

Incremento de vida útil de los revestimientos de molienda – Unidad Minera Cerro Lindo

Nexa Resources

Categoría: Procesamiento de minerales

Cesar Matías Sinche¹, Nilo Dávila Ordoñez²

¹ Lima, Perú (cesar.matias@nexaresources.com)

² Lima, Perú (nilo.davila@nexaresources.com)

RESUMEN

El incremento de nivel de complejidad de explotación y tratamiento se ha vuelto más frecuente en los últimos años, partiendo de una disminución en las leyes de cabeza, precios variables de los metales y necesidad de procesos más eficientes con menores costos de producción e implementación de tecnologías emergentes y disruptivas, por lo que la búsqueda de alternativas para optimizar los costos son parte fundamental en el desarrollo de las empresas del sector minero.

Los mayores costos operativos de planta concentradora (opex) son los reactivos usados en la etapa de flotación y consumibles de las diferentes etapas de conminución. El presente trabajo define una estrategia basada en un proyecto de investigación y desarrollo para disminuir los costos en la etapa de molienda mediante la evaluación de diferentes tipos de revestimientos en los molinos de la unidad minera Cerro Lindo - Nexa Resources.

Actualmente los revestimientos del molino (acero) registran una vida útil de 8 meses, por ello se desarrolló un estudio de investigación que incluye diversas fases que son parte de la gobernanza del área de Tecnología y desarrollo de proyecto I&D.

El objetivo principal del proyecto es incrementar la vida útil de los revestimientos de los molinos, manteniendo la performance metalúrgica en la etapa de molienda.

Se inicio con etapas de estudios conceptuales, benchmarking y simulaciones a diferentes condiciones y perfiles de diferentes materiales y fabricantes que se concluyó en la implementación de los revestimientos de tipo magnético.

La instalación de los revestimientos magnéticos se llevo a cabo en el mes de julio 2021. Las evaluaciones metalúrgicas realizadas indican que se mantiene la performance metalúrgica del molino Metso II tanto como molino primario y secundario. Se realizaron inspecciones dentro del molino para proyectar la vida

útil de los revestimientos. La proyección de acuerdo con la última inspección realizada es 36 meses.

A su vez se está realizando estudios de viabilidad técnica para la instalación en los molinos de la unidad de Cerro Lindo (Metso I y Marcy) y en las unidades del Complejo Pasco (Atacocha y El Porvenir).

1. Introducción

La planta concentradora de Cerro Lindo está localizada en el paraje de Huapunga, distrito de Chavín, provincia de Chincha, región Ica, a 2,100 m.s.n.m., y cuenta con una capacidad de tratamiento actual de 21,000 TPD.

Geológicamente, está clasificada como yacimiento de tipo VMS (volcanogenic massive sulfide) o sulfuros masivos volcanogénicos.

La planta de beneficio de Cerro Lindo procesa minerales galena (PbS), calcopirita (CuFeS₂) y esfalerita (ZnS), y tiene las siguientes operaciones unitarias en su proceso: Trituración, clasificación de minerales, molienda, remolienda, flotación, espesado y filtración. Durante la operación unitaria de flotación selectiva, se obtienen tres tipos de concentrados valiosos: zinc, cobre y plomo con contenidos de oro y plata.

Adicionalmente, se obtiene un producto no valioso denominado relave, del cual una parte es depositado adecuadamente en la propia mina mediante el proceso de pasta cementada, y la otra parte es enviada a filtración para luego ser secado y compactado en el depósito de relaves.

Es la operación más importante de Nexa Resources Perú, la mayor operación subterránea de Perú y una de las más grandes de zinc en el mundo. El inicio de operaciones se dio a partir de julio del 2007.

Figura 1: Ubicación de unidad Cerro Lindo



Fuente: Diario El Comercio

Dentro de la planta procesamiento se tiene el área de molienda actualmente trabajan activamente 3 molinos: Metso 1, Metso 2 y Marcy. Los revestimientos del molino forman parte del equipo y sirven para cubrir el cilindro de daños que pueda ocasionar el proceso de molienda.

Figura 2: Diagrama de flujo de la UM Cerro Lindo



Fuente: Elaboración propia

El alcance del proyecto comprende el estudio de la viabilidad técnica y económica del cambio del tipo de revestimientos para el molino Metso II de la Unidad Minera Cerro Lindo.

Anteriormente los revestimientos de los molinos tenían que ser sustituidos cada 8 meses y ello generaba un alto costo en la operación.

Con la evaluación de revestimientos de diferentes tipos y perfiles, se logra extender la vida útil de estos revestimientos.

2. Objetivos

Implementar una nueva tecnología para reducir los costos asociados a la frecuencia de cambio y mantener la performance del circuito de molienda. Como unidad de producción Cerro Lindo se tiene los siguientes objetivos específicos:

- Reducir los costos asociados a los cambios de revestimientos.
- Mantener la performance metalúrgica del molino (función fractura).
- Reducir la frecuencia de cambio de los revestimientos (menor cantidad de HH).
- Disminuir la probabilidad de ocurrencia de accidentes/incidentes y enfermedades ocupacionales relacionados al cambio de los revestimientos y el ruido generado en área de molienda.

3. Metodología

La metodología aplicada en el presente estudio inicia en el año 2019, con el proceso de investigación y desarrollo del proyecto con el objetivo de encontrar una alternativa para incrementar la vida útil de los revestimientos del molino. Después de realizar simulaciones, evaluar performance, analizar perfiles, trabajar con 4 empresas especializadas en el mercado se optó por la alternativa de los revestimientos magnéticos.

Las fases desarrolladas en el proyecto fueron las siguientes:

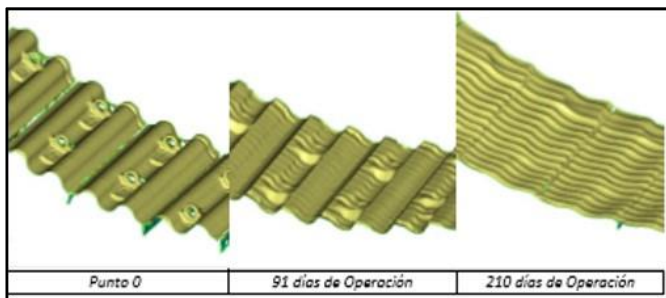
3.1. Descripción del problema

El mineral extraído de mina tiene que ser reducido a un tamaño específico mediante el uso de un molino de bolas, este molino está revestido con unos revestimientos metálicos que actualmente tienen una duración de 8 meses, estos revestimientos es uno de

los principales drivers de costos de la planta concentradora.

Actualmente, este revestimiento se cambia debido al constante desgaste que sufre por el contacto con las bolas de acero y mineral (abrasión, corrosión e impacto), a esto se suma el excesivo peso de los revestimientos de acero tanto del total de las piezas como de la pieza individual (86 ton total – peso 317 kg por pieza, número de piezas: 272), dichas características generan lo siguiente:

Figura 3: Frecuencia de desgaste – revestimiento anterior del molino Metso II



Fuente: Elaboración propia

- Incremento de gastos operativos (OPEX) por la frecuencia de cambio.
- Mayor probabilidad de accidentes e incidentes por la frecuencia de cambio.
- Trabajo de alto riesgo por el exceso de peso manipulado por los trabajadores de forma manual.
- Altos niveles de ruido por el impacto entre las bolas y revestimientos de acero. (120 dB)
- Mayor transporte de los revestimientos de acero lo que genera una mayor huella de carbono.

3.2. Investigación y desarrollo

3.2.1. Levantamiento de información y estudio conceptual

Se realizó un análisis comparativo de las distintas alternativas y revisión de patentes de proveedores para evaluar propuestas de mejora. Se revisaron las siguientes opciones:

- Revestimiento de acero
Forman parte del molino actúan como chaquetas protectoras de la carcasa interna (shell), que a su vez se van desgastando con el tiempo, debido al fuerte y constante impacto interno que se produce entre la carga de mineral y las bolas de acero.

- Revestimientos híbridos
Son la combinación de acero y caucho. Acero resistente al desgaste y caucho moldeado a alta presión, el acero resiste a la abrasión permite aproximadamente el doble de vida útil del revestimiento de caucho estándar. La estructura de goma absorbe el impacto de grandes rocas y elementos de molienda (bolas de acero).
- Revestimientos magnéticos
Los revestimientos magnéticos son de metal con un imán enjaulado de aleación no magnética, resistente al desgaste, donde el imán sujeta el forro de acero al Shell. Estos revestimientos retienen los chips y bolas de tamaño inferior, para formar una capa de protección sólida que sirve como forro de desgaste.

Figura 4: Pieza de revestimiento magnético



Fuente: Elaboración propia

Las astillas de estas bolas y el polvo del mineral molido se retienen continuamente y, por lo tanto, el revestimiento puede durar años sin ningún mantenimiento.

La fuerza magnética se encarga de asegurar que el revestimiento atraiga el material ferromagnético, formando una capa de desgaste continuo y auto renovable con un perfil ondulado. Los imanes internos mantienen al revestimiento en su lugar, por lo que ya no se requieren pernos de fijación, en su lugar se sellan los orificios con tapones de caucho.

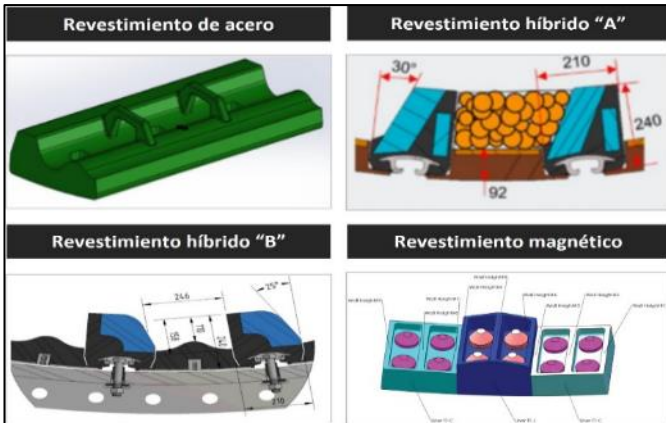
La instalación es sencilla, el peso de cada pieza no excede los 30 kg. El reemplazo del revestimiento es igual de sencillo, sólo la aplicación de una palanca es necesaria.

Cuadro 1: Comparativa de alternativas

Tipo de revestimiento	Área interna (m2)	Peso (toneladas)	Vida útil (meses)
Línea base	126.95	86	7
Acero	126.75	92	12
Híbrido "A"	122.56	61	12
Híbrido "B"	120.12	58	12
Magnético	128.12	12	36

Fuente: Elaboración propia

Figura 5: Perfiles de las piezas de los revestimientos



Fuente: Elaboración propia

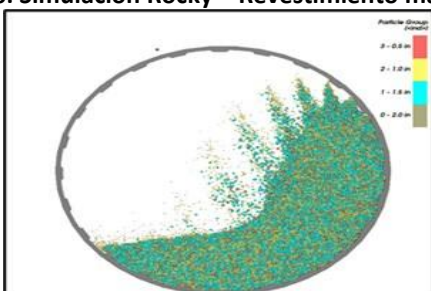
3.2.2. Evaluaciones metalúrgicas

- Condiciones operativas

Tamaño de molino	16.5' x 24'
Tipo de molino	Secundario
Distribución del tamaño de bolas	50% 2", 50% 1.5"
Energía del molino	4000 HP

- Simulaciones DOE en diferentes tipos de revestimientos, simulaciones en Mill Soft y Rocky DEM
 - ✓ Acero (Tipo A, Tipo B)
 - ✓ Híbrido "A" (Tipo A, Tipo B)
 - ✓ Híbrido "B" (Tipo A, Tipo B)
 - ✓ Magnético - diseños iniciales (Tipo A, Tipo B)

Figura 6: Simulación Rocky – Revestimiento magnético

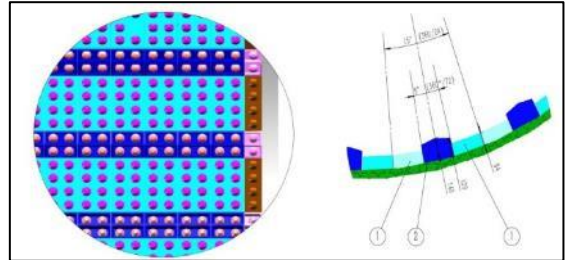


Fuente: Elaboración propia

Se obtiene mejores resultados con los revestimientos magnéticos.

- Se realizan 10 simulaciones para el diseño final de los revestimientos magnéticos.
 - ✓ Perfil: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J.

Figura 7: Perfil "H" del revestimiento



Fuente: Elaboración propia

Se definió al perfil "H" como diseño final para el molino Metso II.

3.2.3. Visitas técnicas – Benchmarking externo

Como parte de la finalización del estudio conceptual se realiza vistas técnicas a dos minas en China que tienen implementado en sus molinos el uso de revestimientos magnéticos. La visita tuvo como finalidad:

- Conocer la performance de los revestimientos magnéticos.
- Realizar una evaluación y análisis de las variables metalúrgicas más importantes.
- Recabar datos importantes como el acondicionamiento y preparación del molino.

Mina Dongguashan Cooper

Figura 8: Molinos de la Mina Dongguashan Cooper



Fuente: Elaboración propia

Inicio de operaciones	1950
Provincia	Tonglin
Mina	Cobre, plata y oro
Capacidad	14 000 tpd
Producto	18 - 21 Cu%
Ley de cabeza	0.8 - 0.9%
Recuperación	86 - 89%

Resumen metalúrgico

- El uso de revestimientos magnéticos no afectó a la recuperación ni calidad de Cobre en Dongguashan, se mantuvo el corte de alimentación a flotación en 65% -200 malla.
- Se mantuvo una recuperación de Cu de 88%.
- El tonelaje de procesamiento se mantuvo en 14,000 tpd antes y después del uso de revestimientos magnéticos, no se modificó el circuito ni la configuración.
- Generó ahorro de energía en un 15% por tener menor peso.
- Usan 100% bolas de 3" y no afecta a los revestimientos magnéticos (300 hb).

Resumen mecánico

- Reducción drástica de los costos de mantenimiento.
- Mayor vida útil (en esta mina 4 veces mayor que los revestimientos de acero convencionales).
- Más liviano, fácil y seguro de instalar, no requiere pernos de fijación.
- Reduce los niveles de ruido.
- Menos emisión de astillas de bolas que reducen el daño a los equipos de procesamiento aguas abajo como bombas y ciclones.
- Recomiendan la adquisición de ½ juego de MML para stock de repuestos.

Mina Baima

Figura 9: Molinos de la Mina Baima



Fuente: Elaboración propia

Inicio de operaciones	1960
Provincia	Panzihua
Mina	Hierro, titanio y vanadio
Capacidad	15 000 tpd
Producto	Concentrado de hierro y titanio
Calidad	44 % Fe - 4 % Ti

Resumen metalúrgico

- El uso de revestimientos magnéticos no altera el ratio de reducción, mantiene el 60% - 200 m.
- El tonelaje procesado en Baima antes y después de los revestimientos magnéticos registraron valores promedio de 15,000 tpd.
- No se registra disminución en la calidad del concentrado de Hierro (55%Fe) ni titanio (47%), Se mantuvo la misma configuración del diagrama de flujos antes y después del uso de este tipo de revestimiento.
- Se comprueba aspectos teóricos con la inspección visual al interior de molino como niveles de adherencia y durabilidad del revestimiento.

Resumen mecánico

- Mayor vida útil (en este caso 7 veces mayor que los revestimientos de acero convencionales).
- Más liviano (hasta 30 Kg por pieza, fácil y seguro de instalar).
- No requiere pernos de fijación debido a las fuertes fuerzas de atracción que los mantienen en su lugar con rendimiento constante durante años, reduce los niveles de ruido.

- Los MML absorben las astillas de bolas y los escombros a su superficie y evita su descarga del molino mientras se forma la capa de protección sólida.

Finalizada la visita técnica se realiza la presentación de la propuesta al equipo de Gerencia de Planta de Cerro Lindo para su aprobación. Con el visto bueno se inicia el proceso de gestión para la fabricación, importación e instalación.

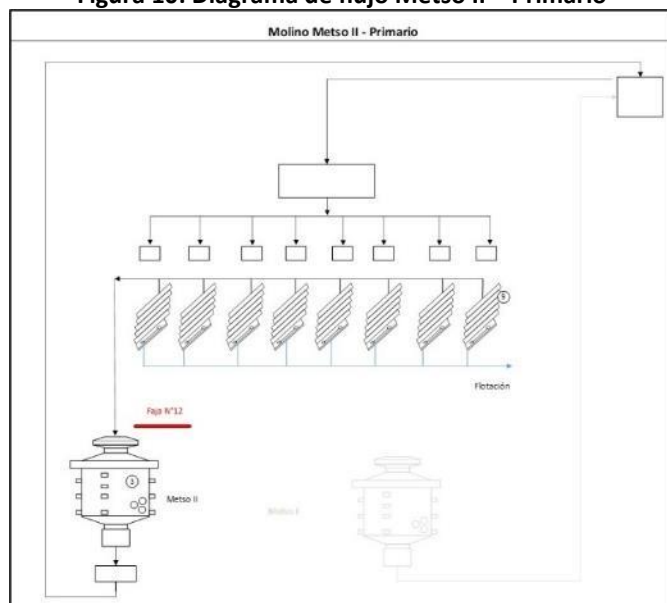
3.3. Implementación - Planificación

Se inicia con el proceso de fabricación de los revestimientos y planificación de actividades para la instalación. Se realizó una capacitación previa al inicio de las actividades de instalación donde participaron la empresa proveedora, la empresa especializada encargada de la instalación, mantenimiento planta, operaciones y el equipo de Tecnología. Las actividades se retrasaron 9 meses por el contexto de la pandemia del COVID 19.

Las principales métricas para el inicio de operaciones del molino Metso II con la implementación de los revestimientos magnéticos:

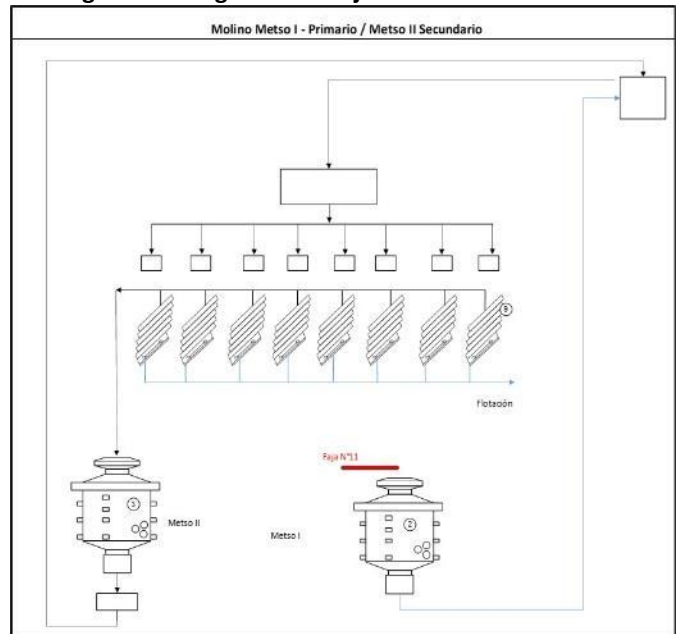
- Duración de los revestimientos.
- Ratio de reducción
 - ✓ Molino primario: P80/F80 = 10 a 12
 - ✓ Molino secundario: P80/F80 = 1.63 a 1.60

Figura 10: Diagrama de flujo Metso II – Primario



Fuente: Elaboración propia

Figura 11: Diagrama de flujo Metso II – Secundario



Fuente: Elaboración propia

El día 05 de julio del 2021, se inician las actividades de instalación para el cambio de los revestimientos magnéticos en el molino Metso II. La actividad se realizó en 74 horas con 54 personas y 0 accidentes durante este proceso.

Cuadro 2: Plan de actividades

<p>Desmontaje Desmontaje de revestimientos y backing rubber. Retiro de tuercas que aseguran los antiguos revestimientos al molino.</p>	
<p>Preparación del cilindro Limpieza de superficie interna del molino e instalación de tampones en el cilindro.</p>	

<p>Backing rubber Colocación de backing rubber de 3 mm para cubrir el cilindro de posibles daños.</p>	
<p>Instalación del MML Instalación de revestimientos magnéticos de medio cilindro.</p>	

Fuente: Elaboración propia

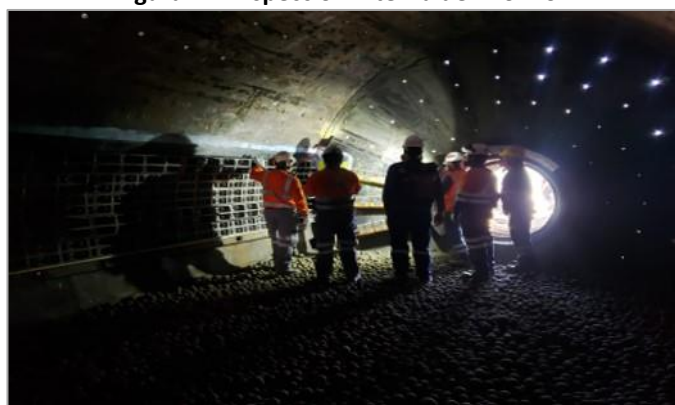
Culminada las actividades de instalación, se inician las operaciones del molino Metso 2 como molino primario y la evaluación de la performance metalúrgica.

Cuadro 3: Inicio de operaciones

Inicio de operaciones:	Jueves 8 de julio del 2021 Arranque 10:30 horas
Circuito:	Molino primario
Tonelaje:	340 t/h
Ratio de reducción:	10.4
Amperaje:	440 Amp
Amperaje Bomba molienda:	490 Amp
Nivel de bolas:	32 %

Fuente: Elaboración propia

Figura 12: Inspección interna del molino



Fuente: Elaboración propia

Figura 13: Finalización de los trabajos de instalación

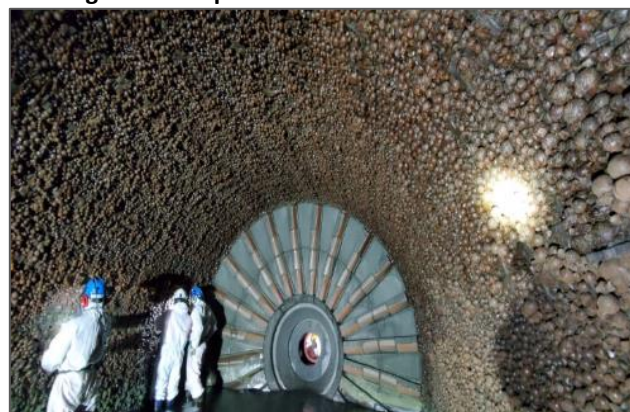


Fuente: Elaboración propia

3.4. Seguimiento y evaluación

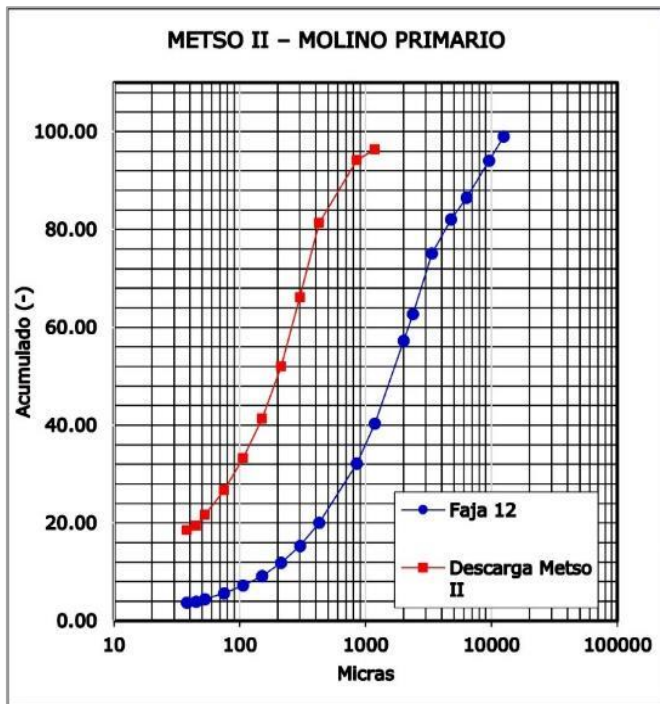
Desde la puesta en marcha del molino Metso II con los actuales revestimientos, se realiza un seguimiento operacional de la performance metalúrgica y el desgaste de estos. Además de las condiciones operacionales que podrían afectar su rendimiento.

Figura 14: Inspección del molino internamente



Fuente: Elaboración propia

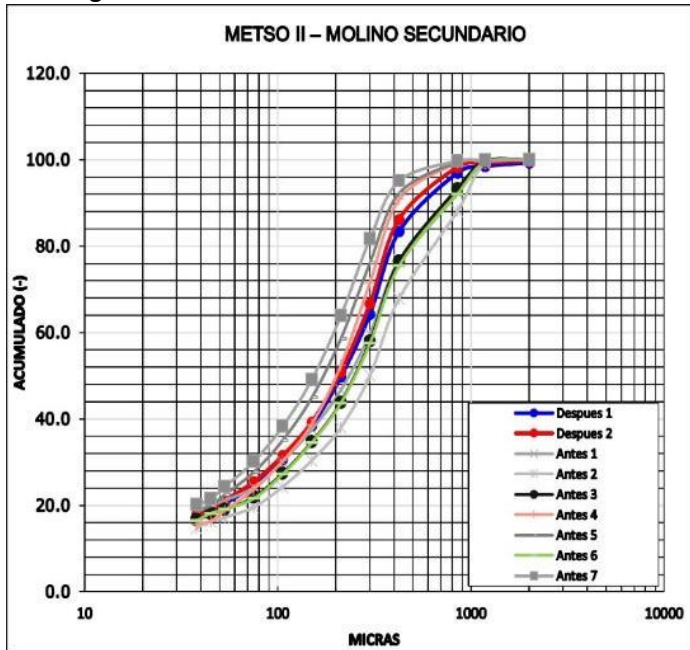
Figura 15: Ratio de reducción – Molino primario



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo una mejora con la reducción de los ratios de molienda primaria entre 10 – 12 y se alcanzó un valor de 10.4.

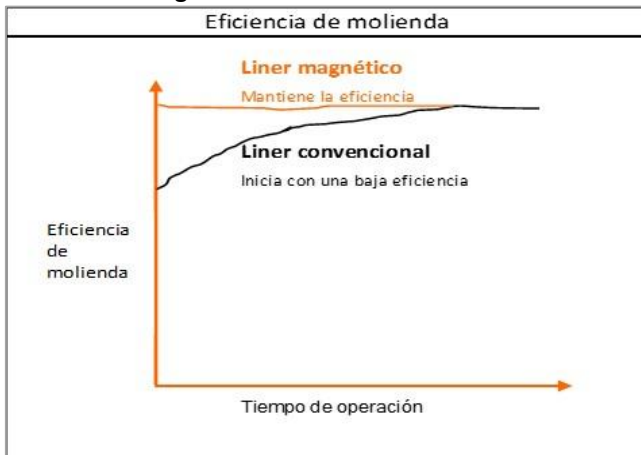
Figura 16: Ratio de reducción – Molino secundario



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo una mejora con la reducción de los ratios de molienda secundaria de 1.65 y se alcanzó un valor de 1.62.

Figura 17: Eficiencia de molienda



Fuente: Elaboración propia

La diferencia con el forro convencional es que la eficiencia se mantiene constante desde el primer minuto de operación efectiva, principalmente, porque no afecta el diámetro interno del molino como sucedería con un revestimiento convencional.

Actualmente se realiza la inspección interna del molino Metso II cada 2 meses para la evaluación de la proyección de la vida útil y la performance del proceso.

4. Resultados

Mecánico

- Se mantuvo el diámetro interno del molino (128 m2) con un procesamiento estable desde la puesta en marcha.
- Monitoreos del espesor a los 3, 4, 6 y 9 meses, para proyectar la vida útil de los revestimientos, última medición dentro de lo esperado.
- Reducción del peso de la estructura de molienda de 86 toneladas a 57 toneladas logrando la reducción del consumo de energía.

Metalúrgico

- Se registraron ratios de reducción entre 10 a 12 como molino primario y 1.65 a 1.62 como molino secundario.
- Se realizaron muestreos constantes en diferentes partes del circuito de molienda para evaluar los perfiles granulométricos.

Medio ambiente y seguridad

Figura 18: Tabla comparativa revestimientos de acero vs magnéticos

Características	Forros de acero	Revestimientos magnéticos	Cambio porcentual %
Nro. de cambios (período 4 años)	6	1	↓ -83%
H-H totales (período 4 años)	17,496	2,592	↓ -85%
Peso de cada pieza (kg)	317	23	↓ -92%
Personas requeridas	8	1	↓ -87.5%
Intensidad de sonido (dB)	120	90	↓ -25%

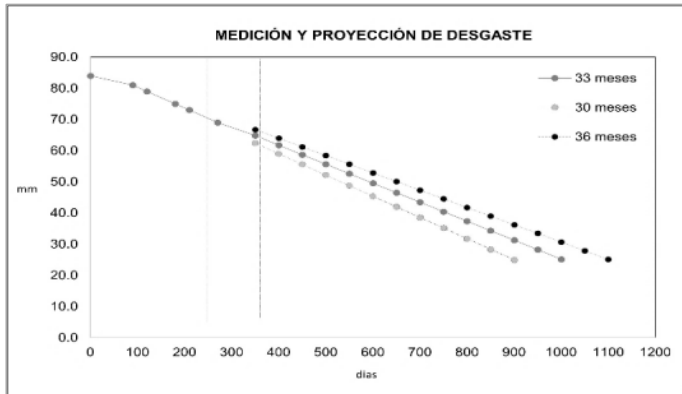
Fuente: Elaboración propia

- Se realizó el cambio del revestimiento con éxito sin ningún incidente registrado y cumpliendo las horas hombre proyectadas inicialmente, demostrando una actividad más segura por el peso de cada pieza.
- Disminución de la probabilidad de incidentes y/o accidentes por los cambios de revestimientos.
- Disminución de ruido en la zona de molienda de 120 a 90 db.
- Aminoramiento de la huella de carbono por la reducción de traslado (flete) y producción de los revestimientos de acero.

Costos

- Reducción de costos por la menor frecuencia en el cambio de revestimientos.

Figura 14: Proyección de vida útil de revestimientos



Fuente: Elaboración propia

5. Conclusiones

- Se logró generar un ahorro de 75% por la frecuencia de cambio de revestimiento en el Molino Metso II.
- Se realizaron 6 mediciones de espesores hasta la fecha, donde se proyecta una vida útil entre 30 y 36 meses. Se continuará realizando la medición cada 3 meses de acuerdo con el estándar.
- El revestimiento magnético mantiene la performance metalúrgica en el circuito en referencia a la función fractura P80 en la descarga de molino entre 270 – 310 micrones.
- Se logró disminuir el peso de las piezas en un 92%. Con ello se disminuye la probabilidad de ocurrencia de accidentes/incidentes y enfermedades ocupacionales relacionados al peso.
- De acuerdo con las características físicas del mineral, se identificaron oportunidades de mejora para extender la vida útil en los próximos diseños (tipo de aleación y geometría del revestimiento).
- Después de esta experiencia y documentación previa en performance metalúrgica y mecánica, se inició el proceso de investigación y desarrollo para la implementación de los molinos primarios Metso I y Marcy de Cerro Lindo, así como también para los molinos del complejo Pasco y las unidades de Brasil.

Agradecimientos

Agradecemos a la gerencia de la unidad Cerro Lindo – Nexa Resources Perú por haber brindado su apoyo durante todo el desarrollo e implementación del proyecto. Así como también a todo el equipo multidisciplinario por su tiempo, esfuerzo y dedicación para que el proyecto sea exitoso.

Referencias

- Davila N. Matías C. 2019. Presentación de resultados - Informe de propuestas técnicas de revestimientos. Nexa Resources – Tecnología minería Perú.
- Davila N. Matías C. 2019. Presentación de resultados - Resultados de simulaciones. Nexa Resources – Tecnología minería Perú.
- Davila N. Matías C. 2019. Presentación de resultados – Informe de visita técnica. Nexa Resources – Tecnología minería Perú.
- Empresa proveedora. 2020. Revestimientos magnéticos – Propuesta técnica.
- Davila N. Matías C. 2021. Presentación de resultados – Informe de instalación de los revestimientos magnéticos. Nexa Resources – Tecnología minería Perú.
- Empresa especializada. 2021. Informe de instalación de los revestimientos magnéticos.
- Empresa especializada. 2021. Informe de seguimiento de performance del Molino Metso II.
- Empresa especializada. 2022. Informe de seguimiento de desgaste de los revestimientos del molino Metso II.
- Davila N. Matías C. 2022. Disminución de exposición al riesgo del personal con uso de la tecnología de revestimientos magnéticos en el área de molienda U.M. Cerro Lindo. ISEM.

Perfil profesional

Ingeniero Metalúrgico con más de 17 años de experiencia en el rubro minero – metalúrgico con una maestría en Geometalurgia y un MBA Gerencial Internacional por Centrum PUCP. En los últimos años, ha liderado, a través de rutas tecnológicas, diversos proyectos de gran envergadura en planta y operaciones Mina. Motivado en seguir transformando e innovando la minería de una manera ambientalmente amigable y responsablemente segura.

Nombre del autor: Cesar Augusto Matias Sinche

Cargo: Gerente de Tecnología Mina

Empresa: Nexa Resources S.A.A

Correo electrónico: cesar.matias@nexaresources.com

Teléfono / Celular: 710 5500 / 956 330 396

Dirección: Av. Circunvalación del Golf los Incas 170,
Santiago de Surco 15023

Perfil profesional

Reseña profesional: Ingeniero Metalúrgico con 10 años de experiencia en el rubro minero – metalúrgico, con una maestría en Geometalurgia. En el área de Tecnología, lidera proyectos de investigación y desarrollo de Nexa Resources Perú, con la implementación de proyectos incrementales y transformacionales enfocados en la eficiencia del proceso, crecimiento y disciplina operacional.

Nombre del coautor: Nilo Dávila Ordoñez

Cargo: Jefe de Investigación

Empresa: Nexa Resources S.A.A

Correo electrónico: nilo.davila@nexaresources.com

Teléfono / Celular: 710 5500 / 984167455

Dirección: Av. Circunvalación del Golf los Incas 170,
Santiago de Surco 15023