

Informe Technico

Mantenimiento predictivo impulsado por IA
para molinos de bolas



Visibilidad 24/7, insights impulsados por IA y soporte experto para el mantenimiento prescriptivo de equipos mineros críticos.

Publicado por MOVUS Australia Pty Ltd, 107 Milton Road, Milton, QLD 4064, Australia



[MOVUS.CL](https://www.movus.cl)

Resumen Ejecutivo

Los molinos de bolas son activos críticos en industrias de procesos como el cemento, la minería y los metales, el acero, los fertilizantes, entre otras, y son responsables de la molienda de minerales, clínker, carbón y materias primas hasta convertirlos en polvos finos esenciales para la producción. Las fallas en estos equipos pueden provocar detenciones significativas, pérdidas de producción e incidentes de seguridad.

Los molinos de bolas enfrentan desafíos particulares, como el desgaste de engranajes y piñones, fallas

de lubricación, degradación del casco y de los revestimientos, y desalineaciones bajo cargas variables. Los métodos tradicionales de mantenimiento basados en inspecciones son reactivos y, con frecuencia, no detectan señales tempranas de falla.

Este documento explica la importancia de los molinos de bolas, los desafíos asociados a su monitoreo en condiciones reales de operación, el rol de sensores avanzados y cómo PlantOS, nuestra plataforma industrial de IA, detecta fallas en etapas tempranas en molinos de bolas. Asimismo, se presentan resultados de implementación en 191 molinos de bolas monitoreados, los cuales demostraron:

- >99 % de disponibilidad de los equipos
- 2.681 horas de detención evitadas
- 20 % de reducción en el Tiempo Medio de Reparación (MTTR)
- 435 fallas tempranas detectadas y diagnosticadas

La importancia de los molinos de bolas en la industria:

1. **Cemento:** Molienda de clínker para producir cemento en polvo.
2. **Minería y metales:** Molienda de mineral para la liberación de minerales en plantas concentradoras.
3. **Fertilizantes:** Procesamiento de fosfatos y materias primas.
4. **Centrales eléctricas:** Pulverización de carbón para calderas.

Los molinos de bolas son indispensables en las industrias de procesos, y sus fallas impactan directamente la productividad y la rentabilidad de las plantas.

Desafíos en el monitoreo

Altas cargas y velocidades variables que generan esfuerzos elevados en los componentes del tren de transmisión.

Desgaste de engranajes y piñones debido a cargas elevadas y desalineación.

Degradación de revestimientos y del casco bajo condiciones altamente abrasivas.

Fallas de lubricación que pueden provocar el agarrotamiento de rodamientos.

Entornos severos con polvo, altas temperaturas y acceso restringido.

Por qué la selección del sensor es clave

- **Sensores alimentados eléctricamente** - Capturan señales de vibración, temperatura y acústica en engranajes, piñones y rodamientos.
- **Sensores inalámbricos (a batería)** - Útiles para molinos de bolas auxiliares o secciones remotas.
- **Sensores piezoeléctricos de acero inoxidable** - Garantizan durabilidad y alta sensibilidad en entornos abrasivos.
- **Sensores de torque/deformación** - Entregan visibilidad sobre variaciones de carga y eficiencia del proceso de molienda.

Seleccionar la combinación adecuada de sensores permite equilibrar costos, fidelidad de los datos y precisión diagnóstica de fallas.

Cómo PlantOS identifica fallas en etapas tempranas

PlantOS, la plataforma industrial de IA, integra datos de sensores de alta frecuencia y aplica analítica avanzada para detectar fallas desde sus primeras etapas:

- **Captura de datos:** Señales de alta frecuencia de vibración, temperatura, acústica y torque.
- **Ingeniería de características:** Extrae más de 70 características diseñadas a partir de cada conjunto de datos.
- **Modelos de IA adaptativos:** Aprenden de forma continua el comportamiento normal versus anómalo del molino bajo cargas variables.
- **Clasificación de fallas:** Identifica modos de falla como problemas de holgura en rodamientos, desalineación, fallas de lubricación, defectos en engranajes y piñones, y desgaste del casco y de los revestimientos.
- **Insights prescriptivos:** Va más allá de la detección; PlantOS recomienda la causa más probable y la intervención requerida.

Este sistema de IA en bucle cerrado reduce las falsas alarmas y genera confianza en los equipos de planta al alinear las predicciones con resultados reales en terreno.

Implementación y Resultados

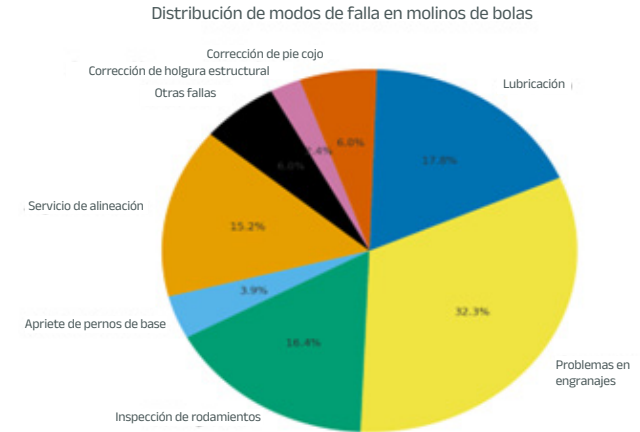
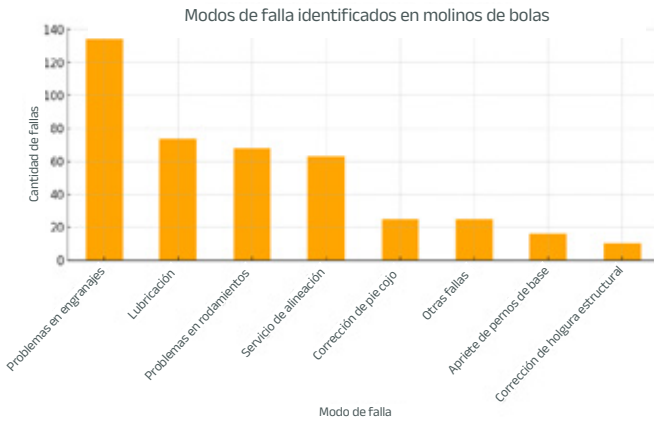
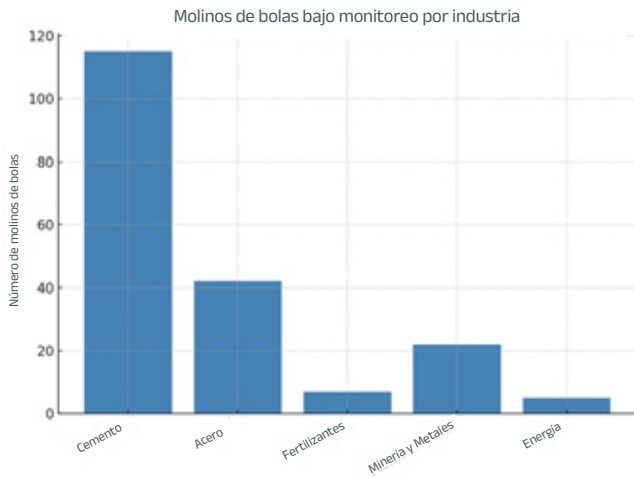
Alcance de la implementación

- Industrias: Cemento, metales, minería, fertilizantes y energía
- Molinos de bolas monitoreados: 191
- Reportes de fallas generados: 435
- Tiempo de detención evitado: 2.681 horas

Resultados clave

- Disponibilidad: >99 %
- Eficiencia de mantenimiento: reducción del 20 % en el Tiempo Medio de Reparación (MTTR)
- Seguridad: disminución de inspecciones manuales en áreas confinadas de los molinos

Visualizaciones de datos



Conclusión

Los molinos de bolas son activos de alto mantenimiento y alto impacto. Los enfoques tradicionales de mantenimiento basados en inspecciones y calendarios ya no son suficientes frente a las exigencias de la producción moderna.

El uso de sensores piezoeléctricos con cuerpos de acero inoxidable (SS) proporciona la precisión, durabilidad y robustez necesarias para operar en entornos industriales severos, al mismo tiempo que captura datos de vibración y temperatura de alta fidelidad. Al combinarse con la plataforma industrial de IA PlantOS, se garantiza

- **Detección temprana de fallas e intervenciones prescriptivas**
- **Mayor disponibilidad de los equipos**
- **Operaciones más seguras y eficientes en distintas industrias**

Nota: Los datos técnicos presentados en este documento se basan en un caso real o en parámetros de diseño y, por lo tanto, no deben utilizarse como referencia para ninguna aplicación específica ni constituyen una garantía de desempeño para ningún proyecto. Los resultados reales dependen de condiciones variables. En consecuencia, MOVUS no realiza declaraciones, garantías ni asegura la exactitud, vigencia o integridad del contenido aquí presentado. A solicitud, podremos proporcionar datos técnicos o especificaciones específicas para aplicaciones particulares de cada cliente. Nuestra empresa participa de forma constante en procesos de ingeniería y desarrollo. Por este motivo, nos reservamos el derecho de modificar, en cualquier momento, la tecnología y las especificaciones de producto contenidas en este documento.