



## ESPECIAL TÉCNICO

# ROBOTIZACIÓN, AUTOMATIZACIÓN Y DIGITALIZACIÓN: INNOVACIÓN INSPIRADORA A LA VISTA

Reciclaje de celulares para obtener cátodos de cobre y robots para gestión de compras, asistencia de inventarios y picar roca sin paradas. Todo ello es una realidad gracias a la IA y la valiosa colaboración que evidencia la industria. *Por Marina Parisi*

Mientras la mayoría de nosotros al comprar un nuevo teléfono celular de inmediato desechamos el antiguo, la División El Teniente de Codelco está reciclando los móviles descartados. ¿Para qué?, para rescatar el sulfato de cobalto presente en las baterías y así obtener cátodos de cobre.

“Gracias a esta innovación hemos reducido el costo del elemento catalizador en un 22% y con tiempos e impactos ambientales más bajos, sin afectar la producción”, enfatiza Ignacio Cruz, director de Innovación de División El Teniente. “Antes utilizábamos el sulfato de cobalto en estado sólido, el cual debía ser diluido antes de ser aplicado. Ello significaba una preparación previa, tiempo y recursos”.

En cambio, el sulfato de cobalto reciclado de los celulares (suministrados gracias a una alianza con un proveedor local), se encuentra en estado líquido, explica el ejecutivo, lo que aporta tres aspectos significativos. “Primero, contribuye

a reducir el impacto ambiental; al ser reciclado aporta a la economía circular. En seguida, al no requerir etapa previa de dilución y mezcla, facilita y agiliza su integración al proceso de producción de cátodos, optimizando la eficiencia logística. Y tercero, se reducen los costos como también los tiempos de entrega, sin afectar el consumo de energía”.

### REVESTIMIENTO TOP

Esta inspiradora gestión se suma a otros 48 proyectos de innovación actualmente activos en la División, específicamente en las gerencias de: Plantas; Minas; Obras Minas; Recursos Mineros y Desarrollo; Tranques, Relaves y Recursos Hídricos; Mantenimiento de Plantas; y Servicios y Suministros.

Uno de ellos es el EMMR (External Mill Maintenance Robot), brazo robótico desarrollado por la empresa MIRS Robotic, que cambia el revestimiento del molino SAG, extrayendo



Foto: Cortázar

 **Ignacio Cruz,**  
 director de Innovación de División El  
 Teniente.



Foto: Sierra Gorda SCM

 **Sandra Montiel Chamorro,**  
 vicepresidente Supply Chain de Sierra  
 Gorda SCM.



Foto: Usach

 **Dr. John Kern Molina,**  
 académico del Departamento de  
 Ingeniería Eléctrica de la Usach.

e instalando tuercas y pernos en forma automatizada. Se trata de una innovación tecnológica que ha significado un punto de inflexión, en términos de mayor seguridad y productividad, opina Cruz.

“Además de los beneficios en seguridad que era nuestra principal prioridad, retirando a los trabajadores de la línea de exposición al riesgo, logramos una mejora significativa del 30% en la productividad, en comparación con las tareas manuales”, precisa el director. “Con estos resultados estimamos que, en el caso escalado que deseamos implementar, podríamos alcanzar una producción adicional cercana a 500 toneladas de cobre fino al año”.

Este promisorio escenario se hará realidad una vez que El Teniente implemente 4 robots EMMR en sus 2 molinos SAG, adelanta Cruz. “Así, seguiremos disminuyendo la exposición de nuestros trabajadores a riesgos críticos relevantes”.

Mientras tanto, la creatividad para evitar pérdidas de agua y lograr importantes mejoras en la gestión hídrica, ha sido otro foco de trabajo en la División. “De hecho, hemos incorporado tecnologías para detectar fugas en las líneas de transporte de agua, a objeto de minimizar pérdidas”, detalla el ejecutivo.

En forma paralela, El Teniente ha optimizado su proceso de espesamien-

to, con el fin de recuperar más recurso hídrico mediante la introducción de nueva tecnología de vanguardia, sostiene Cruz. “Nuestra meta es aumentar la recuperación de agua, para evitar el consumo del recurso a partir de fuentes naturales, consolidando una gestión hídrica más sustentable con el medio ambiente”.

#### **ROBOT PARA COMPRAS**

Nada menos que siete días tardaba Sierra Gorda SCM (de propiedad de KGHM) en gestionar todos sus contratos de compras y servicios. Como la situación se hizo insostenible, la empresa minera decidió asociarse con la firma Supplynet y juntas emprendieron un desarrollo a la medida de la faena. El resultado fue el BotSing, “robot que redujo dramáticamente el tiempo destinado a las tareas manuales a solo 24 horas”, especifica Sandra Montiel Chamorro, vicepresidente Supply Chain de Sierra Gorda SCM.

“Este significativo ahorro de tiempo se ha traducido en mayor agilidad y optimización del proceso de compras”, recalca la ejecutiva. “Nuestra innovación aprendió los pasos que se deben cumplir en los procesos de asignación directa, transformándonos en la primera compañía minera en contar con un desarrollo robótico para la generación de contratos de servicios”.

 **“Gracias al sulfato de cobalto reciclado de celulares, hemos reducido en un 22% los costos para obtener cátodos”, asegura Ignacio Cruz de la División El Teniente.**

Foto: MMS



**Brazo robótico que cambia el revestimiento del molino SAG en División El Teniente.**

**“Con SierraBot Evolution y SierraDron marcaremos el hito de mantener un inventario 100% en línea”, recalca Sandra Montiel de Sierra Gorda SCM.**

Lo mejor es que los trabajadores de Sierra Gorda ahora se enfocan en otras aristas del negocio, aportando más valor agregado a la empresa, apunta Montiel.

#### **INTELIGENCIA EN INVENTARIOS**

Pese a que Sierra Gorda ya contaba con una solución para la gestión automatizada de inventarios denominada SierraBot, la faena minera comprendió que ya era hora de introducir nuevas mejoras a la herramienta. Así, con la ayuda de su partner Inovabiz idearon una versión optimizada: SierraBot Evolution.

“Este asistente inteligente para la gestión de inventarios y bodegas hoy permite enumerar más de 14.000 códigos de stock en tan solo 50 minutos, con un margen de error del 0%”, subraya Montiel. “Adicionalmente, y gracias a la IA (Inteligencia Artificial), el robot es capaz de detectar espacios vacíos o disponibles, posibilitando una gestión de almacenamiento de materiales mucho más eficiente”.

Si antes el proceso de toma de inventario cíclico en la minera requería de 4 operadores de bodega, quienes demoraban 28 horas en realizar la tarea, “hoy estos trabajadores

pueden enfocarse en actividades más relevantes” puntualiza la ejecutiva, “como la preservación de repuestos y componentes, generando ahorros significativos y permitiendo evitar compras innecesarias”.

Una notable mejora de SierraBot Evolution es que incorpora una interfaz conversacional, que posibilita a los usuarios interactuar con el robot en forma directa, asevera Montiel, “función que además de agilizar el proceso, mejora la experiencia del usuario”.

Pero, la solución no solo ha aportado más eficiencia y productividad al proceso. Además, ha eliminado todos los riesgos para los trabajadores, remarca la ejecutiva. “La toma de inventario cíclico tradicionalmente exponía a los operadores de bodega a riesgos como atrapamiento de manos y/o dedos, además de sufrir potenciales golpes por la caída de objetos. Al fin hemos eliminado por completo estos riesgos”.

#### **DRON MULTI-TAREA**

“Una evolución natural de nuestro SierraBot Evolution, es el SierraDron, que extiende todas las características del primero a los patios exteriores de la bodega, posibilitando además una cobertura de todos nuestros almacenes en su interior”, explica la ejecutiva. “Ambos desarrollos nos permitirá marcar un importante hito, que es mantener un inventario 100% en línea”.

Otra importante innovación de Sierra Gorda, es su Sistema de Recomendación para Perforación y Tronadura, explica Montiel, “donde a través de la IA y la información histórica de tronadura, recomienda parámetros de diseño de mallas de tronadura, que optimiza la fragmentación del mineral que se entrega a la planta”.

“Además, contamos con nuestro Sistema de Inspección de Tolva, una herramienta única que utiliza visión artificial, para automatizar la inspección de tolvas en camiones

*continúa en página 68*

de extracción (CAEX)", describe la ejecutiva, "posibilitando la detección de desgaste y fisuras en forma automatizada y extendiendo la vida útil de nuestros camiones".

### LIBRE DE PARADAS

¿Tiene idea de cuánto polvo levantan los equipos pica-roca operados manualmente? "Cada impacto del equipo contra el material rocoso forma una verdadera nube que impide la visibilidad del operario, debiendo esperar hasta que la neblina se disipe para reanudar su labor", describe el Dr. John Kern Molina, académico e investigador del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Usach (Universidad de Santiago de Chile).

O sea, en esta fase de conminución o reducción de minerales de grandes dimensiones, es evidente la pérdida de tiempo. "Además, los aspectos de baja o nula luminosidad, sombras, iluminación artificial, brillos por luz solar y otros, generan tiempos adicionales de inactividad", advierte el experto, "que se repiten a diario en la faena minera, perjudicando la continuidad operacional y la productividad".

Inspirado por esta problemática, el Dr. Kern reunió a un equipo de investigadores de la Usach, para desarrollar un sistema robotizado que entrega autonomía a las máquinas pica-roca y que operan en ambientes de baja visibilidad. La iniciativa también ha convocado a las empresas Citec 2.0, Aiko Logic, Arian, Pojomovsky e Ibáñez y Compañía Minera La Patagua, quienes están apoyando la consolidación de este prospecto tecnológico.

Hasta ahora la nueva solución, ha arrojado importantes beneficios económicos, recalca el Dr. Kern, "que se traducen en una operación más continua, con una reducción del 78% de los tiempos de detección de rocas en ambientes complejos, comparado con la operación normal".

A lo anterior, se suman beneficios ambientales, como la reducción del

gasto energético del equipo, "gracias a que se evitan o disminuyen los impactos con desacierto sobre sólidos cohesionados por problemas de visibilidad", detalla el investigador. Los operadores, en tanto, ganan un ambiente de trabajo mucho más seguro para operar, "al evitar la exposición al aire contaminado con polvo de mineral; impactos por fragmentos rocosos; y otros eventos".

### INNOVACIÓN CONTINUA

"En esta primera etapa, nuestro sistema robotizado autónomo para máquinas pica-roca, ha alcanzado una madurez tecnológica certificada con TRL 4, obteniendo resultados verificables a nivel de laboratorio", sostiene el Dr. Kern.

Con todo, los investigadores de la Usach han seguido desarrollando la herramienta, con el apoyo del programa Puente DGT (Dirección Gestión Tecnológica) y hoy se encuentran postulando a los concursos de investigación aplicada de ANID (Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo), cuya adjudicación beneficiará la continuidad de la propuesta tecnológica.

Por ahora, "nos hemos enfocado en mejorar la precisión de los algoritmos", precisa el experto, "detectando rocas en ambientes donde hay polvo, niebla, baja luminosidad o mucho brillo del sol en verano y en faenas mineras superficiales".

En paralelo, "hemos trabajado en el desarrollo de entornos fotorrealistas, que permitan la creación de un entrenador para trabajadores, que puedan operar este tipo de equipos con mayor eficiencia, una nueva línea de investigación que nació a partir del proyecto inicial", subraya el Dr. Kern.

¿Los próximos pasos?, avanzar en el desarrollo y pilotaje del sistema robotizado para máquinas pica-roca, gracias a una reciente alianza con el Centro Integrado de Pilotaje de Tecnologías Mineras (Ciptemin).

🔗 "Nuestro sistema robotizado ha demostrado un 78% más de velocidad para detectar y picar roca, frente a los equipos operados manualmente", indica el Dr. John Kern Molina de la Usach.