

Metso

E-BOOK

Tres factores que determinan la vida útil y el rendimiento de los revestimientos de molinos



Introducción

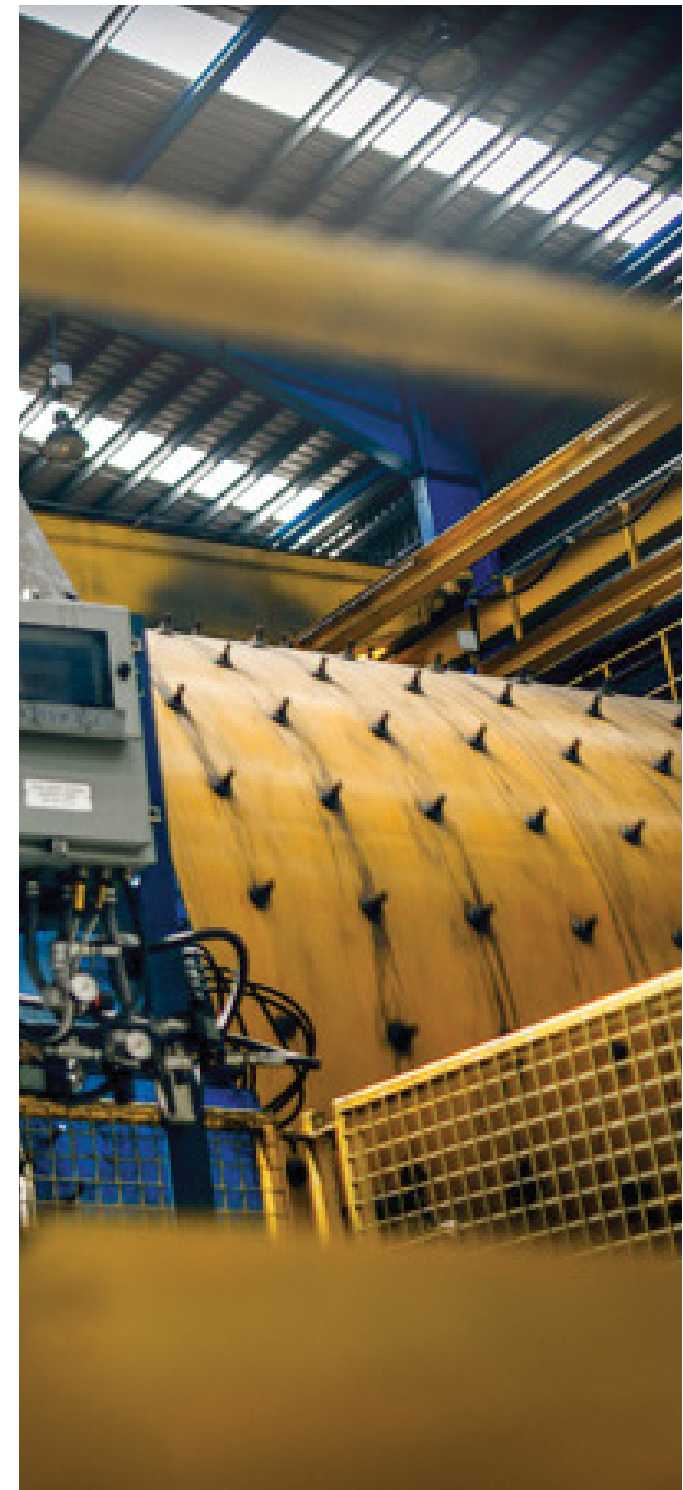
La molienda es una de las etapas clave del procesamiento en una unidad minera. Los métodos predominantes de este procesamiento son el chancado y la molienda, donde su propósito es reducir el tamaño del mineral.

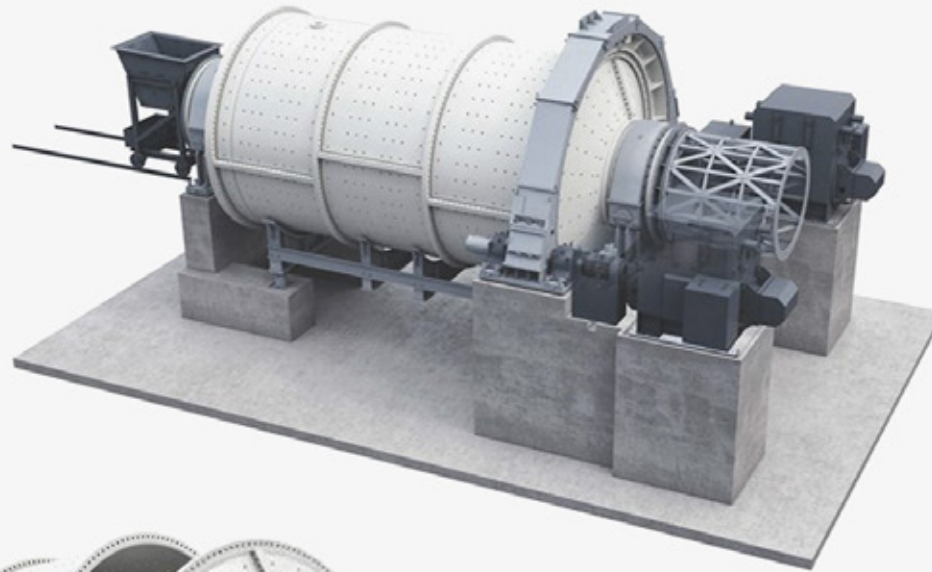
Luego del proceso de voladura, inicia la etapa de chancado, que consiste en quebrar el mineral de mayor tamaño. Posteriormente, continúa el proceso de molienda, en donde se reduce el tamaño de mineral para ser refinado con el objetivo de separar las partículas valiosas.

La molienda frecuentemente se realiza en dos etapas: molienda primaria donde se reduce el mineral de gran tamaño y luego la molienda secundaria para reducir el mineral pequeño hasta el tamaño deseado para las etapas posteriores concernientes a la recuperación. Los mecanismos de reducción que utilizan los molinos son impacto (para molienda gruesa), atricción y abrasión (para tamaños más finos). Estas fuerzas no solo quiebran la roca, sino que también someten al molino a un desgaste considerable. La aplicación de estos mecanismos de manera controlada y eficiente reduce el tamaño del mineral mientras protege el molino.

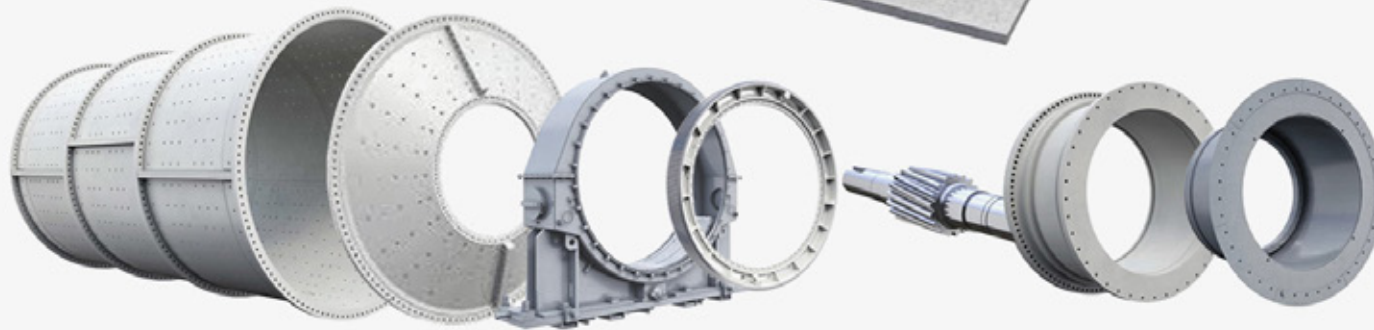


Un molino con una apropiada operación, mantenimiento y con diseños optimizados de revestimientos pueden producir el tamaño de partícula del mineral deseado sin dañar el propio molino.





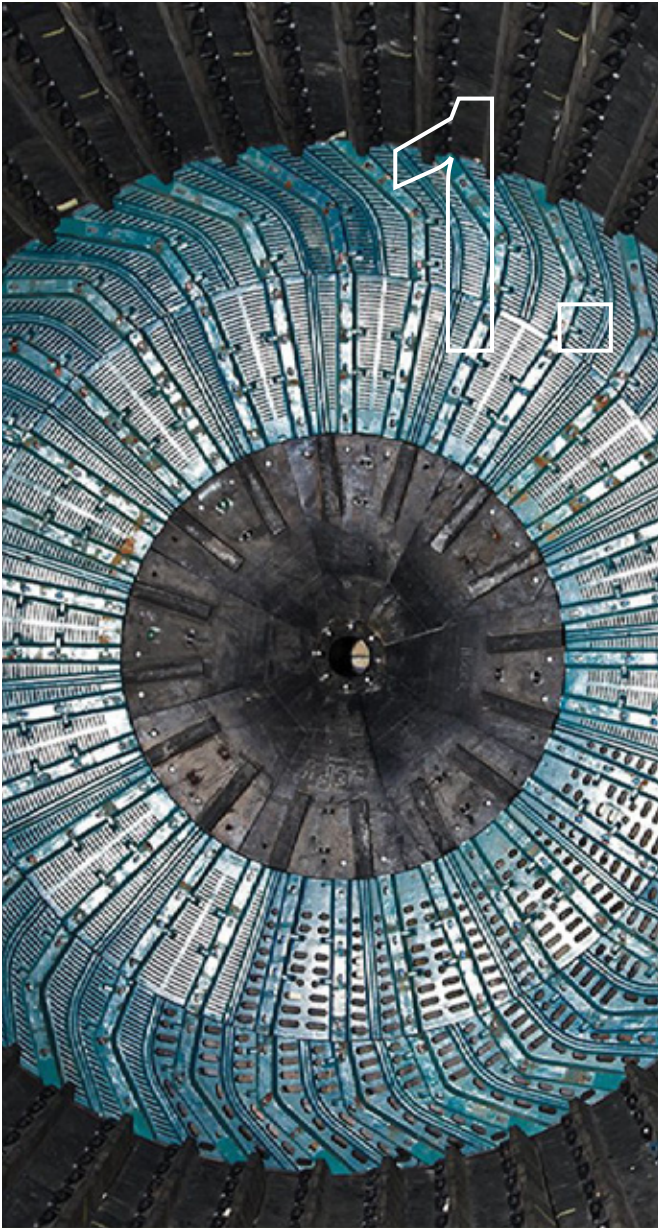
El molino es el corazón de una planta concentradora



Este e-book describe los factores que determinan la vida útil y el rendimiento de los revestimientos de molinos y cómo mantener el molino con un rendimiento óptimo.

Los molinos horizontales son el tipo más común y consiste de un casco cilíndrico impulsado por un motor, un eje de piñón y un engranaje, y gira sobre rodamientos. Los molinos modernos más grandes tienen motores envolventes sin engranajes (gearless). Las partículas grandes de mineral y los medios de molienda son alimentados al cuerpo del molino, el cual gira y crea el efecto de cascada.

Esto da como resultado la trituración del mineral, pero también afecta al molino. Un revestimiento de molino reemplazable protege el molino del desgaste al absorber impactos, esfuerzos y otras fuerzas. Los revestimientos pueden ser de caucho, metales fundidos o una combinación de ambos.



Elección del revestimiento del molino

El diseño de los revestimientos se debe optimizar para adaptarse a cada molino específico. Elegir el tipo de revestimiento y diseño apropiado en términos de material, espesor y perfil, es vital para optimizar el rendimiento del molino y los costos de molienda.

Elegir el material y el diseño de revestimiento correctos garantiza que el molino esté bien protegido. También asegura que el mantenimiento sea fácil, predecible y que se maximice el tiempo de disponibilidad del molino. La elección incorrecta podría provocar un desgaste prematuro o la fractura del revestimiento, lo que a su vez podría resultar en desgaste del cuerpo del molino y un mantenimiento no planificado.

Un aspecto igualmente importante es el rendimiento de la molienda. Un perfil de revestimiento correctamente diseñado transfiere el movimiento giratorio del molino al mineral y a los medios de molienda, generando así una dinámica de carga ideal en el molino.

Diferentes aplicaciones requieren diferentes perfiles para proveer suficientes impactos y atricción para alcanzar la molienda deseada.

Las siguientes páginas presentan varios factores que deben evaluarse para determinar el mejor diseño y materiales posibles para el revestimiento.

¡Un buen revestimiento debe desgastarse, no caerse!

The background image shows a large industrial mill, likely a ball mill, with multiple levels of grinding balls. The balls are arranged in a grid pattern, and the mill is illuminated by overhead lights. The central text box is white with a black border and contains the title and two paragraphs of text.

Tipos de molinos

Los molinos tienen diferentes formas y tamaños. Estos son particulares, con diferencias menores o mayores en la forma en que se operan, el mineral que procesa, el tipo de medio de molienda que usa y el tamaño de material que se alimenta al molino. El tipo de mineral que se procesará define el tamaño, la potencia instalada y el tipo de medio de molienda que se empleará en la molienda

Las siguientes páginas se centran en tres tipos de molinos: molinos SAG, molinos de barras y molinos de bolas.

Perfil del revestimiento



Los molinos requieren diferentes perfiles y diseños de revestimiento según el tamaño del molino, la velocidad, la carga, el nivel de carga, el tamaño de los medios de molienda, la vida útil esperada y, por supuesto, el tamaño y las propiedades del mineral, como la dureza y la abrasividad.

Molino SAG

Un molino SAG suele ser primario para moler el mineral grueso directamente de la pila que ya ha sido chancada. Dicha aplicación requiere **un perfil de revestimiento más agresivo con levantadores altos y placas intermedias relativamente delgadas**. Esto proporciona mucha tracción y eleva el material y los medios de molienda para garantizar suficiente energía de impacto y romper grandes volúmenes de mineral.

Molino de barras

Un molino de barras también es un molino primario, pero con una alimentación de mineral de tamaño más pequeño. La molienda se logra con barras de acero pesadas que giran y ruedan unas sobre otras, rompiendo las partículas de mineral atrapadas entre las barras, por lo que no es necesario un perfil agresivo. **El revestimiento debe proporcionar suficiente elevación para mover la carga**. El perfil del revestimiento es a menudo del tipo traslapado o de ondas suaves.

Molino de bolas

La mayoría de los molinos de bolas, incluso en aplicaciones primarias, tienen una alimentación de mineral de tamaño más fino; esto requiere cierto impacto, pero no lo suficiente como para aumentar el consumo de medios de molienda o incluso dañar los revestimientos. Por lo general, **el revestimiento de un molino de bolas tiene un perfil más redondeado, a menudo como una onda sinusoidal, y el tamaño de las ondas se selecciona en función del tamaño de los medios de molienda utilizados**. El objetivo es lograr una adecuada trayectoria y así asegurar que la carga sea lo suficientemente compacta para dar una alta energía de cizallamiento.

Material del revestimiento



Al igual que el perfil del revestimiento, el material que lo compondría se selecciona para adaptarse a cada molino y proceso. Los aspectos a considerar incluyen la abrasividad del mineral, el tamaño del medio de molienda, la fuerza de impacto esperada sobre el revestimiento, el entorno químico y la temperatura. Otros aspectos a tener en cuenta en la ecuación son el peso del revestimiento, el método de instalación y las preferencias del usuario.

Molino SAG

Debido a su mayor impacto, **el revestimiento tiene que ser fabricado con aleaciones de menor dureza y mayor resistencia al impacto para evitar quiebres o fracturas durante la operación normal.**

Los revestimientos híbridos, compuestos de caucho y acero, son una buena opción al igual que la gama de aleaciones más resistentes a los impactos.

Molino de barras

Como hay muy poco impacto directo en los molinos de barras, gracias al movimiento de la carga rodante, y dado que los molinos de barras rara vez tienen más de 4 metros de diámetro, **es posible utilizar aleaciones de mayor dureza, como el metal fundido en alto cromo.** Sin embargo, las varillas pueden moverse hacia los lados y actuar como arietes en los revestimientos de las tapas, por lo que estos deben ser completamente metálicos, preferiblemente de una aleación más resistente a los impactos.

Molino de bolas

En los molinos de bolas por rebose que son correctamente diseñados y operados, el cilindro está protegido por el mineral y la carga de bolas; por lo que no debería existir impactos directos entre bola y revestimiento. **Por ello, se pueden utilizar aleaciones de mayor dureza y resistentes al desgaste.** Algunos molinos de bolas están equipados con sistemas de descarga con parrilla. Esto ocasiona que no se pueda garantizar que el nivel de carga se mantenga alto y, en consecuencia, los revestimientos pueden estar expuestos a impactos, provocando quiebres. Por ello, se requieren aleaciones de menor dureza. Los revestimientos de caucho o híbridos también se usan comúnmente en molinos de bolas y funcionan bien, incluso en los molinos de mayor tamaño gracias a sus propiedades de absorción de impactos.



Desempeño del molino y sus revestimientos

Conocer las tasas de desgaste actuales e históricas, el comportamiento de desgaste y el desempeño del molino son requisitos previos para la optimización de los revestimientos.

Las zonas de mejora se pueden identificar monitoreando de cerca el desgaste del revestimiento en operación y revisando su historial de desgaste. Por lo general, ciertas zonas del molino están sujetas a más impacto o abrasión y, por lo tanto, se desgastan antes que el resto de los revestimientos, lo que genera mayores costos de mantenimiento. Optimizar el diseño, agregar material o modificar el perfil puede equilibrar la tasa de desgaste en todo el molino, eliminar el tiempo de mantenimiento no planificado y evitar daños al molino.

Un revestimiento que no se ajuste correctamente al proceso no protegerá adecuadamente al molino. Es importante inspeccionar el cuerpo del molino al reemplazar los revestimientos y ajustar el diseño si es necesario. Como las propiedades del mineral y el proceso generalmente cambian con el tiempo, no existe un diseño de revestimiento definitivo. El rendimiento debe monitorearse continuamente para garantizar que el diseño del revestimiento esté siempre optimizado para las condiciones actuales.

Predicción del desempeño del revestimiento

Tradicionalmente, ha sido difícil saber exactamente lo que sucede dentro de un molino durante la operación. Sin embargo, los últimos desarrollos en simulaciones por elementos discretos (DEM) en 3D han cambiado esto. Un modelo avanzado de progresión del desgaste puede predecir el desempeño de un revestimiento con bastante precisión, y el simulador se puede calibrar utilizando los datos de desgaste obtenidos históricamente para optimizar aún más el diseño.

Simulaciones



Los diseños de revestimiento se pueden probar para garantizar que no solo se desgasten de manera confiable y predecible, sino que también contribuyan a la eficiencia de la molienda, ahorro de energía y maximización del desempeño.

Los softwares DEM genéricos están disponibles en el mercado, pero los mejores resultados se pueden obtener con un software de simulación personalizado que utiliza algoritmos específicos creados sobre la base del conocimiento del proceso de molienda. Esto permite la identificación de posibles zonas de desgaste crítico y el desarrollo de un diseño que solucione estas.

Simulador de movimiento

Es un programa que utiliza el diseño del revestimiento actual y la información del proceso para simular el movimiento de la carga, el impacto y la energía de cizallamiento que ocurren dentro del molino. Se pueden comparar diseños de revestimientos alternativos (forma, dimensiones, volumen de materiales) para encontrar la trayectoria de carga óptima de cada molino y en diferentes condiciones de proceso.

Simulador de desgaste

El modelo de progresión del desgaste predice el desempeño del revestimiento de forma confiable y precisa, y se puede calibrar los datos de desgaste (escaneo 3D, historial de desgaste) para optimizar aún más el diseño del revestimiento. Esta información obtenida también se puede utilizar para calibrar modelos 3D DEM, y simular la progresión de desgaste de nuevos diseños.

Simulador de sistemas de descarga

Es una herramienta para estudiar el flujo y las fuerzas dentro del sistema de descarga de un molino. Permite la detección de deficiencias en el diseño, motivos de reflujo o recirculación e identificación de áreas donde las fuerzas de corte son lo suficientemente altas como para causar un desgaste excesivo. El sistema de descarga tiene un alto potencial de optimización y esta herramienta ayuda a encontrar el mejor diseño para cada equipo.

2.

Inspecciones regulares del molino

Existen distintos acontecimientos imperceptibles que pueden dañar su molino. Si se mantiene una comprensión clara del estado del equipo, se puede mejorar la planificación del mantenimiento y, de esta forma, evitar tiempos no productivos y costos no deseados.

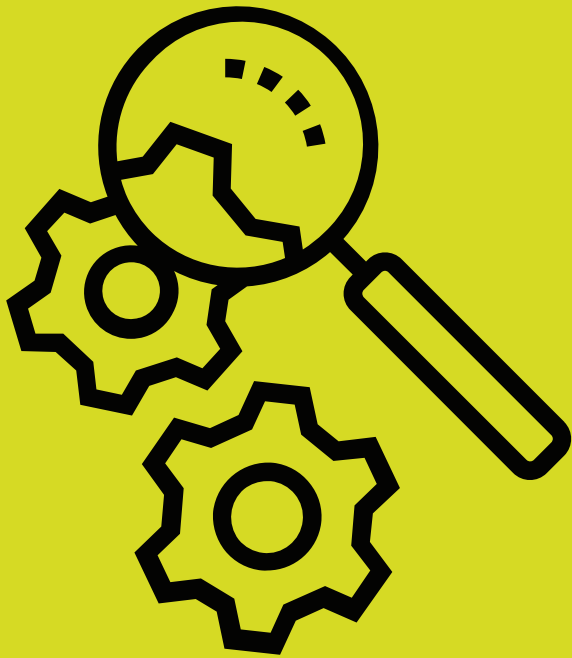
Un adecuado proceso, un diseño bueno y actualizado, y un plan de inspección correctamente programado reducen significativamente el riesgo de daños permanentes en el equipo.

El entorno al interior del molino es duro. Está sujeto a enormes fuerzas, lleno de agua, mineral duro y medios de molienda. A veces, la temperatura es alta, los valores de pH son altos o bajos, y durante el proceso hay presencia de productos químicos y cloruros. Por varias razones, los molinos a veces funcionan fuera de los parámetros operativos nominales. Esto puede someter a los revestimientos y al propio molino a mayores tensiones, impactos y corrosión.

Los molinos y los revestimientos deben inspeccionarse periódicamente utilizando las herramientas y los métodos adecuados para evitar problemas. La programación de inspección varía según el molino. Las inspecciones frecuentes son importantes cuando una nueva planta está iniciando operaciones, después de un cambio importante en el diseño o cuando la planta ha sido operada fuera de los parámetros normales; con esto, posteriormente, se podría determinar una programación más adecuada y segura para el molino.

La mayoría de los molinos se inspeccionan típicamente de 4 a 6 veces al año, pero un revestimiento con un ciclo de vida más corto puede requerir un mayor número de inspecciones.





¿Qué buscar durante una inspección de molino?

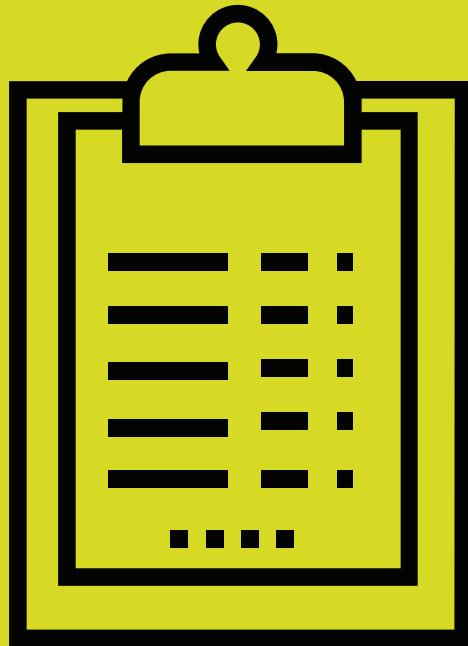
Todos los molinos son diferentes y algunos componentes pueden ser más críticos que otros. Las inspecciones periódicas permiten identificar estos componentes críticos y facilitan las inspecciones futuras.

Dentro del molino:

- Perfil restante y espesor del revestimiento
- Desgaste desigual de los revestimientos adyacentes
- Estado de las placas de la parrilla.
- Revestimientos agrietados o rotos
- Marcas de impacto o deformaciones de los revestimientos
- Espaciamiento desigual o empaquetamiento severo entre los revestimientos
- Nivel de carga y objetos extraños en el molino (inchancables, piezas de placas trituradoras, dientes de excavadora, etc.).
- Durante el cambio de revestimientos de un molino, se debe inspeccionar y reparar el backing rubber y el interior del cuerpo del molino, si es necesario.

Fuera del molino:

- Pernos del revestimiento sueltos o rotos
- Pernos rotos de las bridas del molino
- Grietas o abolladuras en el cuerpo del molino
- Accesos como Manhole con fugas.



¿Cómo inspeccionar un molino?

Hay muchos métodos para inspeccionar el revestimiento de un molino. El método utilizado depende de los requisitos y la disponibilidad del equipo de medición. Si bien en muchos casos métodos más simples resultan ser suficientes, **un escaneo 3D es la única forma de capturar toda la geometría del revestimiento del molino.**

El escáner capturará todo lo que esté por encima de la carga. La nube de escaneo 3D se puede analizar y utilizar para estudios más completos del perfil del revestimiento y para una comparación con la geometría del revestimiento original.

Las inspecciones visuales también son importantes, ya que pueden notar detalles que el escáner puede pasar por alto, como pequeñas grietas, evidencia de fuertes impactos, la forma de deformaciones y cosas que no están en la línea de visión del escáner, como accesorios, componentes del sistema de descarga y revestimientos de trunnions.

Medir los espesores de referencia de algunos revestimientos ayudará a validar el análisis de la nube de escaneo. Siempre se recomienda tomar fotografías para obtener más detalles y documentar observaciones interesantes. Los puntos de interés deben estar marcados en las fotos para una fácil identificación.

También es importante recopilar datos e información sobre el proceso y el rendimiento general del molino.

Toda esta información se puede usar para mejorar la predicción de la vida útil restante de los revestimientos para desarrollar y optimizar la próxima generación de estos, extender su vida útil para adaptarse a los ciclos de mantenimiento, minimizar el peso y el costo, y aumentar el rendimiento general del molino.



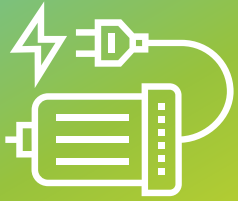
Operación del molino

La configuración del diseño y el material de un revestimiento de molino optimizado siempre se basa en hechos conocidos sobre la forma en que se opera o se operará el molino. Para garantizar que el revestimiento aporte beneficios a la operación bajo condiciones mejoradas, se debe tener control sobre las variables operacionales y deben ser revisados periódicamente durante el transcurso de la campaña. Fallar al identificar los cambios puede provocar un desgaste prematuro o incluso un tiempo de inactividad no planificado.

Es usual que los parámetros de funcionamiento cambien con el tiempo. Por ejemplo, en una mina nueva, el mineral de la superficie es suave y fácil de moler, pero gradualmente se vuelve más duro a medida que se profundiza la extracción. Los cambios en el proceso también son comunes. Cambiar los parámetros del equipo, reemplazar o agregar nuevos equipos puede conducir a una forma diferente de operar el molino.

Los cambios en las tasas de producción son frecuentes y los operadores intentan maximizar la disponibilidad de su equipo. Estos cambios podrían requerir un rediseño del revestimiento del molino; por lo tanto, se recomienda validar los datos del proceso periódicamente y siempre que haya un cambio conocido en el proceso.

Algunos de los parámetros más importantes para monitorear se enumeran en la siguiente página.



Energía necesaria para moler el mineral

Es importante monitorear los cambios en el Work Index (WI), que especifica la cantidad típica de energía necesaria para moler el mineral bajo ciertas condiciones. El consumo de energía específico real por tonelada varía según la dureza y tenacidad del mineral.



Índice de abrasión

El índice de abrasión indica qué tan abrasivo es un mineral en particular. Si aumenta el índice de abrasión, mayor será la tasa de desgaste del revestimiento. La abrasividad del mineral depende de su dureza, la cantidad de sílice en el mineral y la forma de las partículas trituradas cuando se muelen.



Throughput

Si aumenta el throughput, aumenta la tasa de desgaste por hora, ya que los revestimientos están sujetos a partículas de mineral más grandes y afiladas. Es posible que un mayor rendimiento no siempre cause una mayor tasa de desgaste por tonelada molida o un mayor costo por tonelada, pero lo más probable es que tenga que reemplazar el revestimiento antes de lo planeado.



Distribución del tamaño de la partícula

Un mineral más grueso generalmente significa un mayor desgaste. Un tamaño de alimentación más grande conduce a una vida útil más corta del revestimiento y una mala distribución del tamaño del mineral puede provocar una pérdida de eficiencia del proceso. El tamaño y la composición del medio de molienda de la carga también depende de la distribución del tamaño.



Llenado del molino o nivel de carga total

La carga de molienda (el mineral y los medios de molienda) protegen a los revestimientos del impacto directo. Si los niveles son demasiado bajos, la tasa de desgaste aumentará. Si son demasiado altos, es posible que el molino no mueva de manera eficiente.



Velocidad del molino

El perfil del revestimiento se selecciona en función de un equilibrio entre la velocidad del molino y el nivel de carga. Si la velocidad aumenta, una trayectoria de carga más alta provoca un mayor impacto en los revestimientos, aumentando potencialmente el desgaste de los revestimientos y medios de molienda. Los impactos más fuertes pueden causar que los revestimientos se rompan. Una velocidad más alta también significa un mayor consumo de energía, por lo que es deseable operar a la velocidad más baja posible que proporcione el movimiento de carga ideal.

Como se describe en este e-book, existen muchos factores que pueden influir en la vida útil y el rendimiento de los revestimientos del molino y, en última instancia, de su molino.

Eligiendo el perfil y los materiales correctos del revestimiento en función de la información validada y los datos históricos, realizando las inspecciones periódicas para monitorear el rendimiento y el estado del molino, y garantizando la estabilidad del proceso, pueden extender la vida útil de su equipo. También maximiza el tiempo de actividad del molino, ya que evita el mantenimiento no planificado, ayuda a garantizar que sea planificado y se realice de manera eficiente, y con ello no quebrar el stock de repuestos. **En resumen:** Metso le ayuda a sacar el máximo partido de su equipo, ¡y durante mucho tiempo!

Metso ofrece equipos de molienda de alta calidad y revestimientos altamente optimizados. También podemos proporcionar varios servicios especializados, incluyendo las inspecciones de desgaste en sitio. Realizamos auditorías integrales de procesos diseñadas para evaluar sus requisitos en función de sus procesos y objetivos específicos.

Contáctanos para llevar tu proceso de molienda al siguiente nivel:
www.metso.com/es/campanas/mill-lining-campaign---lleva-tu-molienda-al-siguiente-nivel/

Metso

Metso | Av. El Derby 055, Edificio Cronos, Piso 4, Surco, Lima - Perú
metso.com/pe