

De iniciativa a proyecto integral: La evolución de los forros magnéticos (MML) en los molinos de Cerro Lindo como una estrategia de ahorro en costos

(Procesamiento de Minerales y Metalurgia Extractiva)

Cesar Matías¹, Bruno Pino²

¹ Autor: Nexa Resources, Chincha, Ica, Perú (cesar.matias@nexaresources.com - 956 330 396)

² Coautor 1: Nexa Resources, Chincha, Ica, Perú (bruno.pino@nexaresources.com y 993 073 062)

RESUMEN

En los últimos años, el incremento en la complejidad de la explotación y tratamiento de minerales se ha vuelto más evidente, debido a factores como la disminución de las leyes de cabeza y la volatilidad en los precios de los metales. Ante este escenario, surge la necesidad de implementar procesos más eficientes y con menores costos operativos. Para lograrlo, resulta fundamental la búsqueda continua de tecnologías emergentes y disruptivas que permitan optimizar los procesos y reducir el OPEX, aspecto clave para el desarrollo sostenible de las empresas mineras. En toda planta concentradora, los mayores costos operativos suelen estar asociados al consumo de reactivos en la etapa de flotación y a los consumibles empleados durante la conminución.

Este trabajo presenta una estrategia basada en un proyecto integral, originado como una iniciativa de investigación y desarrollo, orientado a reducir los costos de molienda mediante la implementación de tecnología de revestimientos magnéticos (MML) en los molinos de la unidad minera Cerro Lindo – Nexa Resources.

Antes del año 2020, los molinos utilizaban revestimientos metálicos (de acero) con una vida útil de aproximadamente 7 a 8 meses, lo cual generaba costos elevados debido a la alta frecuencia de reemplazo y mantenimiento. Por ello, se desarrolló una estrategia en etapas, que incluyó desde estudios conceptuales hasta la instalación y puesta en marcha de los nuevos revestimientos magnéticos.

Tabla 1 Molinos en UM Cerro Lindo

Molino	Tipo de Molienda
Metso 1	Primario
Marcy	Primario
Metso 2	Secundario

Fuente: *Elaboración propia*

El objetivo principal fue reducir los costos asociados al mantenimiento de los revestimientos, manteniendo o mejorando la performance metalúrgica. Esto es posible gracias a la acción magnética de los MML, que atrae partículas ferromagnéticas (chips, bolas pequeñas, polvo metálico), formando una capa protectora ondulada y auto-regenerativa sobre el revestimiento base, incrementando significativamente su vida útil.

La implementación del proyecto siguió la siguiente secuencia:

- Investigación y estudios conceptuales
- Evaluación técnico-económica de diferentes tipos de revestimiento
- Evaluación de revestimientos mediante simulaciones
- Vistas técnicas y benchmarking
- Instalación y puesta en marcha
- Seguimiento y evaluación de performance

Gracias a esta estrategia, Cerro Lindo se convirtió en pionera en el uso de revestimientos magnéticos en Perú y Sudamérica, con tres instalaciones exitosas en dos de sus tres molinos, cuyas dimensiones son:

- Metso 2: 16.5 x 24 pies (2 instalaciones)
- Marcy: 14.5 x 23.5 pies (1 instalación)

Como resultados de este proyecto:

- Reducción significativa de costos asociados al cambio y mantenimiento de revestimientos, con un beneficio económico estimado en xxxx USD
- Buen rendimiento metalúrgico debido a que:
 - Para el Metso 2 (2da Generación), estadísticamente:
 - Tonelaje se mantiene (≈ 507 t/h).
 - P80 se mantiene ($< 384 \mu\text{m}$).
 - Consumo energético se mantiene (≈ 5.58 kWh/t).

- Para el Marcy (1ra Generación), estadísticamente:
 - Tonelaje se mantiene
 - (≈ 283 t/h).
 - Ratio de reducción se incrementó (> 13).
 - Consumo energético se redujo (≈ 7.02 kWh/t).
- Mejora en la seguridad ocupacional:
 - Disminución de la frecuencia de cambio de revestimientos a 1 cada 18 meses.
 - Reducción del ruido generado por los revestimientos metálicos (< 90 dB), mejorando el ambiente de trabajo.

Finalmente, como parte de la visión a futuro, se busca extender esta tecnología a la totalidad de los molinos de la planta. Actualmente, ya se han iniciado los estudios necesarios para implementar los revestimientos magnéticos en el molino primario Metso 1, en línea con la estrategia definida.

1. Introducción

Uno de los pilares estratégicos en Nexa es la mejora continua, en línea con este enfoque, la compañía impulsa la incorporación de nuevas tecnologías que optimicen sus procesos y generen valor, alineándose con los objetivos clave del sector minero. Por lo tanto, en la constante búsqueda de innovación, Nexa llevó a cabo un estudio enfocado en extender la vida útil de los revestimientos de los molinos en la unidad minera Cerro Lindo, de ese modo, generar ahorros significativos.

Cerro Lindo es una mina subterránea que procesa 22,000 t/d y se posiciona como una de las unidades más importantes de Nexa en Sudamérica y es una de más grandes de Zn en el mundo. Ubicada en el distrito de Chavín, provincia de Chincha, región Ica. Geológicamente, está clasificada como yacimiento de tipo VMS (volcanogenic massive sulfide) o sulfuros masivos volcanogénicos.

Su planta de beneficio consta de diferentes etapas tales como trituración, molienda, clasificación, flotación, remolienda, espesamiento y filtrado de concentrados y relaves. Esta planta procesa minerales como galena (PbS), calcopirita (CuFeS₂) y esfalerita (ZnS) por lo que produce tres tipos de concentrados valiosos: plomo, cobre y zinc, con contenidos de oro y plata.

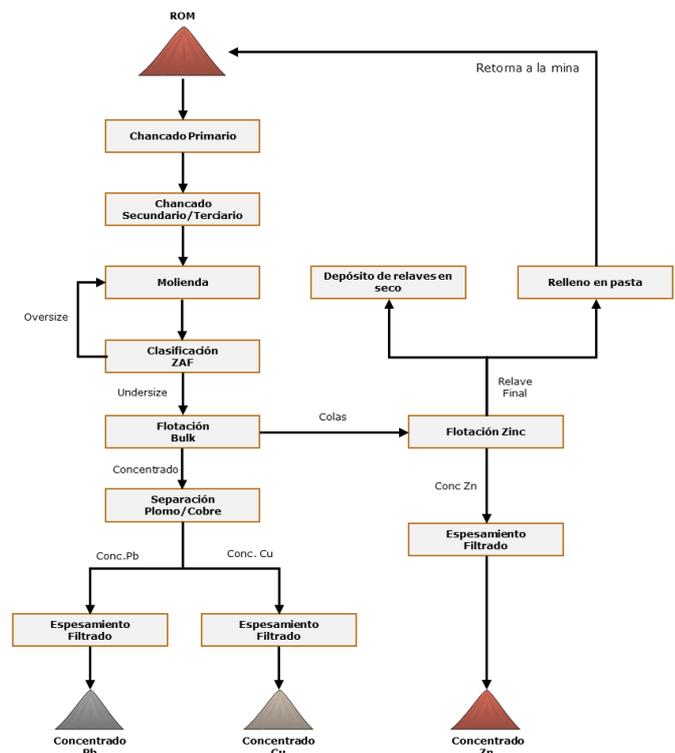


Figura 1 Diagrama de bloques – Planta Concentradora Cerro Lindo

Fuente: Elaboración propia

Anteriormente, todos los molinos empleaban revestimientos de acero los cuales presentaban una duración promedio de 7 a 8 meses, lo que generaba un alto costo en la operación debido a cambios y/o mantenimientos constantes.

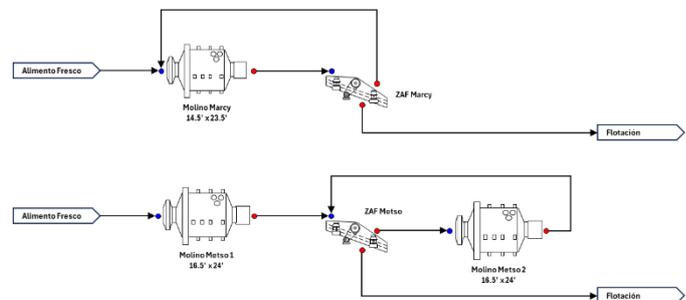


Figura 2 Flowsheet – Circuito de Molienda Cerro Lindo

Fuente: Elaboración propia

Por lo anterior, se realizó una investigación técnica-económica a diversos tipos de forros donde se identificó la tecnología de revestimientos magnéticos o Magnetic Mill Liner (MML), los cuales son una serie de imanes integrados en una matriz de acero resistentes a la abrasión, que atraen todo tipo de material ferromagnético generando una sólida capa de protección que evita el desgaste del revestimiento y sea autorrenovable. Este tipo de revestimiento podría alcanzar una vida útil de hasta 24 meses, lo que reduciría costos significativamente.

Como resultado de un primer estudio llevado a cabo en el 2019-2020, se implementó la tecnología MML en el molino Metso 2, obteniéndose resultados altamente favorables tanto en performance metalúrgico, así como en costos y seguridad. Estos resultados motivaron la ejecución de un segundo estudio, orientado a implementar, de manera integral, la tecnología en los demás molinos: Marcy (1ra Generación) y Metso 2 (2da Generación), el cual es el enfoque de este trabajo.

2. Objetivos

- Reducir los costos asociados a cambios y/o mantenimiento de revestimientos en los molinos mediante la implementación de la tecnología MML.
- Mantener o incrementar el performance metalúrgico en los molinos:
 - Capacidad de tratamiento
 - Ratio de reducción
 - Consumo energético
- Disminuir la probabilidad de ocurrencia de accidentes/incidentes y enfermedades ocupacionales relacionados al cambio y/o mantenimiento de los revestimientos y el ruido generado en área de molienda.

3. Compilación de Datos y Desarrollo del Trabajo

3.1. Antecedentes

El primer estudio de este proyecto inició en el año 2019 con el objetivo de encontrar una alternativa para incrementar la vida útil de los revestimientos de los molinos. Después de realizar simulaciones, evaluar el performance y trabajar con empresas especializadas en el mercado se optó por la alternativa de los revestimientos magnéticos.

Como resultado, se implementó la tecnología MML en el molino Metso 2, llamándose "1ra Generación", obteniéndose resultados altamente favorables tanto en performance metalúrgico, así como en costos y seguridad. Estos resultados motivaron la ejecución del segundo estudio, el cual está orientado a implementar, de manera integral, la tecnología en los demás molinos: Marcy y Metso 1.

3.2. Descripción del problema

El mineral extraído de mina debe ser reducido a un tamaño adecuado para la flotación, para ello se utilizan equipos de conminución como trituradoras, molinos, etc., para su protección y mejora en la reducción del mineral estos equipos son revestidos con unos revestimientos o también llamados forros,

para el caso de los molinos en Cerro Lindo, se utilizaban revestimientos metálicos que generalmente tienen una duración entre 7 a 8 meses, este tipo de revestimiento es uno de los principales drivers de costos en la operación.

Este tipo de revestimiento se cambia constantemente debido al rápido 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, ya que presentan un peso de 317 kg por pieza, dichas características generan lo un desgaste como se muestra a continuación:

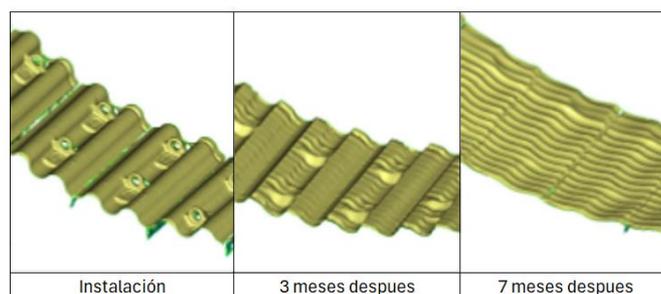


Figura 3 Desgaste en forros de acero

Fuente: Elaboración propia

Por lo mencionado se tendía a:

- Incrementar los gastos operativos (OPEX) debido al aumento de la frecuencia de cambios y/o mantenimientos.
- Incrementar la probabilidad de accidentes e incidentes debido al aumento de la frecuencia de cambios y/o mantenimientos, así como por manipulación de piezas con excesivo peso.
- Tener altos niveles de ruido por el impacto entre las bolas y revestimientos de acero (120 dB).
- Incrementar el transporte de los revestimientos de acero lo que generaba una mayor huella de carbono.

Por lo anterior, y en constante búsqueda de mejora continua en el proceso, es que se dio inicio al primer estudio con enfoque en 3 pilares:

- Mayor vida útil
- Performance metalúrgico adecuado
- Seguridad es primero

3.3. Desarrollo de proyecto integral

3.3.1. Investigación & 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 que se produce entre la carga de mineral y las bolas de acero.



Figura 4 Revestimiento metálico
Fuente: Elaboración propia

- **Revestimientos híbridos:** Son la combinación de acero y caucho. Acero resistente al desgaste y caucho moldeado a alta presión, esta combinación permite aproximadamente el doble de vida útil del revestimiento de caucho estándar. La estructura de goma absorbe el impacto de grandes rocas y medios de molienda (bolas de acero).



Figura 5 Revestimiento híbrido
Fuente: Metso

- **Revestimientos magnéticos:** Son revestimientos de acero con imanes encapsulados que se adhieren al casco del molino mediante fuerza magnética, por lo que ya no se requieren pernos de fijación, en su lugar se sellan los orificios con tapones de caucho.

Esta fuerza atrae partículas ferromagnéticas (chips, bolas pequeñas y polvo metálico), formando una capa protectora ondulada y auto-regenerativa que protege el revestimiento original. Su diseño permite una instalación sencilla, sin herramientas especiales, con piezas con un peso aproximado de 30 a 40 kg. Los MML ofrecen una vida útil prolongada, menor mantenimiento, fácil reemplazo y reducción significativa en los tiempos de parada del molino.



Figura 6 Revestimiento magnético
Fuente: Elaboración propia



Figura 7 Peso por pieza por tipo de revestimiento
Fuente: Elaboración propia



Figura 8 Duración por tipo de revestimiento
Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Propuesta de diseños de revestimientos

Se evaluaron técnica y económicamente propuestas de diseños de revestimientos de diferentes proveedores.



Figura 9 Perfiles por tipo de revestimiento
Fuente: *Elaboración propia*

3.3.3. Evaluación mediante simulaciones DEM

Se realizaron simulaciones DEM para evaluar el comportamiento y/o movimiento de la carga dentro del molino considerando el diseño de los revestimientos, el objetivo principal de esta etapa fue evaluar la distribución del impacto de las bolas sobre los revestimientos, lo que ayudó a:

- Predecir zonas de alto desgaste
- Optimizar el diseño de los revestimientos.

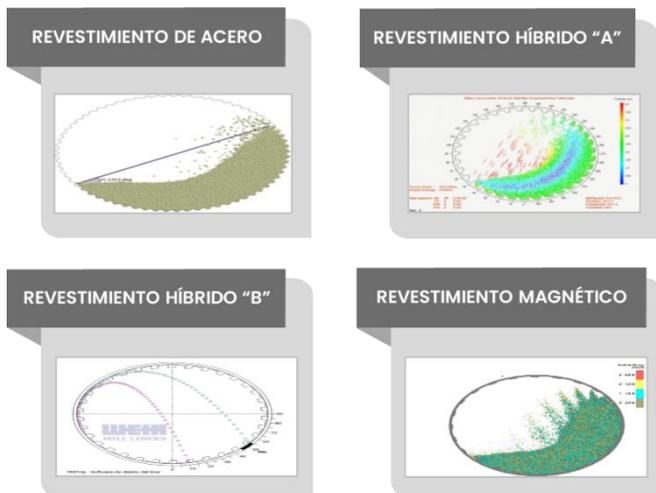


Figura 10 Simulación DEM por tipo de revestimiento
Fuente: *Elaboración propia*

Para la evaluación, se consideraron diferentes diseños para cada molino.

3.3.4. Visitas técnicas – Benchmarking

Se realizaron vistas técnicas a dos minas en China que tienen instalado en sus molinos los revestimientos magnéticos. La visita tuvo como finalidad:

- Conocer el 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.



Figura 11 Molinos de la mina Dongguashan Cooper
Fuente: *Elaboración propia*

Esta mina posee 2 molinos 16.5 x 27 pies, donde en su totalidad utilizan revestimientos magnéticos desde el 2004.

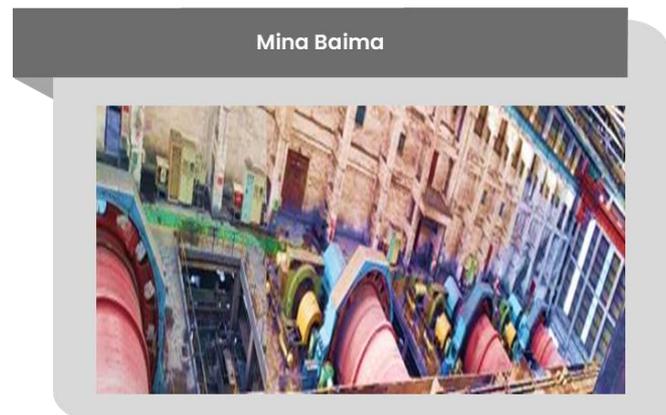


Figura 12 Molinos de la Mina Baima
Fuente: *Elaboración propia*

Esta mina posee 4 molinos 16.5 x 27 pies, donde en su totalidad utilizan revestimientos magnéticos desde el 2012.

Como resultados de esta visita se obtuvieron las siguientes premisas:

- El uso de los revestimientos magnéticos:
 - No afecta la calidad del mineral ni a la recuperación.
 - Ahorra energía en un 7 a 10%.
 - No se altera la relación de reducción.
 - Posee mayor vida útil.
 - Posee menor peso y es más fácil y seguro de instalar.

3.3.5. Instalación, Puesta en marcha & Seguimiento

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 participó la empresa proveedora, la empresa especializada encargada de la instalación, mantenimiento planta, operaciones y el equipo de tecnología.

Coordinaciones & Instalación



Figura 13 Coordinaciones entre áreas & Instalación de revestimientos magnéticos
Fuente: Elaboración propia

Culminada las actividades de instalación, se inician las operaciones para su posterior seguimiento y evaluación de indicadores de rendimiento.

Puesta en Marcha & Seguimiento



Figura 14 Puesta en marcha exitosa & Seguimiento para evaluación de performance
Fuente: Elaboración propia

3.3.6. Seguimiento & Evaluación

Desde la fecha de instalación de los revestimientos magnéticos en los molinos, se realiza el seguimiento de forma constante con el objetivo de evaluar su performance considerando indicadores como:

- Durabilidad de los revestimientos
- Performance metalúrgico
 - Capacidad de tratamiento
 - Ratio de reducción
 - Consumo energético
- Aspectos de seguridad

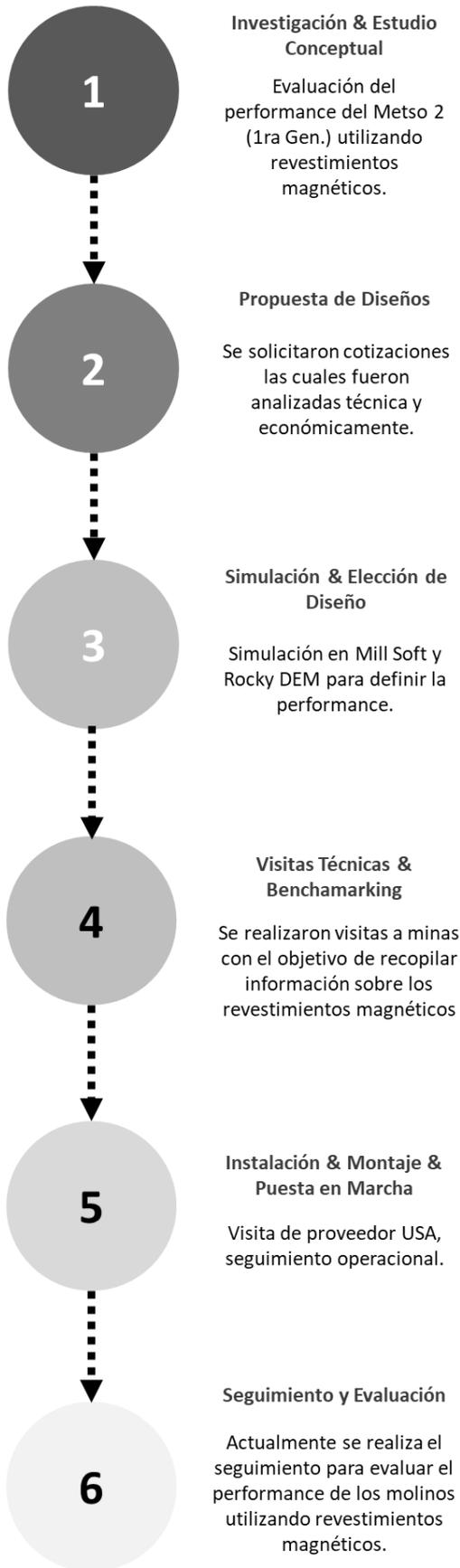


Figura 15 Hitos para instalación de revestimientos magnéticos en el molino Marcy

Fuente: Elaboración propia

3.3.7. Cronología de instalación de revestimientos magnéticos

A continuación, se muestra la línea temporal donde se llevó a cabo la instalación de los revestimientos magnéticos en los molinos del Cerro Lindo.

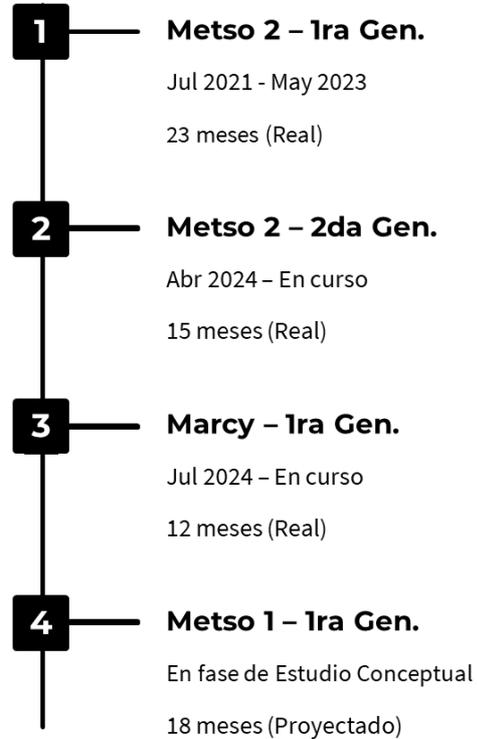


Figura 16 Línea temporal – Uso de revestimientos magnéticos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2 Características actuales de los molinos

Descripción	Unidad	Molino Marcy	Molino Metso 1	Molino Metso 2
Tipo de molino	-	Primario	Primario	Secundario
Tipo de alimentación	-	Carga Fresca + CC	Carga Fresca	CC
Dimensiones	pies	14.5 x 23.5	16.5x 24	16.5x 24
Potencia	HP	3000	4000	4000
Tipo de revestimiento	-	Magnético	Híbrido	Magnético
Peso por pieza	kg	33 - 36	170 - 280	33-36
Duración garantizada	meses	18	12	18
Tratamiento	t/h	310	522	507*
Ratio de reducción	-	13.0	17.5	-
Consumo de energía	kWh/t	6.83	5.54	5.58*

Fuente: Elaboración propia

CC: Carga circulante

* El tratamiento y consumo energético del molino Metso 2 esta en función del alimento fresco al circuito Metso, ya que, actualmente, no es posible cuantificar y/o determinar, de manera continua, esos parámetros al operar como molino secundario.

4. Presentación y discusión de resultados

El uso de los revestimientos magnéticos, según el primer estudio, presentó resultados favorables desde el punto de vista de costos, performance metalúrgico y seguridad.

Para este segundo estudio de igual manera, se dieron buenos resultados lo que valida los resultados del primer estudio.

4.1. Indicador: Costos

Beneficio económico por molino:

- Metso 2 (1ra Gen): 580,000 USD - (23 meses)
- Metso 2 (2da Gen.): 210,000 USD - (15 meses - En curso)
- Marcy (1ra Gen.): 20,000 USD (12 meses - En curso)

4.2. Indicador: Performance metalúrgico

A. Molino Metso 2 (2da Generación)

Tabla 3 Características – Metso 2

Descripción	Valor
Tipo de molino	Secundario
Dimensiones	16.5 x 24 pies
Tipo de revestimiento	Magnético
Periodo	Abr 24 - Actualmente
Duración, meses	15 (En curso)

Fuente: Elaboración propia

4.2.1. Capacidad de tratamiento

Tabla 4 Estadística descriptiva de tratamiento – Metso 2

Estadístico	Tratamiento
Promedio	497 t/h
Percentil 75	544 t/h
Percentil 50	507 t/h
Percentil 25	464 t/h

Fuente: Elaboración propia

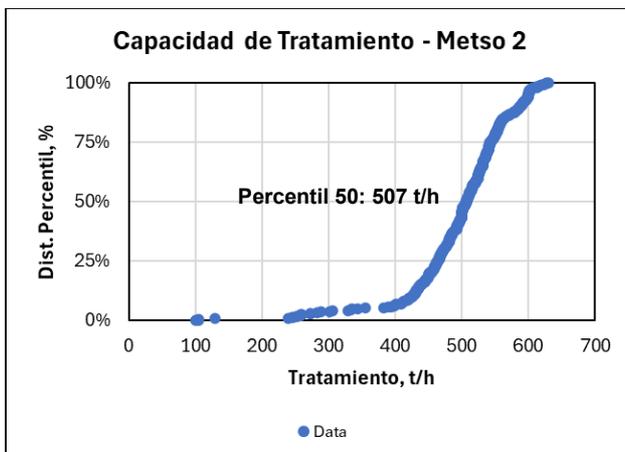


Figura 17 Distribución percentil de tratamiento – Metso 2

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Ratio de reducción

El Metso 2 al ser un molino secundario no es posible, actualmente, determinar el tamaño de alimentación al molino o F80 para poder determinar el ratio de reducción.

Sin embargo, si es posible cuantificar el valor del tamaño del producto o P80.

Tabla 5 Estadística descriptiva del P80 – Metso 2

Estadístico	P80
Promedio	386 μ m
Percentil 75	410 μ m
Percentil 50	384 μm
Percentil 25	357 μ m

Fuente: Elaboración propia

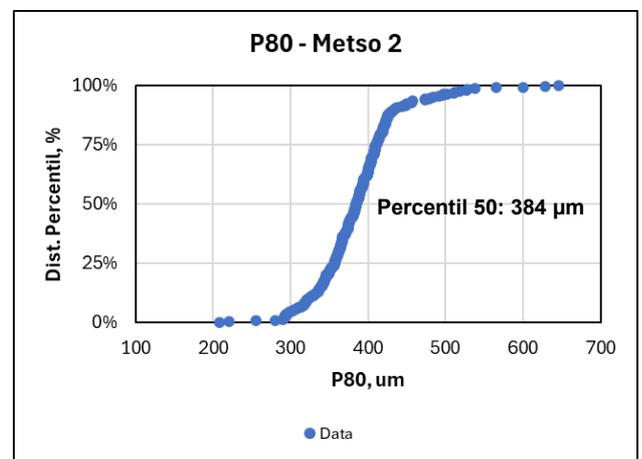


Figura 18 Distribución percentil de P80 – Metso 2

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Consumo de energía

Tabla 6 Estadística descriptiva de consumo de energía – Metso 2

Estadístico	Consumo Energético
Promedio	5.82 kWh/t
Percentil 75	6.22 kWh/t
Percentil 50	5.58 kWh/t
Percentil 25	5.12 kWh/t

Fuente: Elaboración propia

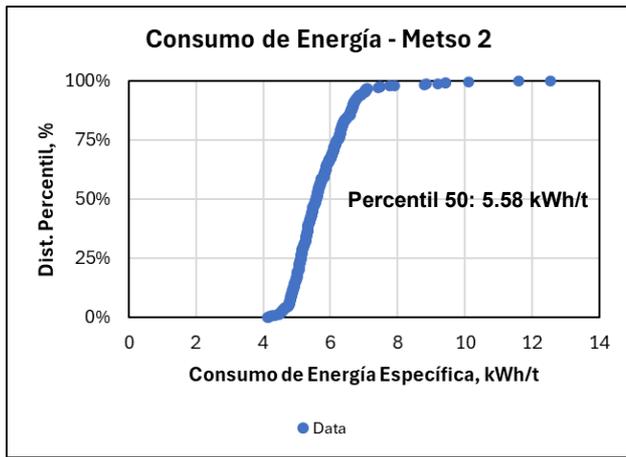


Figura 19 Distribución percentil de consumo energético – Metso 2
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se sabe que el consumo energético esta relacionado con el tratamiento teniendo como eje el tamaño del producto del molino y/o ratio de reducción. Por ende, en busca de la coherencia metalúrgica de esas variables se grafica lo siguiente:

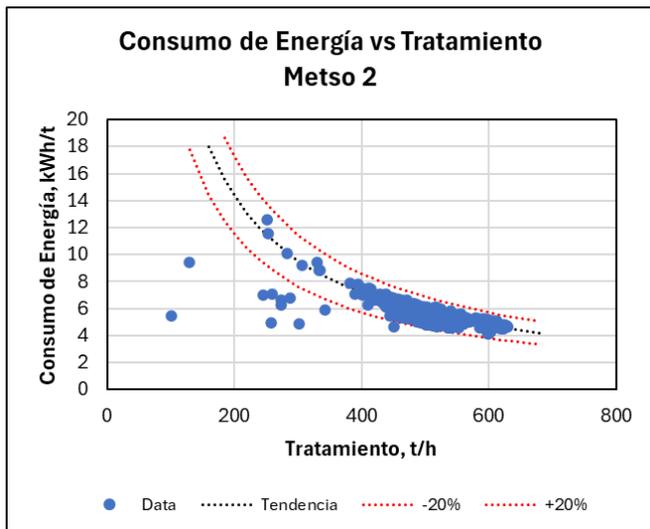


Figura 20 Relación de consumo energético vs tratamiento – Metso 2
Fuente: Elaboración propia

Como se espera, existe una relación entre el consumo energético y el tratamiento de manera inversa, esto debido a que, si se pasara mas tonelaje, mi producto P80 seria mas grueso, mi ratio de reducción se haría menor y por ende, mi consumo sería menor al obtener un producto más grueso.

Adicionalmente, se puede observar puntos fuera de los limites +/- 20%, esto debido a que, en cualquier operación, existe variabilidad mineralógica y eso conlleva a tener condiciones de operación atípicas.

B. Molino Marcy (1ra Generación)

Tabla 7 Características – Marcy

Descripción	Valor
Tipo de molino	Primario
Dimensiones	14.5 x 23.5 pies
Tipo de revestimiento	Magnético
Periodo	Jul 24 – Actualmente
Duración, meses	12 (En curso)

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Capacidad de tratamiento

Tabla 8 Estadística descriptiva de tratamiento – Marcy

Estadístico	Tratamiento
Promedio	266 t/h
Percentil 75	312 t/h
Percentil 50	283 t/h
Percentil 25	234 t/h

Fuente: Elaboración propia

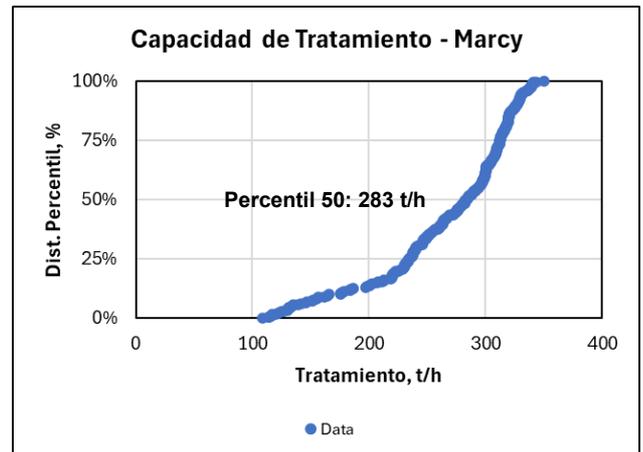


Figura 21 Distribución percentil de tratamiento – Marcy

Fuente: Elaboración propia

4.2.5. Ratio de reducción

Tabla 9 Estadística descriptiva del ratio de reducción – Marcy

Estadístico	Ratio de Reducción
Promedio	13.2
Percentil 75	16.1
Percentil 50	13.0
Percentil 25	10.7

Fuente: Elaboración propia

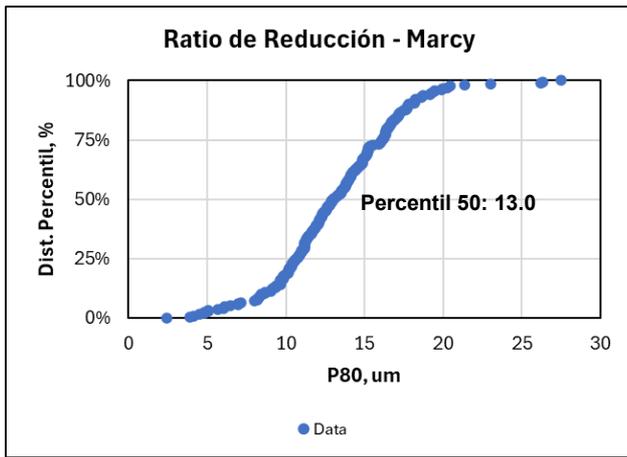


Figura 22 Distribución percentil de ratio de reducción – Marcy
Fuente: Elaboración propia

4.2.6. Consumo de energía

Tabla 10 Estadística descriptiva de consumo de energía – Marcy

Estadístico	Consumo Energético
Promedio	7.43 kWh/t
Percentil 75	8.32 kWh/t
Percentil 50	7.02 kWh/t
Percentil 25	6.38 kWh/t

Fuente: Elaboración propia

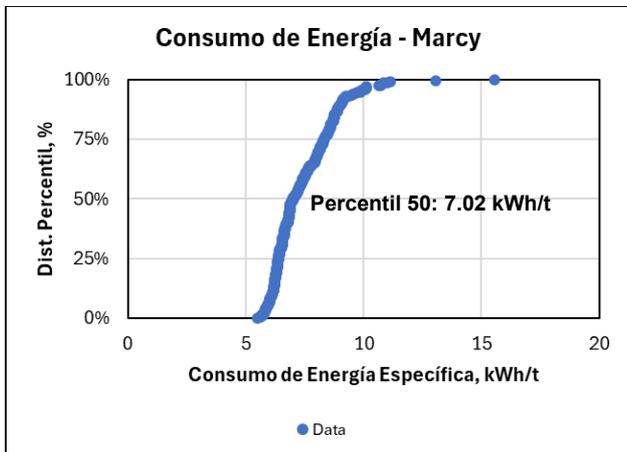


Figura 23 Distribución percentil de consumo energético – Marcy
Fuente: Elaboración propia

Aplicando el mismo análisis realizado al Metso 2, sobre la relación de consumo energético y tratamiento, vemos que también se cumple para el Marcy, mostrando coherencia metalúrgica.

De igual forma que el caso del Metso 2, se observan puntos fuera de los límites $\pm 15\%$, esto debido a la variabilidad mineralógica.

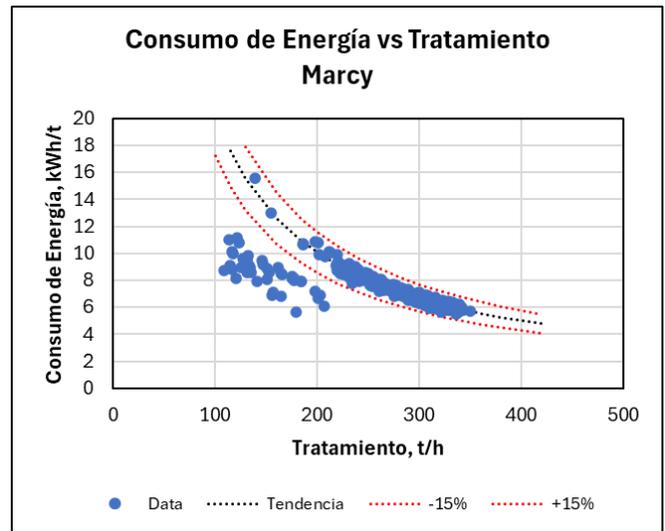


Figura 24 Relación de consumo energético vs tratamiento – Marcy
Fuente: Elaboración propia

4.3. Indicador: Seguridad

El uso de revestimientos magnéticos generó un impacto positivo en la seguridad, en la siguiente tabla se muestra un comparativo entre revestimientos metálicos y magnéticos:

Tabla 11 Comparativo: Revestimientos metálicos & magnéticos (Periodo 18 meses)

Descripción	Revestimientos metálicos	Revestimientos magnéticos	Diferencia, %
Nro. de cambios	3	1	-67%
Horas Hombre Total, h	8,748	2,592	-70%
Peso por pieza, kg	300 - 350	33 - 36	-89%
Intensidad de sonido, dB	120	90	-25%

Fuente: Elaboración propia

5. Conclusiones

- Se redujo los costos asociados a cambios y/o mantenimiento de revestimientos en los molinos mediante la implementación de la tecnología MML debido a su mayor durabilidad respecto a los revestimientos metálicos e híbridos, con esta tecnología implementada, respecto al molino Metso 2, se alcanzó un beneficio económico de 210,000 USD con 15 meses de duración de 15 meses proyectados según evaluación, y para el molino Marcy, se alcanzaría un beneficio económico de 150,000 USD con 17 meses proyectados, actualmente va 12 meses.
- Respecto al performance metalúrgico, se concluye que la implementación de revestimientos magnéticos en los molinos Metso 2 y Marcy tuvieron un buen rendimiento respecto a los revestimientos utilizados en años anteriores:

- Para el Metso 2, estadísticamente:
 - Se mantuvo el tonelaje (≈ 507 t/h).

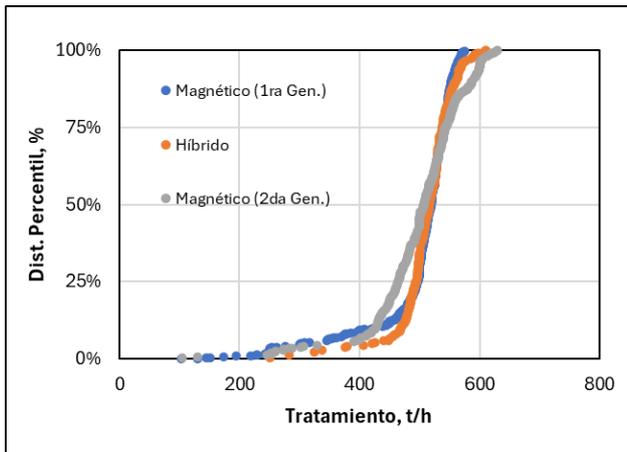


Figura 25 Comparativo de tratamiento – Metso 2
Fuente: Elaboración propia

- Se mantuvo el P80 ($< 390 \mu\text{m}$).
- Se mantuvo el consumo energético (≈ 5.58 kWh/t).

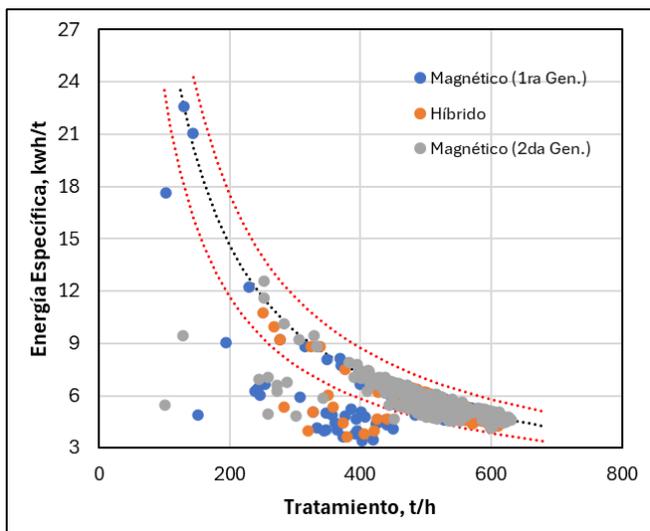


Figura 26 Comparativo de consumo energético – Metso 2
Fuente: Elaboración propia

- Para el Marcy, estadísticamente:
 - Se mantuvo el tonelaje (≈ 283 t/h).

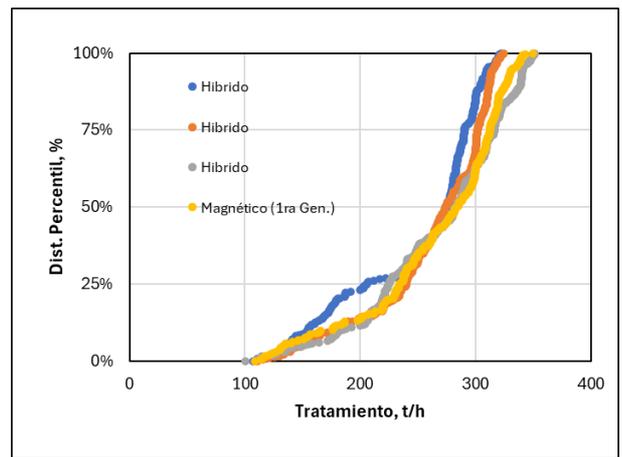


Figura 27 Comparativo de tratamiento – Marcy
Fuente: Elaboración propia

- Se incrementó el ratio de reducción (> 12.5).
- Se redujo el consumo energético (≈ 7.02 kWh/t).

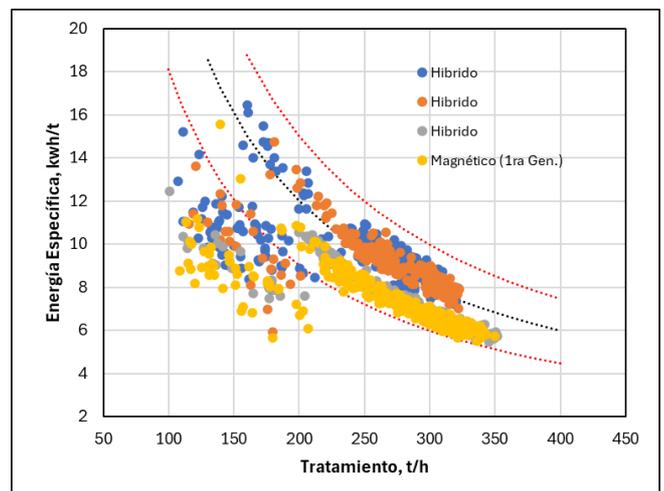


Figura 28 Comparativo de consumo energético – Marcy
Fuente: Elaboración propia

- Se redujo la probabilidad de ocurrencia de accidentes/incidentes y enfermedades ocupacionales relacionados al cambio y/o mantenimiento de los revestimientos debido a que disminuyó su frecuencia a 1, antes era 3 veces, en un periodo de 18 meses, asimismo, se redujo el ruido generado por el uso de revestimientos metálicos (≤ 90 dB), generando un ambiente de trabajo más seguro.

Adicional a las conclusiones, es preciso comentar que:

- La instalación de los revestimientos magnéticos y puesta en marcha fueron exitosas en ambos molinos.
- El uso de revestimientos magnéticos en el molino Marcy se destaca debido a que se obtuvo un incremento inicial de +50 t/h en tonelaje por mayor volumen útil y remoción de chips.

6. Recomendaciones

- Durante el arranque se debe garantizar la adición de 12 a 15 toneladas de acero (bolas y/o chatarra) de 1 a 2 pulgadas para acelerar la formación de la capa de bolas protectora, ya que la formación de esta capa puede tomar hasta 6 meses para un molino primario y 2 a 4 meses para un molino secundario.
- Para mantener el performance de molienda se debe garantizar un seguimiento operacional a las principales variables:
 - Tonelaje de alimentación
 - Tamaño de alimentación o F80
 - % Sólidos y/o densidad de pulpa
 - Nivel de bolas
 - % Velocidad crítica
 - Diámetro de bolas de recarga
 - Amperaje
 - Apertura de mallas de zarandas, etc.

7. Next Stage

- Debido al éxito alcanzado expresado en potencial económico mediante la implementación de la tecnología de revestimientos magnéticos en 2 de sus 3 molinos, es que Cerro Lindo viene realizando un tercer estudio enfocado en la implementación de esta tecnología en su tercer molino Metso 1.

8. 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, asimismo, a todo el equipo multidisciplinario por su tiempo, esfuerzo y dedicación para que el proyecto sea exitoso.
- Cerro Lindo es consciente del potencial al utilizar esta tecnología y es por ello que considera este proyecto como uno de mejores ejemplos de mejora continua e innovación.

9. Referencias bibliográficas

- Davila N. Matías C. 2019. Presentación de resultados – Informe de visita técnica. Nexa Resources – Tecnología minería Perú.
- 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. ISEM.
- Davila N. Matías C. 2023. Presentación de resultados - Informe de propuestas técnicas de revestimientos para Molino Metso 2 y Marcy. Nexa Resources – Tecnología minería Perú.
- Davila N. Matías C. 2024. Presentación de resultados - Resultados de simulaciones para Molino Metso 2 y Marcy. Nexa Resources – Tecnología minería Perú.
- Empresa proveedora. 2024. Revestimientos magnéticos para Molino Metso 2 y Marcy – Propuesta técnica.
- Davila N. Matías C. 2024. Presentación de resultados – Informe de instalación de los revestimientos magnéticos para Molino Metso 2 y Marcy. Nexa Resources – Tecnología minería Perú.

Autor:

- Nombres y Apellidos: Cesar Augusto Matías 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: Ingeniero metalurgista 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.

Coautor (1):

- Nombres y Apellidos: Bruno Pino Espinoza
- Cargo: Jefe de Procesos Metalúrgicos
- Empresa: Nexa Resources S.A.A.
- Correo electrónico:
bruno.pino@nexaresources.com
- Teléfono / Celular: 993 073 062
- Dirección: Av. Circunvalación del Golf los Incas 170, Santiago de Surco 15023
- Perfil profesional: Ingeniero metalurgista con 11 años de experiencia en el rubro minero – metalúrgico, con una maestría en Geometalurgia y un MBA, en el área de metalurgia y procesos vengo liderando proyectos de investigación y mejora continua, desde proyectos de optimización metalúrgica hasta control de procesos buscando continuamente un performance adecuado de la planta.

AUTORIZACIÓN DE PARTICIPACIÓN

Yo Cesar Augusto Matías Sinche, Gerente Corporativo de Metalurgia en Nexa Resources; autorizo que el trabajo titulado "De iniciativa a proyecto integral: La evolución de los forros magnéticos (MML) en los molinos de Cerro Lindo como una estrategia de ahorro en costos" presentado por el autor (Cesar Augusto Matías Sinche y coautor Bruno Pino Espinoza) sea presentado en el concurso del Premio Nacional de Minería del evento PERUMIN 37 Convención Minera en las fechas del 22 al 26 de setiembre del 2025 en la ciudad de Arequipa.

Firma

DNI/Pasaporte: 40451793/124745790

Fecha: 18-07-2025

Nota:

Esta autorización se entrega solo en el caso de que el participante se presente de manera independiente y el trabajo implique el desarrollo en el marco de una empresa o institución. La indicada autorización deberá ser entregada en hoja membretada.