En el ámbito de procesamiento, el representante de Voces Mineras menciona al “monitoreo mineralógico en línea; optimización de conminución; sistemas expertos en procesamientos; tecnologías de separación mineralógica avanzada, entre otros”. Desde el mundo académico, Becerra apunta que “la principal estrategia es la transición hacia el uso de energías de fuentes renovables. El uso de herramientas de Inteligencia Artificial permite identificar fuentes de ineficiencia y oportunidades para la mejora de procesos”.

Más allá de lo tecnológico, Pizarro releva que “el verdadero valor de las soluciones

*De Izq. a Der.:*  
Severino Modena, director de Voces Mineras.

*Jaime Pizarro, Managing Director Natural Resources KPMG Chile.*

*Pablo Becerra, doctor en ingeniería industrial y producción, académico Universidad de Atacama.*

*Ester Espinoza, jefa (i) del área de Industria y Mercados de la AgenciaSE.*

*Cristian Villalobos, profesional especialista en sistemas de gestión de la energía del área de Industria y Mercados de la AgenciaSE.*

está en su adopción, uso diario y sostenibilidad en el tiempo. En este contexto, la analítica avanzada y la inteligencia artificial destacan por su capacidad para anticipar fallas, optimizar la operación y apoyar la toma de decisiones casi en tiempo real”.

En esa línea, Cristian Villalobos, profesional especialista en sistemas de gestión de la energía del área de Industria y Mercados de la AgenciaSE, comenta que “la principal herramienta es la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía (SGE), complementados con auditorías energéticas, que permite detectar de forma confiable oportunidades de mejora como automatización de procesos y recambio tecnológico”.

Asimismo, Villalobos destaca el creciente rol de las tecnologías digitales como IoT y conectividad avanzada, “como habilitadores de una gestión energética más eficiente, al permitir super-

visión en tiempo real, dando mayor trazabilidad del consumo y una respuesta operativa más dinámica frente a desviaciones”.

### **Desafíos para avanzar en eficiencia operativa**

La minería se enfrenta a diversos desafíos en su camino hacia la optimización de procesos, lo que aumenta en la medida en que los yacimientos presentan mayor complejidad extractiva y las regulaciones de explotación se vuelven más exigentes, condiciones que en su conjunto conllevan a tener márgenes operacionales más reducidos. En este escenario, Severino Modena manifiesta que “se identifican varios factores que inciden en el proceso de optimización; por mencionar algunos, se pueden detallar: la disminución de las leyes minerales y mayor profundidad y dureza de los depósitos, escasez hídrica, alto consumo de energía y combustibles, volatilidad de

precios energéticos, regulaciones gubernamentales y licencia social para operar, brechas de competencias digitales, resistencia cultural al cambio, entre otros”.

En esa misma línea, Cristian Villalobos cuenta que “uno de los principales desafíos para la minería es avanzar en la gestión energética sin comprometer la continuidad de la operación. A esto se suma la necesidad de fortalecer la innovación y la articulación entre actores (sector público, privado y academia), como condición para escalar soluciones de eficiencia energética en la industria, integrando la energía como una variable estratégica dentro de la operación”.

De forma paralela, el vocero de AgenciaSE considera que “es necesario abordar brechas en capacidades técnicas y gestión del cambio, ya que muchas de las soluciones requieren una cultura organizacional orientada a la mejora continua”.

Desde la mirada estratégica, para el Managing Director Natural Resources de KPMG Chile “uno de los principales desafíos es superar la gestión fragmentada y avanzar hacia una visión integrada de la operación, entendiendo la mina como un sistema interconectado. Identificar correctamente los cuellos de botella reales y fomentar la colaboración transversal es clave para capturar valor”.

En tanto, desde el punto de vista digital, Pizarro añade que “la industria ya superó la etapa de captura de datos y hoy avanza hacia modelos recomendados que apoyan la toma de decisiones”.

Bajo esta misma lógica, para seguir evolucionando hacia mayores niveles de automatización, el ejecutivo revela que “resulta crítico mejorar la calidad del dato, fortalecer la infraestructura tecnológica, desarrollar capacidades digitales y contar con una estrategia de transformación operacional clara, respaldada por liderazgo ejecutivo y gestión del cambio”.

### Áreas con mayor potencial de mejora

Para Ester Espinoza, “el mayor potencial de optimización se concentra en aquellos procesos o sistemas que presentan mayores consumos energéticos y especialmente en donde se

detectan oportunidades de mejora, los cuales deben ser previamente identificados mediante auditorías energéticas (en donde se considera el análisis de datos)”.

En ese marco, Espinoza precisa que “también hay oportunidades relevantes en sistemas de bombeo, ventilación en minas subterráneas y transporte de materiales, donde la optimización operacional puede generar ahorros importantes”.

A su vez, Severino Modena destaca que “los procesos mineros que tiene mayor potencial de implementación de medidas de optimización son todos aquellos que tienen alta variabilidad operacional, alta intensidad energética y que impactan directamente en el costo de operación.

En términos operacionales, el director de Voces Minera dice que “intervienen prácticamente todas las etapas de la actividad minera, tales como: Perforación y Tronadura, Carguío y Transporte, Chancado y Molienda, Procesamiento Metalúrgico, Gestión de Agua y Energía y Mantenimiento Electromecánico”.

Desde una mirada técnica, Becerra expone que “todo proceso puede ser optimizado, pero requiere de un diagnóstico que cada empresa debe desarrollar para identificar sus oportunidades de mejora, como el control experto en plantas

concentradoras, la optimización de rutas de camiones CAEX o la implementación de inteligencia artificial para el mantenimiento predictivo”.

De este modo, Pizarro advierte que “los mayores be-



Foto: Genifera Antofagasta Minerales.

neficios se concentran en procesos con alto consumo energético, alta variabilidad y fuerte dependencia de decisiones operativas, como la conminución, el transporte mina, los procesos metalúrgicos, el mantenimiento de activos y la ventilación subterránea. En estos ámbitos, iniciativas focalizadas en control de procesos, gestión de flotas, reducción de variabilidad, mantenimiento predictivo y ventilación bajo demanda permiten capturar eficiencias relevantes en costos y energía, mejorar la productividad y fortalecer la seguridad operacional”. **mch**

Minera Centinela.