

Estrategias de Mitigación de la Corrosión en Elementos Metálicos. Caso de Estudio. Sector Minero

Corrosion Mitigation Strategies in Metallic Elements. Case Study. Mining Sector

DOI: <https://doi.org/10.17981/bilo.7.2.2025.11>

Fecha de recepción: 17/12/2025. Fecha de publicación: 23/12/2025

Varela–Jimenez, Jose; Atencio–Bracamonte, Daniela; Fontalvo–Balcazar, Ricardo;
Angarita–Yepes, Lizleidy; Troncoso–Palacio, Alexander

Autor de correspondencia: innovacion.chm@somosgrupo-a.com

Resumen

El presente artículo aborda la problemática crítica de la corrosión en inventarios con elementos metálicos, y como la implementación de una estrategia mitigó las pérdidas en la Empresa del Sector Maquinaria Minera. La estrategia diseñada, denominada "PRESERVE", consistió en un proceso de diagnóstico selectivo, limpieza mecánica y aplicación de recubrimientos especializados (inhibidores cerosos). El desarrollo del proyecto incluyó la capacitación del personal y la adecuación de espacios de preservación dentro del almacén. Los resultados obtenidos, centrados en los periodos 2024 y 2025, demostraron una recuperación de activos superior a los \$3.200 millones de pesos colombianos, logrando un Retorno de Inversión (ROI) de 10,32 en 2024 y de 234 en 2025 validando la viabilidad financiera de la estrategia. Se concluye que la gestión preventiva de la corrosión no solo reduce costos operativos, sino que asegura la disponibilidad y confiabilidad de los repuestos críticos para la operación.

Palabras Clave: Corrosión, Preservación de Inventario, Industria Minera, Inhibidores de Corrosión, Mantenimiento Preventivo.

Abstract

This article addresses the critical issue of corrosion in inventories containing metallic elements and details how a mitigation strategy reduced losses at a Mining Machinery Sector company. The designed strategy, named "PRESERVE," consisted of a selective diagnostic process, mechanical cleaning, and the application of specialized coatings (wax-based inhibitors). The project's implementation included staff training and the adaptation of preservation spaces within the warehouse. The results, focused on the 2024 and 2025 periods, demonstrated an asset recovery exceeding \$3.2 billion Colombian pesos, achieving a Return on Investment (ROI) of 10.32 in 2024 and 234 in 2025, thus validating the strategy's financial viability. It is concluded that preventive corrosion management not only reduces operating costs but also ensures the availability and reliability of critical spare parts for operations.

Keywords: Corrosion, Inventory Preservation, Mining Industry, Corrosion Inhibitors, Preventive Maintenance.

Introducción

En el sector minero y portuario, la integridad de los activos almacenados es fundamental para la continuidad operativa. Sin embargo, las empresas del Sector Maquinaria Minera enfrentan desafíos significativos debido a su ubicación geográfica, donde la exposición a ambientes salinos, alta humedad y cambios de temperatura acelera la degradación de partes y repuestos metálicos. La problemática identificada en la Empresa en estudio reveló que los inventarios de componentes críticos, como rodamientos, culatas y sistemas hidráulicos, sufrían oxidación prematura debido a manejos inadecuados y embalajes originales (cajas de madera) que retienen la humedad durante la importación, lo que resultaba en altos costos por rechazo y reposición de materiales.

La corrosión en inventarios constituye un costo oculto que impacta directamente la rentabilidad operativa. Históricamente, la Empresa del Sector Maquinaria Minera registró pérdidas significativas debido a la baja de materiales afectados por este fenómeno. En respuesta a esta problemática, la compañía ha desarrollado y estandarizado el protocolo de preservación "PRESERVE", cuyo fin es lograr la transición de una gestión reactiva a una protección preventiva. Dicho programa se estructuró a principios de 2024 y ha sido implementado con éxito desde el segundo semestre de ese año hasta la fecha.

El propósito central de este artículo es demostrar la efectividad de esta estrategia de preservación, detallando cómo el protocolo técnico implementado logra mitigar los efectos del ambiente corrosivo, recuperar el valor de los activos y optimizar el equilibrio entre el costo de implementación y la recuperación obtenida, resultando en un alto Retorno de Inversión (ROI).

Estado del arte

La corrosión atmosférica representa uno de los desafíos más costosos para la industria global, especialmente en sectores expuestos a ambientes marinos severos. Según la normativa internacional ISO 12944-2, las zonas costeras con alta salinidad y humedad se clasifican como ambientes de corrosividad C5-M (Muy Alta Marina). En estas condiciones, la tasa de pérdida de masa en acero al carbono puede oscilar entre 200 y 1500 g/m² anuales, lo que compromete gravemente la integridad de los repuestos almacenados si no cuentan con barreras de protección adecuadas [1]. Estudios recientes de la Association for Materials Protection and Performance (AMPP) estiman que el costo global de la corrosión asciende al 3.4% del PIB mundial, destacando que entre el 15% y el 35% de este costo podría ahorrarse mediante prácticas de preservación proactivas en lugar de correctivas [2].

Para mitigar estos efectos en inventarios estáticos, la tecnología ha evolucionado desde aceites y grasas tradicionales hacia soluciones más avanzadas como los Inhibidores de Corrosión en Fase Vapor (VCI). Investigaciones publicadas en los últimos tres años demuestran que las moléculas VCI se absorben en la superficie metálica formando una capa mono molecular hidrofóbica que inhibe las reacciones anódicas y catódicas, siendo efectivas incluso en geometrías complejas donde los recubrimientos físicos no alcanzan a penetrar [3].

Adicionalmente, para componentes que requieren almacenamiento prolongado en exteriores o ambientes agresivos, el uso de sistemas a base de petróleo (Petrolatum Tapes/Pastes) se ha consolidado como una solución técnica viable. A diferencia de las pinturas epóxicas que requieren una preparación de superficie rigurosa (limpieza a metal blanco), los compuestos de petrolato poseen características humectantes y de desplazamiento de agua que permiten su aplicación sobre superficies con preparación manual mínima (ST2/ST3), proporcionando una barrera plástica permanente contra el ingreso de oxígeno y electrolitos [4], [5].

Metodología

El presente proyecto se desarrolló bajo un enfoque mixto de tipo descriptivo y experimental (Investigación-Acción), estructurado en cuatro fases secuenciales que permitieron validar la solución técnica y financiera frente a la problemática de corrosión:

Fase 1: Entendimiento y Definición del Problema (Diagnóstico) En esta etapa inicial se cuantificó el impacto real de la corrosión en la organización. Se realizó un levantamiento de información histórico analizando las bajas de inventario y los rechazos de garantías (Buy-Backs) ocurridos entre 2022 y 2023.

Fase 2: Investigación de Alternativas y Retroalimentación de Expertos. Una vez definido el problema, se procedió a la búsqueda de soluciones tecnológicas. Esta fase incluyó la consulta a literatura técnica sobre ambientes corrosivos C5-M y la interacción con especialistas para validar alternativas: Se realizaron mesas de trabajo con proveedores especializados y personal interno del centro de servicios de mantenimiento (CSM) - área de soldadura, quienes en su experticia evaluaron el estado de las piezas y seleccionaron tecnologías de protección ante agentes oxidantes.

Fase 3: Diseño del Plan de Preservación (Prototipado) Con las tecnologías definidas, se diseñó la estrategia "PRESERVE". Se establecieron los recursos necesarios, incluyendo la adecuación de un área física aislada en el almacén y la adquisición de herramientas de limpieza mecánica.

Fase 4: Ejecución, Evaluación y Testeo. Finalmente, se ejecutó una prueba piloto de un año y medio (Piloto 2do semestre 2024 y año 2025) para validar la efectividad del plan diseñado. En la figura 1 se evidencia el flujo del proceso.



Figura 1. Metodología y Flujo de proceso

Desarrollo

El punto de partida para este proyecto fue un análisis exhaustivo del estado del inventario en los periodos 2022 y 2023, el cual evidenció un aumento significativo en el deterioro por corrosión de insumos, partes y componentes. Esta situación resultó en una afectación del 2,42% de la cantidad total del inventario en 2022, la cual se duplicó, alcanzando un 6,05% en 2023. Esta escalada en la pérdida de inventario generó una alarma ante el riesgo latente de depreciación continua del patrimonio almacenado. Se identificaron dos principales causas:

- Condiciones Ambientales: Ubicación en zona de alta salinidad y humedad (Soledad/Barranquilla) sin control climático.
- Fallas en Embalaje: Uso de cajas de madera y cartón con protección durante el transporte marítimo de importación que absorben humedad y retenían contaminantes en contacto directo con el metal.

En respuesta al diagnóstico, se diseñó un "Programa de Recuperación de Activos". En el primer semestre del año 2024 se centró en la creación de capacidades instaladas, se definieron los protocolos de inspección, se adquirió el equipamiento especializado y se optimizaron los procesos administrativos de importación y reporte, lo cual generó un costo bajo con respecto al resultado inmediato de este año: la disminución de la cantidad de inventario dado de baja por oxidación en un 55% con respecto al promedio de los años 2022 y 2023, esto se tradujo en un ROI de 10,32 sirviendo como prueba de concepto (PoC) exitosa.

Ya para el año 2025, con el programa consolidado en la compañía y el equipo técnico entrenado, se enfocó en ampliar el espectro de intervención en el inventario. Se realizaron intervenciones profundas (mecánicas y químicas) sobre ítems de alto valor. Al tener la capacidad ya instalada, el costo de operación descendió en un 84% respecto a lo invertido en el año anterior, alcanzando un ROI de 234. De esta manera se logró comprobar la efectividad y rentabilidad de la Estrategia de mitigación de corrosión en el inventario, la cual se puede apreciar visualmente en la Figura 2 a continuación:

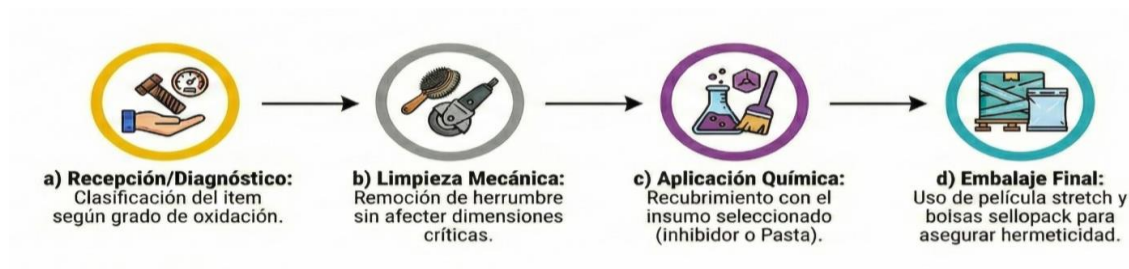


Figura 2. Protocolo de preservación

1. Recepción y Diagnóstico: El proceso inicia durante los inventarios selectivos, donde el personal realiza una inspección visual detallada para identificar materiales con signos de corrosión. Una vez detectados, los ítems son clasificados y entregados al responsable del proceso para su tratamiento inmediato.
2. Limpieza Mecánica y Preparación: Para asegurar la efectividad del tratamiento posterior, se interviene la pieza utilizando herramientas manuales especializadas (pulidoras y motortools) adquiridas para el proyecto. El objetivo es remover la oxidación superficial y limpiar la superficie sin comprometer las dimensiones críticas del componente.
3. Aplicación Química (Barreras Protectoras): Sobre la superficie preparada, se aplica el recubrimiento protector, el cual genera una reacción inmediata formando una capa tipo pasta que actúa como barrera contra la humedad.
4. Embalaje Final y Almacenamiento: Siguiendo las recomendaciones técnicas de fábrica para mitigar riesgos ambientales, se mejoraron las condiciones de resguardo. Los materiales recuperados son protegidos utilizando cajas de madera, bolsas tipo sello pack y recubrimientos con cinta stretch. Este embalaje hermético minimiza el contacto directo con agentes externos y reduce la acumulación de suciedad, asegurando la preservación a largo plazo.

Resultados

El equipo técnico logró intervenir y diagnosticar el 11,03% del universo total de inventario y aquellos materiales que, tras la evaluación técnica previa para preservar, no cumplieron con los estándares mínimos de integridad estructural, fueron sometidos a un proceso de depuración y chatarrización inmediata. Esta acción fue crítica para la operación, ya que eliminó los "activos fantasmas" (ítems que figuran en el sistema, pero no sirven) y garantiza que el 100% del inventario disponible sea funcional y confiable para mantenimiento.

La recuperación efectiva 465 ítems (430 repuestos y 35 componentes mayores) valorados por alrededor de los tres mil millones de COP, tuvo una implicación directa en el flujo de caja futuro de la empresa. Además, la tendencia decreciente en la cantidad de material desechado, con una pendiente negativa del 20%, evidencia que el protocolo de preservación está en una transición progresiva de un enfoque reactivo hacia un umbral plenamente preventivo en la mitigación de la oxidación. Desde la figura 3 hasta la figura 6 se puede evidenciar, cómo a partir de la implementación de la estrategia en el 2024, se disminuyeron las pérdidas en un 24%



Figura 3. Evolución Histórica de la pérdida de inventario, (COP)



Figura 4. Evolución Histórica de la recuperación de inventario, (COP)

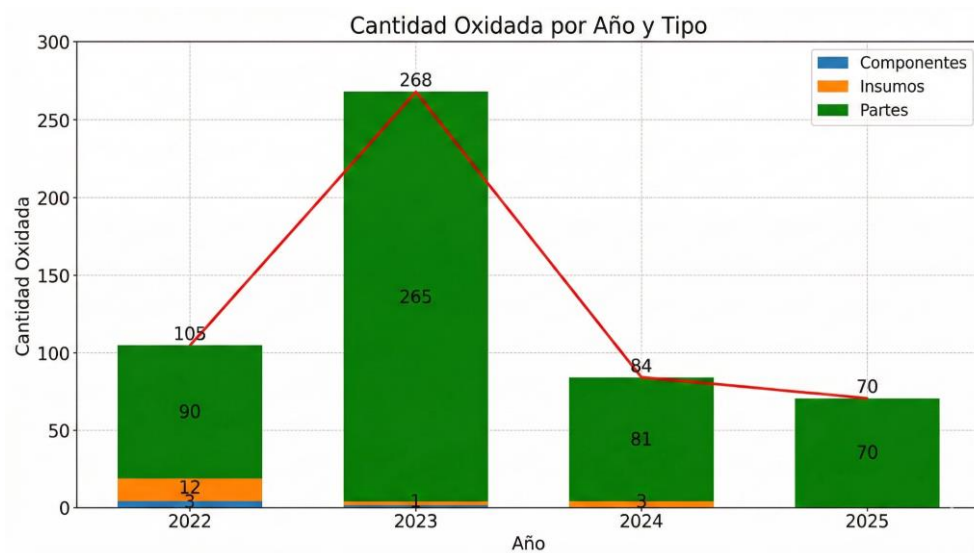


Figura 5. Evolución Histórica de la pérdida de inventario, (Unid)

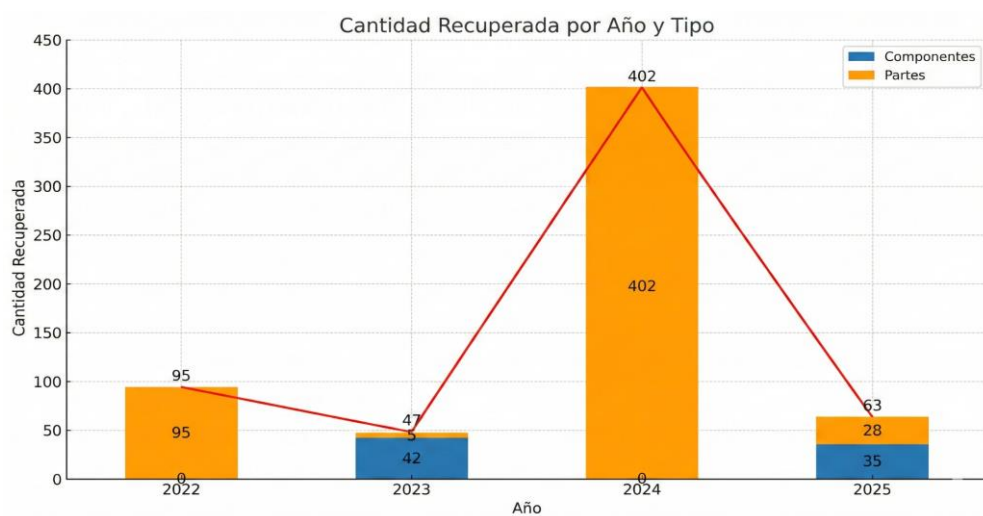


Figura 6. Evolución Histórica de la recuperación de inventario, (Unid)

Conclusiones

La ejecución del Programa de Preservación de Materiales ha permitido validar la hipótesis operativa de que la intervención técnica preventiva es significativamente más rentable y sostenible que la reposición de activos. A partir de los resultados obtenidos y la gestión documental del proyecto, se derivan las siguientes conclusiones estratégicas:

Viabilidad Financiera del Modelo de Recuperación: El análisis de costos confirma un cambio de paradigma en la gestión de activos. Frente a las pérdidas históricas acumuladas por corrosión, el proyecto demostró que es posible extender la vida útil del inventario con una inversión marginal. La relación costo-beneficio valida la continuidad del programa como un mecanismo efectivo de protección del CAPEX (inversión de capital) y optimización del OPEX (gasto operativo).

Eficacia del Protocolo Técnico Estandarizado: La implementación de un flujo de trabajo estructurado en cuatro etapas (Diagnóstico, Limpieza Mecánica, Aplicación Química y Embalaje) ha garantizado la consistencia en los resultados. La incorporación de herramientas especializadas para la preparación de superficies, sumado al uso de barreras protectoras (aplicación química), ha demostrado ser eficaz para detener el avance de la oxidación y recuperar la funcionalidad de piezas críticas.

La intervención a través de una estrategia sistemáticamente estudiada y diseñada, y el apoyo de las directivas de la compañía y entrenamiento del personal, no solo recupera valor económico, sino que sana la disponibilidad operativa del inventario. Al segregar los materiales no aptos y mejorar el embalaje de los recuperados, se asegura que el stock visible en sistema corresponda a repuestos en condiciones reales de uso, eliminando la incertidumbre en los tiempos de mantenimiento.

Referencias

- [1] International Organization for Standardization, "Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems — Part 2: Classification of environments," *ISO 12944-2:2017*, Geneva, Switzerland, 2017.
- [2] G. Koch, J. Varney, N. Thompson, O. Moghissi, M. Gould, and J. Payer, "International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study," *NACE International*, Houston, TX, Impact Study Report, 2016. [Online]. Disponible: <https://doi.org/10.4236/wjet.2025.131002>
- [3] E. M. Sherif, "Effects of exposure to marine atmospheric environments on the corrosion of different metals and alloys," *Materials*, vol. 14, no. 19, p. 5763, 2021.
- [4] A. Kean and R. Davies, "Petrolatum Tape Systems for Corrosion Protection of Steel Structures in Marine Environments," in *Corrosion & Prevention 2022 Conference Proceedings*, Newcastle, Australia, 2022.
- [5] S. A. Umoren and M. M. Solomon, "Recent developments on the use of polymers as corrosion inhibitors for metals in acid media: A review," *The Chemical Record*, vol. 24, no. 7, pp. 1605-1628, 2023.