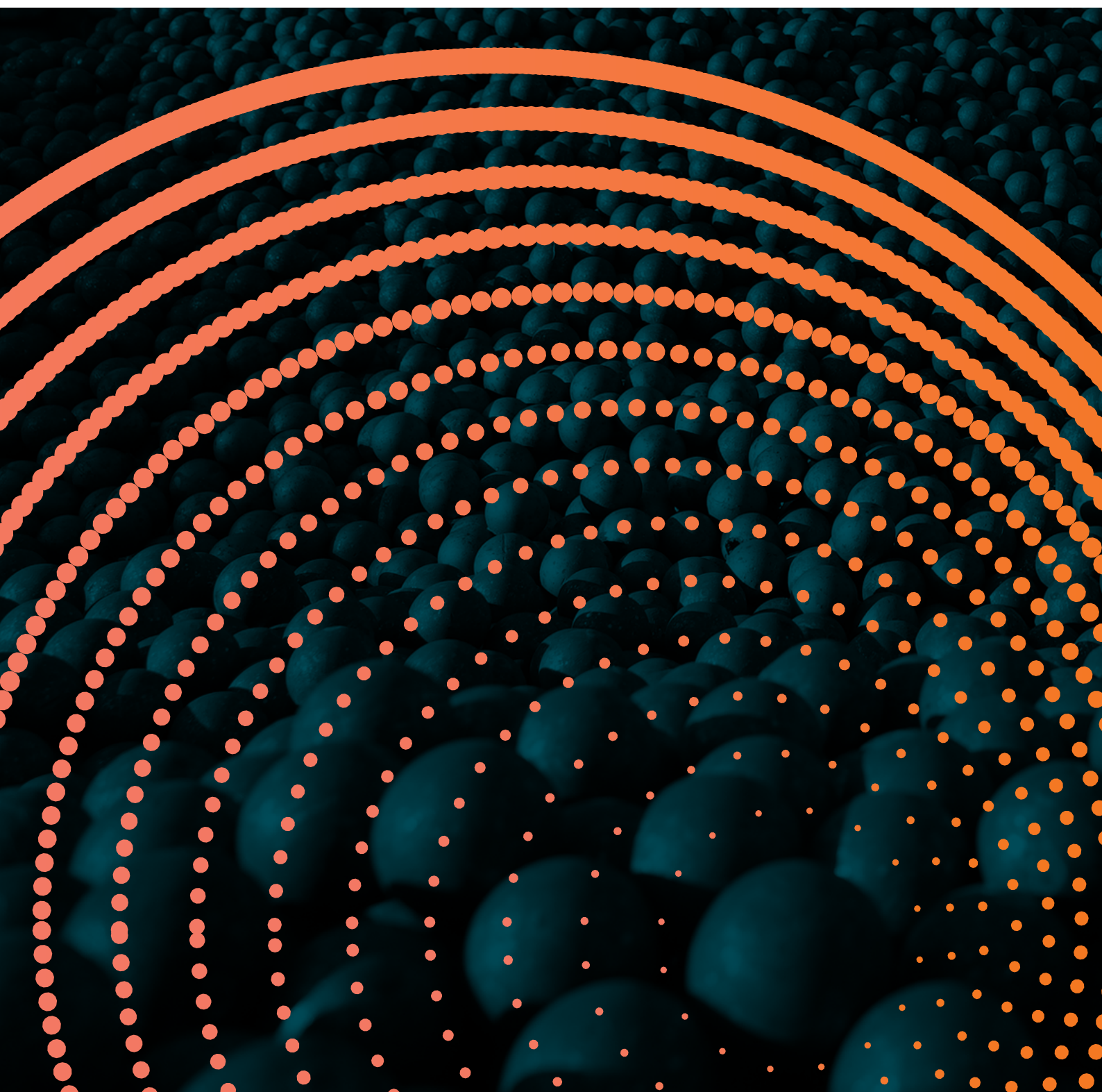


# Aceleración de la puesta en marcha y mejora sostenida del rendimiento con el apoyo de MillROC



**Caso de estudio: Operaciones auríferas de Cowal**

Molienda





## Resumen ejecutivo

***Un caso práctico sobre la aceleración de la puesta en marcha y la mejora sostenida del rendimiento con el apoyo de MillROC.***

La fase de incremento gradual de la producción tras el cambio de revestimientos en los molinos semiautógenos (SAG) constituye un momento crítico para el rendimiento del circuito de conminución; sin embargo, a menudo no se optimiza adecuadamente debido a prácticas operativas excesivamente conservadoras. En Cowal Gold Operations, los procedimientos estándar de reinicio priorizaban la protección de los revestimientos mediante una carga de bolas reducida y estrategias de control cautelosas, lo que derivaba en periodos de puesta en marcha prolongados y un retraso en la recuperación del régimen de producción en estado estacionario.

Tras una parada mayor y el cambio de revestimientos en 2025, se implementó un programa de optimización estructurado para mejorar la eficiencia durante la puesta en marcha, sin incrementar el riesgo operativo. Este enfoque incluyó aumentos controlados de la carga de bolas, ajustes rigurosos de la carga del molino y el monitoreo en tiempo real de la dinámica interna del equipo mediante las tecnologías MillROC y MillSlicer.

Los resultados demostraron que fue posible reducir la duración de la puesta en marcha de aproximadamente seis semanas a cuatro, logrando al mismo tiempo un mayor rendimiento, una mejor utilización de la potencia y una mayor estabilidad operativa. Cabe destacar que estos avances se obtuvieron sin que se observara un desgaste acelerado de los revestimientos ni un mayor riesgo de daños en los equipos.

Este caso práctico pone de relieve el valor de un enfoque sistemático y basado en datos para la optimización de la puesta en marcha, demostrando que es posible obtener beneficios significativos en la producción sin comprometer la integridad de los equipos.

### Resultados

- La duración de la puesta en marcha se redujo de seis a cuatro semanas.
- El rendimiento aumentó aproximadamente un 14 % (de 893 t/h a 1019 t/h).
- La potencia del molino SAG aumentó de 10 600 kW a 11 150 kW.
- La carga de bolas aumentó del 11,0 % al 12,2 %.
- No se detectaron daños anómalos en los revestimientos durante todo el proceso.

### Puntos clave

- Una estrategia de incremento gradual basada en datos permite obtener mejoras significativas en la producción sin comprometer la integridad de los equipos.
- Ajustar una sola variable a la vez, intercalando periodos de estabilización, garantiza mejoras en el rendimiento que son controladas y reproducibles.
- Las herramientas de monitoreo en tiempo real (MillROC y MillSlicer) resultan fundamentales para aumentar de forma segura la intensidad operativa tras un cambio de revestimiento.
- Las prácticas de reinicio conservadoras, si bien mitigan los riesgos mecánicos, conllevan un costo económico cuantificable debido a la pérdida de producción de oro.
- Mejorar la eficiencia durante la fase de incremento gradual representa una oportunidad de gran valor para la optimización operativa.

***Los resultados demostraron que la duración de la fase de puesta en marcha podía reducirse de aproximadamente seis semanas a cuatro semanas, logrando al mismo tiempo un mayor rendimiento, una mejor utilización de la potencia y una mayor estabilidad operativa.***



## Introducción

Cowal Gold Operations, situada en Nueva Gales del Sur, Australia, opera una planta de procesamiento de oro a gran escala que cuenta con un circuito de conminución convencional, compuesto por una etapa de trituración primaria seguida de molienda semiautógena (SAG) y molienda de bolas. El circuito está configurado para procesar una mezcla de minerales provenientes de minería a cielo abierto y subterránea, alimentando posteriormente los procesos de flotación y lixiviación.

Dado que se requiere una granulometría relativamente gruesa —aproximadamente de 180 a 200  $\mu\text{m}$ —, la planta de procesamiento no es altamente sensible a las variaciones en el tamaño de partícula. Por el contrario, el rendimiento de la planta depende en gran medida de maximizar el caudal de procesamiento mediante el uso eficiente de la capacidad de molienda instalada.

Un desafío en Cowal ha sido la optimización del rendimiento del molino SAG tras las labores de cambio de revestimiento. Durante estos periodos, habitualmente se aplican estrategias operativas conservadoras para minimizar el riesgo de daños en los revestimientos. Si bien estas estrategias son eficaces para mitigar los riesgos mecánicos, pueden derivar en condiciones de fragmentación subóptimas, una menor absorción de potencia y periodos de recuperación de la capacidad operativa (ramp-up) más prolongados.

La pérdida de caudal durante esta fase de recuperación se traduce directamente en una menor producción de oro y en pérdidas económicas. Por consiguiente, mejorar la eficiencia en la recuperación de la capacidad operativa representa una oportunidad de gran valor para la optimización de las operaciones.

Tras una parada mayor y una campaña de cambio de revestimientos realizada entre marzo y abril de 2025, se puso en marcha una iniciativa para implementar una estrategia de recuperación operativa estructurada y basada en datos, con el objetivo de acelerar el retorno al régimen de funcionamiento estable, garantizando al mismo tiempo la integridad de los revestimientos.





## Descripción del circuito

El circuito de conminución de Cowal consiste en un circuito SABC convencional con tres etapas principales:

- Chancado primario.
- Molienda semiautógena (SAG).
- Molienda de bolas y clasificación.

El molino SAG es el factor determinante principal de la capacidad de procesamiento de la planta.

### Filosofía operativa

La velocidad del molino y la densidad de la pulpa se ajustan y optimizan durante la operación y la puesta en marcha. El circuito está diseñado para operar con un objetivo de molienda gruesa de 180–200  $\mu\text{m}$ . Bajo estas condiciones, la maximización del rendimiento se logra manteniendo una eficiencia de fractura óptima dentro del molino SAG.

### Rendimiento de referencia previo al relining

Antes de la parada, el circuito funcionaba en condiciones estables, tal como se resume en la Tabla 1.

| Parámetro                                | Unidad | Valor  |
|------------------------------------------|--------|--------|
| Velocidad de alimentación del molino SAG | t/h    | 1077   |
| Potencia del molino SAG                  | kW     | 10,600 |
| Velocidad del molino SAG                 | % Nc   | 75     |
| Carga de bolas                           | %      | 11.0   |
| Carga total                              | %      | 24.0   |

**Tabla 1:** Condiciones operativas previas al revestimiento.

Estas condiciones proporcionaron una base operativa estable y sirvieron como punto de referencia para evaluar las mejoras en el desempeño tras el revestimiento.



## Entorno operativo posterior al relíne

Tras el evento de relíne, varios factores influyeron en el rendimiento del circuito de molienda durante el período de ramp-up.

### Características del mineral

Tras el revestimiento, se observó un cambio significativo en la composición de la alimentación, que incluye:

- mayor proporción de mineral proveniente de minería subterránea
- menor disponibilidad de material oxidado más blando
- aumento general de la competencia del mineral.

Estos cambios dieron lugar a condiciones de fractura más exigentes y a una mayor demanda de energía en el molino.

### Limitaciones operativas

La fase de ramp-up se vio afectada, además, por diversas limitaciones operativas:

- Reducción de la carga de bolas antes de la parada, en preparación para el cambio de revestimiento.
- Inestabilidad en la alimentación debido a la disponibilidad intermitente de la trituradora.
- Presencia de elementos metálicos extraños provenientes de fuentes subterráneas.
- Obstrucciones en los alimentadores y perturbaciones operativas transitorias.

### Impacto en el rendimiento

Estos factores combinados dieron lugar a:

- menor intensidad de impacto dentro del molino
- interacción inadecuada entre el acero y la roca
- menor aprovechamiento efectivo de la potencia instalada
- menor capacidad de procesamiento y eficiencia.

Estas condiciones pusieron de manifiesto la necesidad de un enfoque estructurado para la optimización de la fase de puesta en marcha.

## Enfoque de optimización

La estrategia de optimización se desarrolló para mejorar sistemáticamente el rendimiento del molino SAG, al tiempo que se equilibran objetivos operativos contrapuestos.

### Compromisos clave

La estrategia de ramp-up requería un cuidadoso equilibrio de tres factores clave:

1. Maximizar el rendimiento mediante un mayor consumo de potencia del molino.
2. Mantener condiciones de fractura eficaces mediante una carga de acero adecuada.
3. Proteger los revestimientos recién instalados frente a impactos excesivos.

### Condiciones operativas objetivo

Basándose en el desempeño histórico y en las limitaciones operativas, las condiciones objetivo se definieron de la siguiente manera:

| Parámetro               | Objetivo   |
|-------------------------|------------|
| Potencia del molino SAG | ~11,500 kW |
| Carga de bolas          | ~13%       |
| Carga total             | ~25%       |

**Tabla 2:** Condiciones objetivo definidas.

Estos objetivos representaban condiciones alcanzables que maximizarían el rendimiento, manteniendo al mismo tiempo un riesgo operativo aceptable.



## Metodología de ramp-up

Se implementó una metodología estructurada y disciplinada para lograr mejoras controladas y repetibles.

### Filosofía operativa

El procedimiento de ramp-up siguió varios principios clave:

- Ajuste solo una variable operativa a la vez.
- Deje pasar el tiempo suficiente para la estabilización del sistema.
- Evite realizar varios cambios de forma simultánea.

### Variables controladas

Las principales variables ajustadas durante la fase de puesta en marcha fueron:

- Carga de bolas (mediante la adición controlada de acero).
- Carga del molino (mediante el ajuste de los valores de consigna de peso).

Estas variables se seleccionaron en función de su influencia directa en la eficiencia de la fragmentación y en el consumo de potencia.

## Monitoreo y análisis de procesos

El programa de optimización se apoyó en gran medida en herramientas de monitorización avanzadas para proporcionar visibilidad sobre el comportamiento interno del molino.

### MillROC

MillROC proporcionó:

- monitoreo en tiempo real de variables clave del proceso
- visualización centralizada de datos
- análisis de tendencias de carga, potencia y rendimiento.

### MillSlicer

MillSlicer permitió un análisis detallado de:

- condiciones en las que se sospechaba que la acumulación de material fino (slurry) era más frecuente, en función de determinados parámetros
- distribución de los impactos contra el revestimiento
- dinámica del comportamiento de la carga.

Esta información resultó fundamental para garantizar que una mayor intensidad operativa no derivara en una tensión excesiva en el revestimiento.

### Estimación de la carga de bolas

La carga de bolas se estimó mediante:

- modelos de estimación basados en la potencia
- tasas de consumo de acero.

Esto permitió un control preciso y proactivo de los niveles de carga.

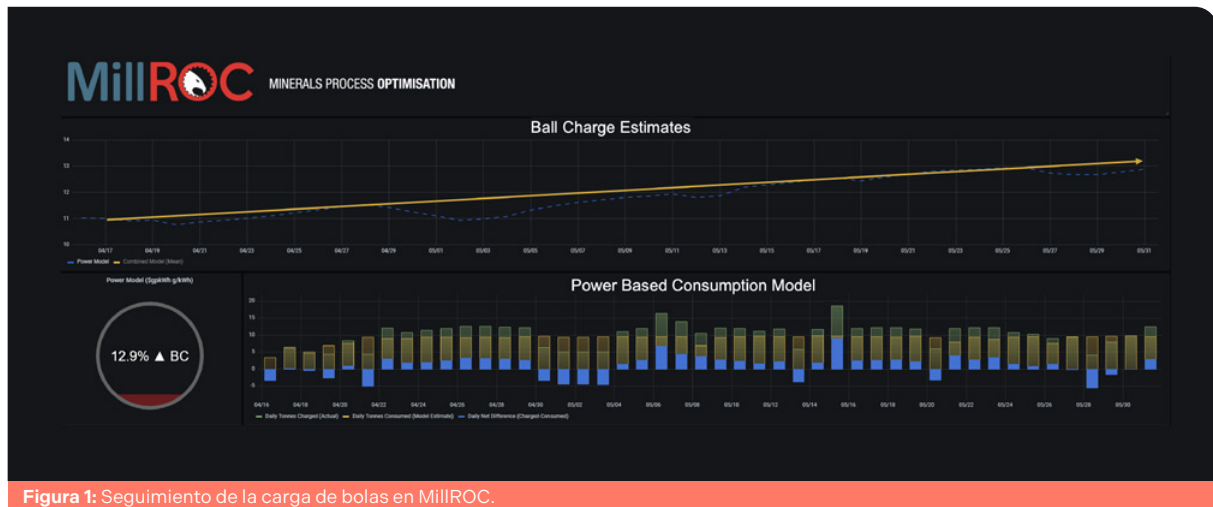


Figura 1: Seguimiento de la carga de bolas en MillROC.

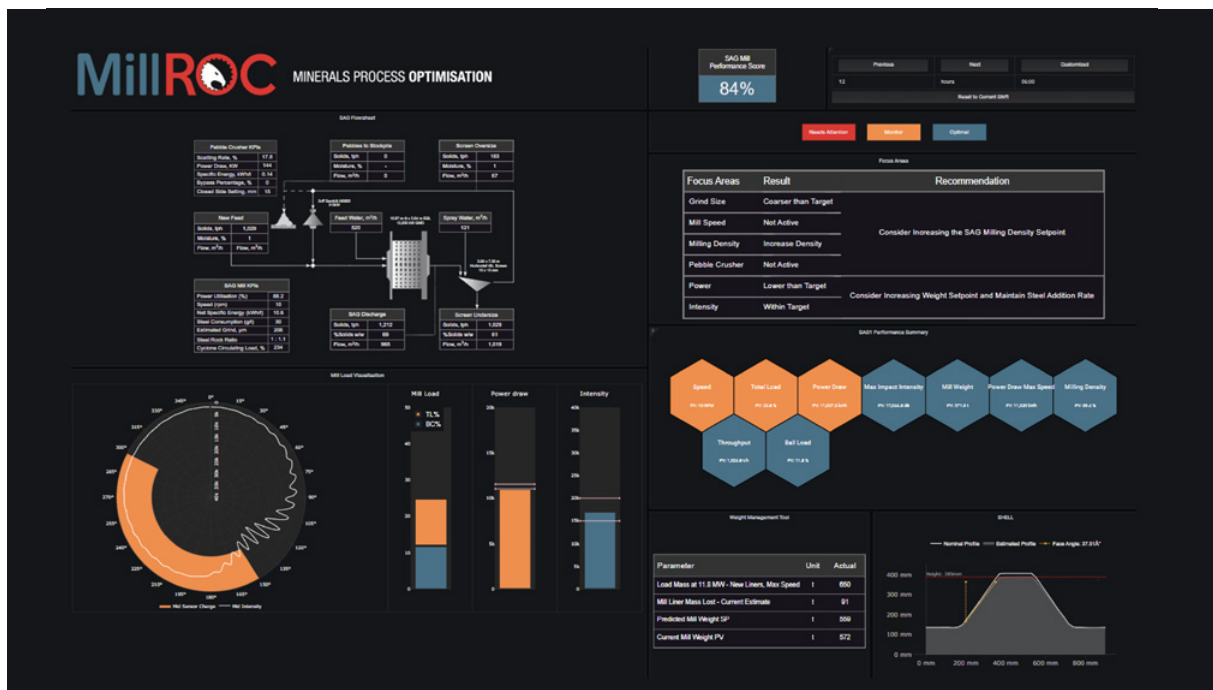


Figura 2: Seguimiento del progreso mediante MillROC.



## Resultados y discusión

### Rendimiento durante la fase de puesta en marcha

Los aumentos progresivos en la carga de bolas y en la carga del molino dieron lugar a mejoras medibles durante las primeras cuatro semanas posteriores al cambio de revestimiento.

| Parámetro                 | Semana 1  | Semana 4  |
|---------------------------|-----------|-----------|
| Velocidad de alimentación | 893 t/h   | 1019 t/h  |
| Potencia del molino SAG   | 10,600 kW | 11,150 kW |
| Carga de bolas            | 11.0%     | 12.2%     |
| Carga total               | 23.0%     | 24.0%     |

**Tabla 3:** Rendimiento durante la fase de incremento.

### Mejora del rendimiento

El rendimiento aumentó aproximadamente un 14 % durante el periodo de puesta en marcha. Esta mejora se debió principalmente a:

- mayor aprovechamiento de la energía
- mejor eficiencia de impacto
- interacción acero-roca optimizada.

### Eficiencia energética

El aumento de la potencia del SAG dio lugar a:

- mejor transferencia de energía al mineral
- mayores tasas de fractura
- conminución más eficiente.

### Estabilidad operativa

El enfoque estructurado de incremento gradual dio lugar a:

- menores fluctuaciones en la carga del molino
- mejor respuesta de control
- funcionamiento más estable del circuito.

### Protección del revestimiento

A pesar de una mayor intensidad operativa:

- No se detectaron daños anómalos en el revestimiento.
- Los niveles de impacto se mantuvieron dentro de límites aceptables.
- El monitoreo permitió una intervención proactiva cuando fue necesario.



## Mejora continua

Los resultados demuestran que la optimización de la fase de puesta en marcha es un proceso continuo. Entre las oportunidades adicionales de mejora se incluyen:

- ajuste de los parámetros operativos para distintos tipos de mineral
- integración de datos sobre la competencia del mineral en las estrategias de control
- uso continuado de herramientas de análisis avanzado
- colaboración constante entre los equipos operativos y técnicos.

## Resumen de beneficios

### Producción

- Recuperación más rápida hacia el funcionamiento en régimen permanente.
- Mayor rendimiento durante la fase de puesta en marcha.

### Eficiencia

- Mejor aprovechamiento de la potencia instalada.
- Mayor eficiencia en la conminución.

### Gestión de riesgos

- Se mantuvo la integridad del revestimiento.
- Se controlaron las condiciones operativas.

### Capacidad operativa

- Mejor comprensión del proceso.
- Mayor confianza del operador.



## Conclusiones

Este caso de estudio demuestra que el aumento gradual de la producción tras un revestimiento puede mejorar significativamente mediante un enfoque estructurado y basado en datos.

**Los resultados clave incluyen:**

- reducción de la duración de la puesta en marcha, de aproximadamente seis semanas a cuatro semanas
- mayor capacidad de procesamiento y mejor aprovechamiento de la potencia
- mayor estabilidad operativa
- gestión eficaz del riesgo de desgaste del revestimiento.

Los resultados confirman que la optimización controlada de la carga de bolas, respaldada por un monitoreo en tiempo real y prácticas operativas rigurosas, constituye una vía práctica y eficaz para mejorar el rendimiento de los molinos SAG.

## Agradecimientos

**Los autores reconocen las contribuciones de:**

- Equipos de producción y metalurgia de Cowal Gold Operations
- Participantes del grupo de trabajo de control
- Personal de soporte técnico de MillROC

## Referencias

Vu, H.K. (2025). *Post-reline SAG mill optimisation: A case study in ramp-up efficiency*.

Datos internos de Cowal Gold Operations.



[molycop.com](https://molycop.com)

© Molycop. Todos los derechos reservados 2026.

Esta publicación ha sido preparada por Moly-Cop Global Holdings Inc. en su nombre y como agente de cada una de sus empresas relacionadas. Toda la información contenida en esta publicación está sujeta a cambios, reemplazos o modificaciones en cualquier momento y sin previo aviso. Moly-Cop Global Holdings Inc. rechaza expresamente todas las garantías, ya sean expresas o implícitas, orales o escritas, incluyendo cualquier garantía implícita de comerciabilidad, idoneidad para un propósito particular, no infracción u otras garantías que surjan del curso de negociación, curso de ejecución, uso comercial o de otra manera. La información se proporciona "tal cual" y "según disponibilidad". La información se proporciona únicamente con fines informativos y Moly-Cop Global Holdings Inc. no garantiza la exactitud de ninguna información ni que la información esté libre de errores. Los usuarios de esta publicación son responsables de verificar la exactitud e integridad de toda la información. Moly-Cop Global Holdings Inc. no tendrá ninguna responsabilidad por pérdidas o daños de cualquier tipo que surjan de o resulten de esta publicación, su contenido y cualquier uso de esta.

Las fotografías mostradas son solo representativas de aplicaciones típicas y están actualizadas a octubre de 2026. Esta publicación no es una oferta comercial y no formará parte de los términos comerciales en ninguna transacción.

Se prohíbe la reproducción total o parcial, en cualquier forma o medio, sin el permiso expreso por escrito de Moly-Cop Global Holdings Inc. Todas las imágenes y contenido, marcas comerciales o marcas registradas son propiedad de Moly-Cop Global Holdings Inc.