

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**PROPUESTA DE MEJORA AL PLAN DE PRESERVACIÓN DE MATERIALES
CRÍTICOS EN MINERA ESCONDIDA BHP**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniero en MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL.

Alumno:

Ramón Andrés Flores Rabanal.

Profesor Guía:

Mg. Ing. Carlos Andrés Baldi González

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título Tesis de Postgrado

Título del trabajo: PROPUESTA DE MEJORA AL PLAN DE PRESERVACIÓN DE MATERIALES CRÍTICOS EN MINERA ESCONDIDA BHP.

Nombre del candidato(a): Ramón Andrés Flores Rabanal

Carrera / Grado: INGENIERIA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Campus: Sede Viña del Mar

Departamento: Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Carlos Baldi Gonzáles, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

6 meses 12 meses 2 años 3 años 5 años 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 06-04-2026 Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 06-04-2026 Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

RESUMEN

Keywords: Preservación de Materiales Críticos, Recomendaciones OEM, habilitación del galpón, Evaluación Económica.

La preservación de materiales críticos constituyó un factor determinante para la continuidad operacional en Minera Escondida BHP, especialmente en el caso de repuestos de alto impacto, tales como motores, bombas y cajas de cambio, que permanecían almacenados por largos periodos antes de su utilización. El problema analizado se evidenció a partir del levantamiento realizado durante la auditoría 2023 por Gerencia BHP de Australia, en el cual se identificaron 840 componentes críticos, de los cuales 448 unidades (53,3%) se encontraban almacenadas en sectores exteriores expuestos a humedad, polvo, radiación solar y variaciones térmicas, mientras que solo 392 unidades (46,7%) permanecían en bodegas interiores. Esta condición, sumada a brechas entre los procedimientos internos y las recomendaciones de los fabricantes (OEM), incrementó el riesgo de deterioro, pérdida de condición, retrabajos y fallas al momento de la instalación.

Frente a esta problemática, se desarrolló una propuesta técnico-económica orientada a mejorar el plan de preservación de materiales críticos, basada en la habilitación y adecuación de un galpón existente para almacenamiento controlado. La solución propuesta permitió reducir la exposición de repuestos críticos almacenados en exteriores mediante su consolidación en un galpón acondicionado para preservación controlada, la zonificación por familias de equipos, la incorporación de condiciones ambientales de resguardo, la estandarización de rutinas de preservación y el fortalecimiento de la trazabilidad mediante registros operacionales.

La propuesta fue evaluada desde el punto de vista técnico y económico. En términos técnicos, permitió abordar las brechas detectadas en la auditoría 2023, mejorar las condiciones de almacenamiento y reducir la exposición ambiental de componentes críticos. En términos económicos, la evaluación mediante flujo de caja a cinco años consideró una inversión inicial de 29.000 USD y arrojó un Valor Actual Neto (VAN) de 8.605 USD, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 25% y un Índice de Valor Actual Neto (IVAN) de 0,30, con un periodo de recuperación simple aproximado de 3,3 años. En consecuencia, se concluyó que la propuesta resultó técnica y económicamente conveniente, ya que fortaleció la gestión de preservación, redujo el riesgo operacional y aportó valor a la disponibilidad futura de repuestos críticos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.	1
OBJETIVO GENERAL.	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	3
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.	4
1 ANTECEDENTES GENERALES.	5
1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA WORKMATE SPA.	5
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.	6
1.3. MARCO NORMATIVO Y PROCEDIMENTAL.	8
1.3.1. Estrategia de preservación de materiales críticos de Minera Escondida BHP.	8
1.3.2. Procedimientos corporativos PRES.WIN.	8
1.4. DIAGNÓSTICO INICIAL.	10
1.4.1. Ubicación y factores climáticos.	10
1.4.2. Registros de inspecciones y cumplimiento de procedimiento.	12
1.4.3. Condiciones de los materiales almacenados.	13
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE BRECHAS	18
2. ANÁLISIS DE BRECHAS.	19
2.1. ANÁLISIS ENTRE ESTRATEGIA WIL PRESERVACIÓN Y PRES.WIN.	19
2.2. ANÁLISIS DE NORMAS.	22
2.2.1. Recomendación de almacenamiento preventivo definido por la OEM.	22
2.2.2. Realidad operativa.	23
2.2.3. Desviaciones observadas y riesgos asociados.	25
2.3. RECOMENDACIONES DE LOS FABRICANTES.	28
2.4. DISCUSIÓN ANALÍTICA Y CIERRE.	31
2.4.1. Lectura crítica.	32
2.4.2. Las 5 brechas críticas.	33
2.4.3. Cierre del capítulo 2	34
CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE LA PROPUESTA TÉCNICO-ECONÓMICA	35
3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA TÉCNICO-ECONÓMICA.	36
3.1. ENFOQUE DE LA PROPUESTA.	36
3.1.1. Contexto de las desviaciones levantadas por la Gerencia BHP operativa.	37
3.1.2. Propuesta técnico-económica como respuesta a la observación auditoría.	38
3.1.3. Enfoque principal de la propuesta.	39

3.2.	DISEÑO TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN DE PRESERVACIÓN.	39
3.2.1.	Alcance técnico y operativo de la propuesta.	40
3.2.2.	Infraestructura de almacenamiento controlado propuesta.	41
3.2.3.	Estándar de preservación técnica.	43
3.2.4.	Flujo operativo de preservación y roles.	45
3.3.	EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PROPUESTA.	47
3.3.1.	Comparación con la situación actual.	47
3.3.2.	Contribución a la integridad y continuidad operacional.	48
3.3.3.	Cumplimiento de estándares y recomendaciones OEM.	49
3.4.	EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA MEDIANTE FLUJO DE CAJA.	50
3.4.1.	Supuestos y estructura del flujo de caja.	51
3.4.2.	Flujo operativo y flujos netos de caja.	53
3.4.3.	Resultados VAN, TIR, IVAN y periodo de recuperación.	54
3.4.4.	Interpretación y conclusión económica.	56
3.5.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD Y RIESGOS DE LA PROPUESTA.	56
3.5.1.	Sensibilidad del VAN, TIR y IVAN.	56
3.5.2.	Riesgos de implementación y medidas de mitigación.	58
3.6.	SÍNTESIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS RECOMENDADA.	59
3.6.1.	Síntesis de los resultados técnicos.	59
3.6.2.	Síntesis de los resultados económico-financieros.	60
3.6.3.	Selección de alternativa y recomendaciones finales.	61
	CONCLUSIONES.	63
	RECOMENDACIONES.	65
	BIBLIOGRAFÍA.	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Resumen de las principales brechas identificadas entre la estrategia corporativa y los procedimientos PRES.WIN aplicados en terreno.

Tabla 1-2. Cantidad de materiales críticos almacenados en exterior e interior por bodega.

Tabla 1-3. Hallazgos observados y riesgos asociados a la preservación de materiales críticos.

Tabla 2-1. Comparación entre WIL Preservación y Procedimientos PRES.WIN.

Tabla 2-2. Inspección de desviaciones y riesgos en componentes visualizados en terreno.

Tabla 2-3. Recomendaciones de almacenamiento técnico dictado por los fabricantes (OEM).

Tabla 2-4. Las 5 brechas críticas (cola de pescado → terreno → inversión).

Tabla 3-1. Flujo de caja de la propuesta de habilitación y adecuación del galpón de almacenamiento.

Tabla 3-2. Resultados de análisis de sensibilidad de la propuesta.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Logo de la empresa contratista Workmate SpA.

Figura 1-2. Respaldo de la no conformidad levantada por auditoría Gerencia BHP Australia (Correo de no conformidad, 2023)

Figura 1-3. Causas de no conformidad en preservación de los materiales críticos.

Figura 1-4. Ilustración de almacenamiento en patios exteriores de bodega planta.

Figura 1-5. Ilustración de almacenamiento en patios exteriores W9, 3000 y 900.

Figura 1-6. Ilustración de almacenamiento en terreno de un motor.

Figura 1-7. Ilustración de almacenamiento en terreno de una bomba.

Figura 1-8. Ilustración de almacenamiento en terreno de una caja de cambio.

Figura 2-1. Diagrama de flujo del proceso de toma de decisiones en preservación de materiales críticos.

Figura 2-2. Prueba de aislación eléctrica en terreno.

Figura 2-3. Giro de eje motor en terreno.

Figura 2-4. Cambio de desecantes en componente reductor hidráulico

Figura 2-5. Ilustración de un motor respaldando las desviaciones reales en terreno.

Figura 2-6. Logotipos de fabricantes OEM considerados en el estudio.

Figura 3-1 Propuesta de layout del galpón de preservación.

Figura 3-2. Diagrama de flujo operativo de preservación.

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS

OEM:	Original Equipment Manufacturer (Fabricante equipamiento original).
BHP:	Broken Hill Proprietary.
WIL:	Work Instructions Line (Estrategia de preservación corporativa).
PRES.WIN:	Procedimientos operativos de preservación aplicados a equipos críticos.
SAP:	Systems, Applications and Products (Sistema de gestión de activos).
HR:	Humedad relativa.
IPM:	Inspección mantenimiento preventivo.
CAPEX:	Capital Expenditure (inversión).
OPEX:	Operating Expenditure (costos de operación).
VAN:	Valor Actual Neto.
TIR:	Tasa Interna de Retorno.
IVAN:	Índice de VAN (VAN / inversión).
OCF:	Operating Cash Flow (flujo operativo de caja).
USD / CLP:	Dólares / Pesos.
LOTO:	<i>Lock Out / Tag Out</i> — Bloqueo y etiquetado de energías
PMI 12M:	Inspección de mantenimiento preventivo cada 12 meses (frecuencia anual).
PR:	(Purchase Requisition) = <i>Solicitud de compra</i> .
PO:	(Purchase Order) = <i>Orden de compra</i> .
P:	Índice de Prioridad (o <i>Índice de Prioridad de intervención</i>).
Vrms:	<i>Volts RMS</i> — Voltaje eficaz (valor RMS de tensión alterna).

INTRODUCCIÓN

La gestión de repuestos críticos constituye un aspecto estratégico para la continuidad operacional de la industria minera, debido a que estos componentes cumplen una función clave en la disponibilidad de los activos y en muchos casos, presentan altos costos de reposición, largos plazos de importación y recursos limitados en el mercado. En Minera Escondida BHP, la preservación de estos materiales resulta especialmente relevante, ya que su condición durante el almacenamiento influye directamente en la disponibilidad futura de componentes críticos como motores, bombas y cajas de cambio al momento de ser requeridos por la operación.

Sin embargo, el proceso actual de preservación presenta brechas que afectan su eficacia. Si bien las actividades se ejecutan bajo lineamientos corporativos estandarizados, estos se han concentrado principalmente en inspecciones anuales y acciones de preservación general, sin incorporar de forma sistemática las recomendaciones específicas de los fabricantes (Original Equipment Manufacturer, OEM) para cada familia de componentes. A ello se suma la existencia de condiciones de almacenamiento no controladas en distintas ubicaciones, con exposición a humedad, polvo, viento, radiación solar y variaciones de temperatura, factores que pueden acelerar el deterioro de materiales mantenidos en condición de respaldo.

La magnitud del problema fue evidenciada en el levantamiento realizado en abril de 2023. De un universo de 15.000 materiales almacenados, se identificaron 840 materiales críticos, de los cuales 448 unidades, equivalentes al 53,3%, se encontraban almacenadas en patios o sectores exteriores, mientras que solo 392 unidades, correspondientes al 46,7%, permanecían en bodegas internas. A nivel de ubicación, Bodega Planta concentró 224 componentes en exterior, Bodega Laguna Seca 100 componentes, Bodega Coloso 88 componentes y Bodega Mina 36 componentes. Esta situación reveló que más de la mitad del inventario crítico se encontraba expuesto a condiciones desfavorables de almacenamiento. Esto incrementa el riesgo de deterioro, fallas al montaje y retrabajos, afectando directamente la disponibilidad operativa. Desde una perspectiva económica, esta condición también incrementó la exposición a costos evitables, tales como reacondicionamientos, reposiciones prematuras, compras de emergencia y mayores tiempos de respuesta ante contingencias operacionales.

En este contexto, la problemática no se limitó únicamente a una desviación de almacenamiento, sino que representó una brecha con implicancias directas sobre la

integridad de los repuestos críticos y sobre la eficiencia de la gestión de activos. La ausencia de infraestructura especializada, la dispersión de componentes en distintas áreas, la aplicación parcial de criterios técnicos de preservación y la limitada trazabilidad del proceso redujeron la capacidad del sistema actual para asegurar que los repuestos conservaran sus condiciones funcionales durante periodos prolongados de almacenamiento.

Frente a este escenario, se hizo necesaria una solución que no solo mejorara las condiciones físicas de almacenamiento, sino que también permitiera reducir riesgos operacionales y económicos asociados a la preservación deficiente de materiales críticos. En respuesta a ello, el presente trabajo propuso una mejora al plan de preservación mediante la habilitación y adecuación de un galpón existente para almacenamiento controlado. La propuesta consideró la consolidación de componentes actualmente dispersos, la zonificación por familias de equipos, la incorporación de condiciones ambientales de mayor resguardo, la estandarización de rutinas de preservación y el fortalecimiento de la trazabilidad del proceso mediante registros operacionales y apoyo en SAP como herramienta de control.

Complementariamente, la propuesta fue evaluada desde una perspectiva técnica y económica, con el propósito de determinar su factibilidad y su aporte a la organización. Para ello, se analizaron los beneficios asociados a la reducción de exposición ambiental, la mejora en la conservación de componentes críticos y la disminución esperada de pérdidas evitables por deterioro, retrabajos y compras de emergencia. De esta manera, la investigación vinculó una problemática operacional cuantificada con una propuesta concreta de mejora, orientada a fortalecer la capacidad de uso futura de los repuestos críticos, disminuir riesgos para la operación y aportar valor técnico y económico a la gestión de activos de Minera Escondida BHP

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta técnico-económica para la preservación de materiales críticos almacenados en bodegas de Minera Escondida BHP, orientada en un diseño de condiciones controladas (calefaccionadas, áreas energizadas y control a factores climáticos) que aseguren su integridad y disponibilidad operativa durante su periodo de almacenaje.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las condiciones actuales de los materiales críticos en bodegas y patios de Minera Escondida BHP, mediante inspecciones en terreno y revisión de registros, señalando deficiencias que afecten la integridad de los componentes críticos.
- Comparar los procedimientos de preservación vigentes con las recomendaciones de los fabricantes (OEM), a través del análisis técnico de manuales y observaciones en terreno, identificando brechas y riesgos asociados al almacenamiento.
- Diseñar una propuesta técnico-económica que incorpore condiciones controladas de almacenamiento según los lineamientos de OEM y corporativos, optimizando la preservación y disponibilidad de los materiales críticos.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.

1. ANTECEDENTES GENERALES.

En el presente capítulo se presentan los antecedentes generales que contextualizan el desarrollo del estudio, considerando la empresa ejecutora, el entorno operacional y las condiciones actuales asociadas a la preservación de materiales críticos.

1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA WORKMATE SPA.

Workmate SpA es un holding chileno con más de veinte años de experiencia en la industria de servicios, especializado en la gestión de soluciones laborales y logísticas. Su modelo de trabajo se basa en la co-creación de soluciones orientadas a apoyar sectores estratégicos como minería, energía y manufactura, integrando soporte operacional, conocimiento técnico y servicios especializados acordes a los requerimientos de cada cliente. (Workmate, 2002).

En Minera Escondida BHP, Workmate SpA realiza labores como empresa contratista vinculadas a la administración y soporte operacional de bodegas donde se almacenan materiales y repuestos críticos. Dentro del servicio brindado, cuenta con personal técnico encargado de ejecutar actividades de preservación, inspecciones preventivas y registros operacionales sobre equipos almacenados en distintas áreas, contribuyendo a mantener su disponibilidad frente a los requerimientos del cliente.

En el marco del presente estudio, el rol de Workmate SpA se vinculó a la ejecución de actividades de preservación para el cliente Minera Escondida BHP, bajo lineamientos definidos por la Gerencia de BHP. Por ello, la propuesta de mejora desarrollada en este trabajo se orientó directamente a las condiciones y estándares aplicados en bodegas administradas para BHP, sin evaluar la gestión interna global de la empresa contratista.



Fuente: Sitio web corporativo de Workmate SpA, 2025.

Figura 1-1. Logo de la empresa contratista Workmate SpA.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

La preservación de materiales críticos es un aspecto clave dentro de la gestión de activos de Minera Escondida BHP, ya que se trata de repuestos de alto costo y difícil reposición cuya disponibilidad asegura la continuidad operacional de equipos estratégicos. Debido a estos factores, la compañía ha definido estándares corporativos orientados a mantener las condiciones de almacenamiento controladas y ejecutar inspecciones periódicas que aseguren la eficiencia de dichos repuestos críticos.

Sin embargo, durante la auditoría realizada en marzo 2023 por la gerencia de Warehouse Minera Escondida, en conjunto con la gerencia corporativa de BHP de Australia, se evidenciaron brechas en el cumplimiento, relacionadas a la ausencia de un equipo técnico especializado en tareas de mantenimiento preventivo en el área de bodegas. Esta observación evidenció deficiencias en el cumplimiento corporativo y de estrategias de preservación de los repuestos críticos definida por la compañía.

La Figura 1-2. presenta evidencia documental interna asociada a observaciones levantadas durante la auditoría, en la que se solicita reforzar el soporte técnico para la ejecución de actividades de preservación en bodegas.

Ramón:

Junto con saludar, informo que durante la auditoría realizada en marzo de 2023 por parte de la **gerencia de Warehouse Escondida**, en conjunto con la **gerencia correspondiente de BHP en Australia**, se identificó una **no conformidad** relacionada con la ausencia de un equipo técnico destinado a la ejecución de tareas de mantenimiento preventivo en el área de Warehouse.

De acuerdo con lo levantado, se estableció la necesidad de contar con un equipo técnico que cumpla las siguientes funciones:

- Realizar levantamiento y análisis de preservación de materiales considerados críticos.
- Ejecutar reparaciones de materiales según su nivel de criticidad.
- Coordinar mantenciones programadas de materiales y/o equipos.

Como resultado de esta observación, se solicitó a la empresa **Workmate SPA** el cumplimiento de este requerimiento, con el objetivo de dar una respuesta efectiva y cerrar esta brecha levantada durante la auditoría.

Gracias.

Saludos.

ESCONDIDA | BHP

Viviana Rojas Herrera
 Coordinator Warehouse
 W&I Operations Minera Escondida Ltda
viviana.rojas1@bho.com
 M +56972146235
 Avenida de la Minería 501 Antofagasta- Chile

Fuente: Correo de respaldo por Viviana Rojas (Coordinator Warehouse), 2023.

Figura 1-2. Respaldo de la no conformidad levantada por auditoría Gerencia BHP Australia (Correo de no conformidad, 2023).

Esta evidencia respalda que las brechas detectadas no solo fueron observadas en terreno, sino también reconocidas a nivel de gestión operativa, reforzando la necesidad de implementar mejoras en el sistema de preservación.

Como resultado de la auditoría, se evidenció materiales críticos con signos de degradación al momento de ser requeridos:

- Corrosión en superficies metálicas.
- Pérdida de lubricación en componentes móviles.
- Empaques deteriorados por factores climáticos.
- Daños en sus cajas de conexión eléctrica.

Estas condiciones no solo implicaban un riesgo para la disponibilidad de los repuestos, sino que además generan impactos operacionales y contractuales, al comprometer el cumplimiento de los estándares de preservación exigidos por la gerencia corporativa de BHP.



Fuente: Elaboración propia, basada en auditoría interna BHP Australia, 2023.

Figura 1-3. Causas de no conformidad en preservación de los materiales críticos.

En síntesis, la auditoría evidenció que la preservación de repuestos críticos en Minera Escondida BHP presenta deficiencias originadas en infraestructura, procedimientos, clima, recursos humanos y materiales, según se resume en la Figura 1-3. La lectura conjunta de estos factores permitió establecer que la problemática no respondió a una causa aislada, sino a un conjunto de brechas interrelacionadas que afectaban el desempeño global del sistema de preservación. En este contexto, la exposición ambiental, la falta de infraestructura adecuada, la ejecución parcial de procedimientos y las debilidades de control incrementaban el riesgo de deterioro y pérdida del estado operativo

de los repuestos críticos durante su almacenamiento. A fin de comprender mejor las exigencias actuales y los estándares a los que deben alinearse estas prácticas, en la siguiente sección se revisa el marco normativo y procedimental que regula la preservación de materiales críticos en la compañía.

1.3. MARCO NORMATIVO Y PROCEDIMENTAL.

Actualmente las actividades de preservación realizadas por el equipo técnico en bodega de Minera Escondida BHP se sustentan en dos fuentes principales.

1.3.1. Estrategia de WIL Preservación de materiales críticos de Minera Escondida BHP. (Estrategia WIL Preservación, 2023)

- Establece la necesidad de inspecciones trimestrales.
- Gestiona el stock crítico en SAP con trazabilidad.
- Define lineamiento de preservación preventiva, orientados en evitar la degradación de componentes sensibles al ambiente.

1.3.2. Procedimientos corporativos PRES.WIN.

- PRES.WIN.004 versión 01 - 2023: Motores y cajas de cambio. (PRES.WIN 004 , 2023).
- PRES.WIN.005 versión 01 - 2023: Mecánico. (PRES.WIN 005, 2023).
- PRES.WIN.006 versión 01 - 2023: Eléctricos (PRES.WIN 006, 2023).

Estos procedimientos definen la ejecución de inspecciones anuales (PMI 12M), que incluyen tareas específicas como:

- Verificación de embalajes y protecciones anticorrosivo.
- Reemplazo de desecantes.
- Rotación de ejes en motores y cajas de cambio.
- Pruebas de aislamiento eléctrico.
- Aplicación de inhibidores de corrosión.

Si bien estos procedimientos corporativos establecieron actividades técnicas relevantes para la preservación de materiales críticos, su aplicación en terreno se enfocó

principalmente en inspecciones anuales y en tareas específicas por familia de componentes. En consecuencia, su ejecución no aseguró por sí sola el cumplimiento integral de los lineamientos definidos por la estrategia WIL, particularmente en lo relativo a frecuencia de inspección, trazabilidad en SAP e integración del control preventivo sobre la totalidad del stock crítico.

Tabla 1-1. Resumen de las principales brechas identificadas entre la estrategia corporativa y los procedimientos PRES.WIN aplicados en terreno.

Aspecto	WIL Preservación BHP	Procedimientos PRES.WIN	Brecha Identificada a mejorar.
Frecuencia	Inspecciones trimestrales	Inspecciones anuales (PMI 12M)	Estrategia solicita mayor frecuencia que la aplicada en terreno
Alcance	Lineamientos generales de preservación para todo material crítico	Tareas específicas según tipo de componente (mecánico, eléctrico, motores/cajas)	Falta de integración entre estrategia general y ejecución práctica
Control	Gestión en SAP y auditorías periódicas	Checklists técnicos por familia de componentes	Registros dispersos, dificultad en trazabilidad
Objetivo	Reducir riesgo de degradación ambiental	Mantener estado básico de los repuestos	Inspecciones anuales insuficientes para condiciones climáticas extremas

Fuente: Elaboración propia, acciones por procedimiento entre estrategia BHP y PRES.WIN, 2023.

La Tabla 1-1 evidenció que las principales brechas entre la estrategia corporativa y los procedimientos aplicados en terreno se concentraron en cuatro dimensiones:

- **Frecuencia:** Se observó una diferencia relevante entre las inspecciones trimestrales exigidas por la estrategia WIL y las inspecciones anuales definidas en los procedimientos PRES.WIN, lo que reducía la capacidad de detección temprana de desviaciones durante el almacenamiento.
- **Alcance:** La estrategia corporativa planteó lineamientos generales para todo el material crítico, mientras que la aplicación en terreno se estructuró mediante tareas específicas por familia de componentes, generando una integración parcial entre el enfoque estratégico y la ejecución práctica.
- **Control:** La dimensión de control mostró debilidades en la trazabilidad, debido a la dispersión de registros y al uso de checklist por familia, sin una articulación completa con el seguimiento integral del stock crítico.

- Objetivo: Se evidenció que las inspecciones anuales resultaban insuficientes frente a condiciones climáticas extremas, limitando la capacidad del sistema para reducir efectivamente el riesgo de degradación ambiental.

En conjunto, estas brechas confirmaron que el problema no radicaba únicamente en la existencia de procedimientos, sino en la falta de alineamiento integral entre estrategia, ejecución y control del proceso de preservación.

1.4. DIAGNÓSTICO INICIAL.

La ubicación de almacenamiento se entendió como la condición espacial en que permanecían los materiales críticos dentro de bodegas, patios o sectores abiertos de Minera Escondida BHP. Esta variable resultó relevante, ya que la exposición del componente a condiciones ambientales no controladas incidía directamente en su conservación física y funcional durante periodos prolongados de almacenamiento. Entre los principales factores ambientales identificados se encontraron humedad, polvo en suspensión, corrientes de aire y variaciones de temperatura, todos ellos con potencial de afectar superficies metálicas, embalajes, sellos y componentes eléctricos sensibles.

1.4.1. Ubicación y factores ambientales.

Las inspecciones en terreno efectuadas en los distintos patios de almacenamiento y bodegas, permitieron identificar que la ubicación de resguardo y la exposición a condiciones ambientales no controladas representan una brecha significativa en la preservación de materiales críticos, debido a que pueden afectar su integridad física e incrementar el riesgo de deterioro durante períodos prolongados de almacenamiento

- Se identificó que algunos repuestos críticos de gran tamaño, tales como motores y cajas de cambio, se encontraban almacenados en patios abiertos o en bodegas sin control climático. Esta condición aumentaba su exposición a humedad, polvo, radiación solar y variaciones térmicas, disminuyendo el nivel de resguardo requerido para componentes destinados a permanecer largos periodos en condición de respaldo.
- En distintas ubicaciones se observó exposición a humedad, polvo y corrientes de aire, factores que podían favorecer procesos de corrosión en

superficies metálicas, deterioro de empaques, pérdida de hermeticidad en sellos y contaminación de zonas sensibles del componente. Estas condiciones resultaban especialmente críticas en materiales que debían conservar su integridad por periodos prolongados antes de entrar en servicio.

- En el caso de materiales eléctricos, si bien muchos se mantenían en embalajes OEM, se observó ausencia de sistemas de calefacción conectados o de control de temperatura en almacenamiento prolongado. Esta situación representaba una brecha relevante, ya que el embalaje por sí solo no aseguraba el control de condensación, humedad interna ni la preservación integral de componentes eléctricos sensibles.

Las Figuras 1-4 a 1-5 presentan evidencia visual de las condiciones de almacenamiento observadas en terreno, permitiendo constatar la exposición de materiales críticos a ambientes no controlados y respaldando el diagnóstico asociado a ubicación y factores ambientales.



Fuente: Elaboración propia, Imagen Google Maps, 2023.

Figura 1-4. Ilustración de almacenamiento en patio exteriores de bodega Planta.



Fuente: Elaboración propia, Imagen Google Maps., 2023

Figura 1-5. Ilustración de almacenamiento en patio exteriores W9, 3000 y 900.

Las imágenes evidenciaron almacenamiento en sectores expuestos y sin control ambiental, condición que incrementa el riesgo de degradación y refuerza la brecha entre la práctica actual y los lineamientos de preservación.

1.4.2. Registros de inspecciones y cumplimiento de procedimiento.

Los registros de inspección y el cumplimiento de procedimiento constituyeron un foco relevante del diagnóstico, ya que permitieron evaluar no solo la ejecución de actividades técnicas de preservación, sino también su frecuencia, trazabilidad y grado de alineamiento con la estrategia corporativa vigente. Para ello, se revisaron los procedimientos PRES.WIN aplicables a materiales críticos y los antecedentes disponibles sobre las inspecciones efectuadas en terreno.

- El equipo de preservación ejecutaba actividades definidas en los procedimientos corporativos PRES.WIN (004, 005 y 006), tales como reemplazo de desecantes, rotación de ejes y pruebas de aislamiento eléctrico. No obstante, dicha ejecución correspondía principalmente al cumplimiento de tareas técnicas específicas y no aseguraba, por sí sola, el cumplimiento integral de la estrategia corporativa de preservación, especialmente en lo referido a frecuencia de inspección, trazabilidad y control continuo del almacenamiento.

- Se constató que estas inspecciones eran de carácter anual (PMI 12M), mientras que la estrategia corporativa establecía la necesidad de inspecciones trimestrales. Esta diferencia generaba una brecha relevante en la frecuencia de control, reduciendo la capacidad de detectar oportunamente desviaciones asociadas a deterioro, pérdida de condición o deficiencias en el almacenamiento prolongado de materiales críticos.
- Asimismo, se identificaron registros incompletos en SAP y, en algunos casos, limitaciones en la trazabilidad de las actividades de preservación ejecutadas. Esta situación dificultaba el seguimiento integral del historial de intervención de los componentes, debilitaba el control documental del proceso y reducía la capacidad de verificar el cumplimiento efectivo de las rutinas de preservación definidas.

1.4.3. Condiciones de los materiales almacenados.

Las condiciones de almacenamiento de materiales críticos correspondieron al conjunto de variables físicas y operacionales que incidían en la conservación de los componentes durante su permanencia en bodega o en patios exteriores. Entre ellas destacaron la ubicación del material, el nivel de resguardo ambiental, la exposición a humedad, polvo y variaciones térmicas, así como la existencia de rutinas de preservación y control acordes a su criticidad. En este sentido, condiciones óptimas de almacenamiento debían permitir mantener la integridad física y funcional del repuesto durante periodos prolongados, mientras que condiciones adversas aumentaban el riesgo de deterioro prematuro y pérdida de condición.

De las inspecciones realizadas durante el año 2023, se identificaron 840 materiales críticos, de los cuales el 53,3% se encontraba almacenado en sectores exteriores expuestos a factores ambientales adversos, mientras que el 46,7% permanecía en bodegas internas. Esta distribución confirmó que más de la mitad del inventario crítico se encontraba en condiciones no óptimas de preservación, incrementando el riesgo de deterioro prematuro, pérdida de condición funcional y necesidad de intervenciones correctivas antes de su utilización.

Con el fin de dimensionar la magnitud del problema, la Tabla 1-2 presenta la distribución de repuestos críticos almacenados en sectores interiores y exteriores por bodega.

Tabla 1-2. Cantidad de materiales críticos almacenados en exterior e interior de cada bodega.

Bodega	Exterior	Interior	Total	% Exterior	% Interior
Coloso (B521 - 100)	88	282	370	23,80%	76,20%
Mina (B501 - 100)	36	47	83	43,40%	56,60%
Planta (B501 - 102)	224	43	267	83,90%	16,10%
Laguna Seca (B501 - 100)	100	20	120	83,30%	16,70%
Total	448	392	840	53,30%	46,70%

Fuente: Elaboración propia, evidencia los materiales críticos en el exterior e interior año 2023.

Los datos de la Tabla 1-2 evidenciaron que la mayor exposición de materiales críticos en sectores exteriores se concentró en Bodega Planta y Laguna Seca, con 83,9% y 83,3% de sus componentes críticos almacenados en exterior, respectivamente. En contraste, Coloso presentó una condición relativamente más favorable, con predominio de almacenamiento interior. Este comportamiento permitió concluir que la problemática no se distribuía de manera homogénea entre las bodegas, sino que afectaba con mayor intensidad a ciertos sectores operacionales, reforzando la necesidad de priorizar medidas de resguardo en aquellas ubicaciones con mayor exposición ambiental. En conjunto, la tabla confirmó que una proporción significativa del inventario crítico permanecía en condiciones desfavorables de almacenamiento, respaldando la necesidad de desarrollar una solución más protegida para reducir el riesgo de deterioro y pérdida de condición funcional.

- En los componentes de disciplina mecánica, se evidenciaron bloqueos de ejes sin rotación periódica, condición que podía afectar la redistribución del lubricante y comprometer la condición de rodamientos durante el almacenamiento prolongado.
- En ciertos componentes eléctricos, la humedad interna detectada en pruebas de aislamiento reflejó deficiencias en el control ambiental de las bodegas, aumentando el riesgo de pérdida de la integridad operativa en equipos sensibles a condensación o contaminación interna.

Las Figuras 1-6 a 1-8 presentan evidencia visual del almacenamiento observado en terreno durante el levantamiento inicial, permitiendo respaldar el diagnóstico asociado a condiciones deficientes de resguardo y exposición ambiental de materiales críticos.



Fuente: Elaboración propia en terreno, 2023.

Figura 1-6. Ilustración de almacenamiento en terreno de un motor.



Fuente: Elaboración propia en terreno, 2023.

Figura 1-7. Ilustración de almacenamiento en terreno de una bomba.



Fuente: Elaboración propia en terreno, 2023.

Figura 1-8. Ilustración de almacenamiento en terreno de una caja de cambio.

Las imágenes permitieron constatar que varios componentes críticos se encontraban expuestos a polvo, humedad, radiación solar y variaciones térmicas, sin condiciones de resguardo equivalentes a las recomendadas por los fabricantes. En términos operacionales, ello incrementó la probabilidad de degradación del componente y debilitó la integridad del repuesto al momento de ser requerido por la operación.

El análisis evidenció que, si bien se ejecutaban procedimientos formales de preservación, tales como inspecciones PMI 12M, reemplazo de desecantes, verificación de embalajes, rotación de ejes y pruebas de aislamiento eléctrico, las condiciones ambientales, la infraestructura disponible y la diferencia entre la frecuencia exigida por la estrategia corporativa y la aplicada en terreno no garantizaban una protección adecuada de los materiales críticos.

Esta situación representó un riesgo relevante de degradación prematura, pérdida de condición funcional, necesidad de reacondicionamiento y menor confiabilidad del repuesto al momento de ser requerido por la operación. En consecuencia, se justificó la necesidad de implementar mejoras en la infraestructura de almacenamiento y en las prácticas de preservación. Lo anterior se sintetiza en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3. Hallazgos observados y riesgos asociados a la preservación de materiales críticos.

Hallazgo observado.	Riesgo asociado.	Impacto potencial.
Componentes almacenados en bodegas sin control climático (motores, cajas de cambio, bombas, etc).	Exposición a humedad, polvo y temperaturas extremas.	Corrosión de superficies metálicas, deterioro de sellos y empaques.
Materiales eléctricos almacenados sin calefacción ni control de humedad.	Ingreso de humedad y condensación en componentes.	Fallas de aislamiento, riesgo de cortocircuitos al ser utilizados.
Embalajes dañados o deteriorados.	Pérdida de protección OEM.	Aceleración de procesos de oxidación y pérdida de trazabilidad.
Desecantes saturados en embalajes.	Ineficiencia en control de humedad.	Incremento en el riesgo de corrosión interna y deterioro de componentes eléctricos.
Rotación de ejes no realizada con la frecuencia recomendada.	Pérdida de lubricación en rodamientos.	Daños internos, aumento de vibraciones y fallas prematuras.
Inspecciones limitadas a frecuencia anual (PMI 12M).	Brecha frente a la estrategia que exige controles trimestrales.	Riesgo de detectar tarde el inicio de degradaciones.
Registros incompletos o con baja trazabilidad en SAP.	Dificultad de seguimiento de preservaciones.	Riesgo de no evidenciar cumplimiento en auditorías internas y externas.

Fuente: Elaboración propia, Tabla comparativa de observaciones en terreno, año 2023.

En resumen, el diagnóstico inicial evidenció que, si bien las actividades de preservación se ejecutaban conforme a procedimientos establecidos, persistían brechas relevantes asociadas a las condiciones ambientales de almacenamiento, la infraestructura disponible, la trazabilidad del proceso y la diferencia entre la frecuencia de control definida por la estrategia corporativa (WIL Preservación) y la aplicada en terreno mediante procedimientos PRES.WIN. En conjunto, estos factores incrementaban el riesgo de deterioro, pérdida del estado operativo y menor confiabilidad de los materiales críticos durante su almacenamiento. Por ello, los hallazgos levantados no solo confirmaron la existencia de desviaciones operacionales, sino que también justificaron la necesidad de profundizar en el análisis de brechas entre las prácticas actuales, los lineamientos internos de BHP y las recomendaciones técnicas de los fabricantes.

En el Capítulo 2 se profundizó en dicho análisis comparativo entre la ejecución actual, los lineamientos internos (WIL Preservación / PRES.WIN) y las recomendaciones OEM, con el fin de identificar y priorizar oportunidades de mejora que fundamentaran técnicamente la propuesta desarrollada en el Capítulo 3.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE BRECHAS.

2. ANÁLISIS DE BRECHAS.

En el presente capítulo se aborda el segundo objetivo específico del estudio, correspondiente al análisis comparativo entre las prácticas actuales de preservación y los lineamientos técnicos establecidos por los fabricantes OEM. No obstante, este capítulo no se limita a describir diferencias entre ambas referencias, sino que analiza técnicamente el efecto de tales brechas sobre la condición funcional de los materiales críticos almacenados. En este sentido, las desviaciones identificadas se interpretan en función de su impacto sobre variables como control de humedad, integridad del embalaje, frecuencia de inspección, trazabilidad y riesgo de degradación durante el almacenamiento prolongado. De esta manera, el análisis permite fundamentar técnicamente la propuesta desarrollada en el Capítulo 3.

2.1. ANÁLISIS ENTRE ESTRATEGIA WIL PRESERVACIÓN Y PRES.WIN.

En Minera Escondida BHP, el marco operativo de preservación se rige por dos instructivos corporativos (WIL Preservación y PRES.WIN). Ambos establecen los lineamientos generales para asegurar la condición y disponibilidad de los materiales críticos.

- La estrategia de WIL Preservación:

La estrategia WIL Preservación corresponde al lineamiento corporativo de BHP orientado a definir los criterios generales para la gestión y preservación de repuestos críticos almacenados. En este marco, establece un resumen de los estándares mínimos de preservación a los que deben adherirse las bodegas para asegurar la gestión efectiva de los repuestos críticos que requieren preservación y se encuentran marcados en SAP. Asimismo, define los principios y estructuras necesarios para preservar los equipos durante su inspección, almacenamiento y manipulación, estableciendo funciones y responsabilidades para los equipos de trabajo, bodegas, compras y preparación operativa.

- Procedimientos PRES.WIN:

Los procedimientos PRES.WIN corresponden a instructivos corporativos aplicados en terreno para la ejecución de actividades específicas de preservación preventiva sobre materiales críticos. Estos detallan la forma en que debe realizarse el

mantenimiento preventivo según disciplina (eléctrica o mecánica), incluyendo checklist técnicos, recomendaciones de almacenamiento, frecuencia de actividades y controles de calidad.

La Tabla 2-1 resume las principales diferencias entre los procedimientos estandarizados por Minera Escondida BHP.

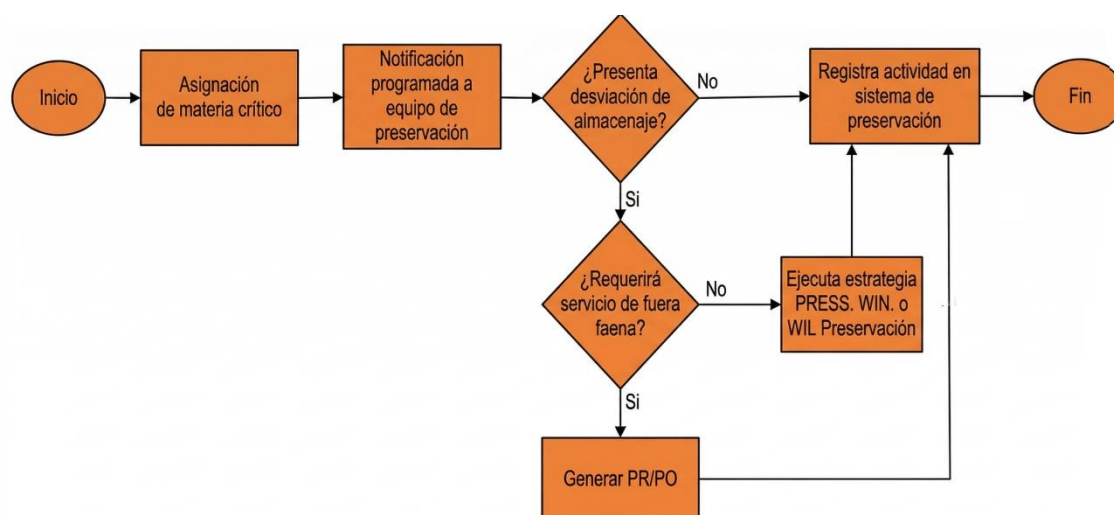
Tabla 2-1. Comparación entre WIL Preservación y Procedimientos PRES.WIN.

<u>Aspecto</u>	<u>Estrategia BHP (WIL Preservación)</u>	<u>Procedimientos (PRES.WIN)</u>
Propósito	Marco y gobierno (qué/quién/cuándo)	Método de ejecución (cómo)
Alcance	Todas las bodegas y zonas	Por disciplina (eléctrico/mecánico)
Frecuencias	Trimestral (almacenamiento)	12M (técnico) más programación local
Responsables	Warehouse, Preservación, Compras/Inventario, OEM	Equipo de Preservación (más soporte OEM)
Recepción/Devoluciones	Flujo y criterios de aceptación	Inspecciones y registros asociados
Evidencia	OT más repositorio	Checklist, fotos, etiqueta en equipo
Decisiones	Gerencia BHP	Equipo técnico

Fuente: Elaboración propia, basada en la estrategia WIL Preservación BHP y en los procedimientos corporativos PRES.WIN, 2023.

La Tabla 2-1 permitió evidenciar que la estrategia WIL Preservación y los procedimientos PRES.WIN cumplen funciones complementarias, pero con alcances distintos dentro del sistema de preservación. Mientras la estrategia WIL define el marco general de gobernanza, criterios mínimos, responsables y frecuencia de almacenamiento para la totalidad de las bodegas y zonas involucradas, los procedimientos PRES.WIN traducen ese marco en instrucciones de ejecución aplicadas por disciplina técnica. Esta diferencia se observa en aspectos como el alcance, ya que WIL aborda la gestión integral del almacenamiento, mientras que PRES.WIN estructura actividades específicas para materiales eléctricos y mecánicos. De igual forma, en la frecuencia se aprecia una brecha relevante entre el control trimestral exigido por la estrategia y la lógica anual de ejecución técnica contenida en los PMI 12M. Asimismo, la tabla muestra diferencias en responsables, evidencia y toma de decisiones, lo que permitió concluir que el sistema

actual presenta una separación entre el nivel estratégico y el nivel operativo. En consecuencia, la comparación confirmó que la principal brecha no radicó en la inexistencia de procedimientos, sino en la falta de alineamiento integral entre lineamiento corporativo, ejecución en terreno y trazabilidad del proceso..



Fuente: Elaboración propia, diagrama de flujo del proceso de preservación, 2023.

Figura 2-1. Diagrama de flujo del proceso de toma de decisiones en preservación de materiales críticos.

El flujo mostrado en la figura 2-1 representa la secuencia operativa del proceso de preservación aplicado a los materiales críticos almacenados en las bodegas de Minera Escondida BHP.

El proceso se inicia con la asignación del material crítico en SAP, lo que notifica al equipo técnico de preservación para ejecutar la inspección programada de mantenimiento (IPM). Durante la revisión se evalúa si el componente presenta desviaciones de almacenamiento (daños de embalaje, presencia de humedad, corrosión o pérdida de preservantes).

Si no se detectan desviaciones, se registra el cierre de la actividad respaldando en SAP o en el repositorio corporativo habilitado) y finaliza el proceso. En cambio, si se detectan desviaciones, se verifica si el componente requiere intervención dentro o fuera de faena (taller del equipo de preservación o proveedor externo).

Cuando se requiere servicio de proveedor externo, se genera la documentación (PR/PO) para gestionar el traslado. Si no se requiere servicio externo, el equipo de preservación ejecuta la estrategia técnica definida en los procedimientos PRES.WIN o WIL Preservación, realizando las correcciones necesarias en terreno.

Finalmente, toda información de la actividad se registra en el repositorio controlado, con su evidencia fotográfica y trazabilidad documental.

Este análisis constituye la base de contrastar las prácticas actuales con las recomendaciones de los fabricantes (OEM), permitiendo identificar brechas técnicas y operaciones en la ejecución de las actividades de preservación.

2.2. ANÁLISIS DE NORMAS.

El presente apartado analiza comparativamente las condiciones de preservación definidas por la normativa interna de Minera Escondida BHP y las recomendaciones técnicas emitidas por los fabricantes (OEM), con el propósito de identificar brechas relevantes en materias de almacenamiento, frecuencia de inspección, control ambiental y resguardo de materiales críticos. Este contraste permitió establecer diferencias entre el estándar corporativo aplicado en terreno y las condiciones recomendadas para asegurar la integridad y disponibilidad funcional de los componentes durante su almacenamiento.

2.2.1. Recomendación de almacenamiento preventivo definido por la OEM.

Los fabricantes originales (OEM) poseen conocimiento técnico detallado sobre los mecanismos de degradación que pueden afectar a los equipos durante periodos prolongados de almacenamiento. Entre ellos se encuentran la corrosión, la contaminación ambiental, la degradación del aislamiento eléctrico, la pérdida de rigidez en sellos, el deterioro de lubricantes y las deformaciones mecánicas por falta de preservación adecuada.

En este contexto, las recomendaciones emitidas por los fabricantes buscan mitigar dichos mecanismos mediante condiciones controladas de temperatura, humedad relativa, vibración, limpieza, preservación física o química y rutinas periódicas de inspección. El propósito de estas medidas es asegurar que el componente mantenga su

integridad física, su condición operativa y su operatividad al momento de ser requerido por la operación.

Desde la perspectiva interna, Minera Escondida BHP regula estas actividades mediante lineamientos corporativos y procedimientos de preservación, los cuales establecen criterios generales de inspección, control y mantenimiento preventivo. Sin embargo, el contraste con los OEM permitió advertir diferencias en variables críticas como frecuencia, condiciones ambientales y alcance técnico de las rutinas de preservación.

2.2.2. Realidad operativa.

La presente sección describe las prácticas de preservación ejecutadas actualmente en terreno, con el fin de contrastarlas con las recomendaciones técnicas de los fabricantes y evaluar su contribución al mantenimiento de la condición operativa de los componentes almacenados. A continuación, se exponen las principales actividades observadas y su respaldo visual en terreno.

- Ejecución de pruebas de aislamiento eléctrico mediante megóhmetro (megger), con el propósito de detectar humedad interna, contaminación superficial o pérdida de condición dieléctrica en terminales y componentes eléctricos. Esta actividad resulta relevante, ya que los equipos almacenados por periodos prolongados pueden acumular micro humedad, polvo y contaminantes que afectan su condición funcional al momento de ser requeridos por la operación.



Fuente: Elaboración propia en terreno, 2023.

Figura 2-2. Prueba de aislamiento eléctrico en terreno.

La Figura 2-2 presenta evidencia en terreno de la ejecución de pruebas de aislamiento eléctrico como parte de las rutinas actuales de preservación.

Esta actividad contribuye al control del estado eléctrico del componente durante su almacenamiento, permitiendo detectar oportunamente condiciones adversas que puedan comprometer su utilización futura.

- Rotación periódica de ejes, actividad aplicada a componentes mecánicos almacenados con el fin de mantener la movilidad de sus partes internas durante periodos prolongados de resguardo. Esta práctica se ejecuta para evitar la formación de huellas estáticas, asegurar la redistribución homogénea del lubricante en rodamientos y engranajes, y reducir el riesgo de inmovilización de componentes móviles durante el almacenamiento.



Fuente: Elaboración propia en terreno, 2023.

Figura 2-3. Giro de eje motor en terreno.

La Figura 2-3 presenta evidencia en terreno de la ejecución de la rotación periódica de eje en un motor almacenado, actividad que forma parte de las rutinas actuales de preservación mecánica. Esta práctica permitió mantener la condición funcional del componente durante su almacenamiento, al favorecer la redistribución del lubricante y reducir el riesgo de deterioro en elementos móviles internos.

- Reposición o renovación de grasas y agentes preservantes, actividad considerada dentro de las rutinas de mantenimiento preventivo de preservación aplicadas a componentes almacenados por periodos

prolongados. Esta práctica tiene como objetivo restituir el film protector de las superficies metálicas, prevenir procesos de corrosión y asegurar una adecuada lubricación de las superficies críticas, manteniendo la integridad funcional del componente durante su almacenamiento.



Fuente: Elaboración propia en terreno, 2023.

Figura 2-4. Cambio de desecantes en componente reductor hidráulico.

La Figura 2-4 presenta evidencia en terreno de la reposición de desecantes en un componente reductor hidráulico, actividad orientada al control de humedad interna durante el almacenamiento. La correcta aplicación de esta práctica permite reducir la presencia de condensación y contaminantes, contribuyendo a preservar la condición interna del componente y disminuir el riesgo de deterioro prematuro.

Estas acciones reflejan la aplicación práctica de los procedimientos PRES.WIN en terreno, evidenciando la ejecución de actividades orientadas al control de condiciones ambientales, lubricación y conservación de componentes críticos, contribuyendo directamente a la reducción del riesgo de deterioro y a la continuidad operacional de los activos almacenados.

2.2.3. Desviaciones observadas y riesgos asociados.

Las desviaciones observadas en terreno no constituyeron únicamente incumplimientos formales respecto de la estrategia corporativa o de las recomendaciones OEM, sino condiciones capaces de afectar directamente la integridad física y funcional de los repuestos críticos. Desde una perspectiva técnica, la exposición a humedad, polvo, radiación solar, embalajes deteriorados, inspecciones de baja frecuencia y registros incompletos incrementó la probabilidad de corrosión, pérdida de aislamiento, degradación

de superficies, fallas prematuras y menor confiabilidad al momento de requerir el componente por operación.

Durante las inspecciones técnicas realizadas en terreno durante el levantamiento del año 2023, se identificaron desviaciones que generaban riesgos técnicos y de almacenamiento, según se resume en las siguientes observaciones.

- Las resistencias de calefacción (heaters) de los motores se encontraban desconectadas, aumentando la probabilidad de humedad interna y condensación que son cruciales a considerar para el arranque seguro y eficiencia del motor, especialmente en condiciones climáticas extremas.
- Exposición a factores climáticos (bajas temperaturas, baja humedad relativa y vientos con material particulado) que generan un riesgo al ingresar polvo en partes mecánicas o eléctricas generando abrasión, contaminación de lubricantes, oxidación a puntos de contacto y pérdida de material desecante.
- La exposición a humedad y condensación compromete el aislamiento en componentes eléctricos, acelera procesos de corrosión interna y reduce la confiabilidad del componente al momento del arranque.
- La pérdida de integridad del embalaje OEM elimina una barrera primaria de protección frente a polvo, humedad y contaminación, aumentando la probabilidad de degradación silenciosa durante el almacenamiento.
- Rayaduras y deterioro de pintura o carcasa ocasionadas por manipulación con grúa horquilla y desplazamiento sobre superficies irregulares, con riesgo de daño en su base de traslado o atril metálico.

A continuación, la Figura 2-5 presenta evidencia en terreno de un material crítico almacenado bajo condiciones no controladas, donde se observan simultáneamente varias de las desviaciones descritas.



Fuente: Elaboración propia en terreno, 2023.

Figura 2-5. Ilustración de un motor respaldando las desviaciones reales en terreno.

La Figura 2-5 evidencia un componente expuesto a polvo y viento, con resistencias de calefacción desconectadas, deterioro de embalajes originales y daños en la base de apoyo. En conjunto, estas condiciones reflejan un entorno de almacenamiento que no garantiza la protección del equipo, incrementando el riesgo de deterioro técnico y pérdida del estado operativo antes de su utilización.

Con el fin de sistematizar las desviaciones identificadas durante las inspecciones en terreno, se elaboró una matriz de análisis que relaciona cada desviación observada con sus posibles causas, efectos técnicos y riesgos asociados. Esta estructura permite comprender no solo la ocurrencia de las desviaciones, sino también su impacto potencial sobre la condición funcional de los componentes y la continuidad operacional.

En este contexto, la Tabla 2-2 resume las principales desviaciones detectadas en componentes críticos almacenados, evidenciando la relación directa entre las condiciones de almacenamiento y los riesgos técnicos asociados.

Tabla 2-2. Inspección de desviaciones y riesgos en componentes visualizados en terreno.

Desviación observada	Posible causa	Efecto técnico	Riesgos
Heaters desconectados	Falta de suministro o control	Condensación interna	Fallo de aislamiento / cortocircuito interno
Exposición a polvo y viento	Almacenamiento en patios abiertos	Contaminación mecánica	Desgaste prematuro
Deterioro de embalajes OEM	Exceso de tiempo en bodega	Pérdida de protección anticorrosiva	Oxidación / pérdida de garantía
Rayaduras o daños de pintura	Manipulación en terreno	Corrosión localizada	Fallas estructurales menores

Fuente: Elaboración propia, inspección en terreno, 2023.

La Tabla 2-2 permitió sintetizar las principales desviaciones observadas, sus causas y efectos técnicos asociados. Los resultados evidenciaron que las brechas no responden a un único factor, sino a la combinación de deficiencias en almacenamiento, control ambiental, conservación de embalajes y manipulación de componentes.

En particular, la presencia de heaters desconectados se asocia a fenómenos de condensación interna y riesgo de fallas de aislamiento, mientras que la exposición a polvo y viento genera contaminación mecánica y desgaste prematuro. Asimismo, el deterioro de embalajes OEM implica la pérdida de protección anticorrosiva y posibles implicancias en la garantía del fabricante y los daños superficiales por manipulación favorecen la aparición de corrosión localizadas. Estas desviaciones evidencian que las condiciones actuales de almacenamiento no aseguran la conservación adecuada de los materiales críticos, generando riesgos que pueden afectar la confiabilidad de los equipos y aumentar costos asociados a fallas, retrabajos y reposiciones.

2.3. RECOMENDACIONES DE LOS FABRICANTES.

Como parte del levantamiento técnico desarrollado en esta etapa, se efectuó un análisis complementario de las estrategias de almacenamiento y preservación recomendadas por los fabricantes (OEM) de los principales repuestos críticos gestionados en las bodegas de Minera Escondida BHP.

El estudio se basó en la revisión de documentación técnica especializada, incluyendo manuales de operación, mantenimiento y almacenamiento de fabricantes como Siemens, WEG, ABB, Flender y KSB, junto con observaciones directas en terreno sobre

un total de 840 materiales críticos inspeccionados, los cuales incluyen motores eléctricos, bombas, reductores y cajas de cambio.



Fuente: Elaboración propia, basada en documentación técnica de fabricantes OEM, 2025.

Figura 2-6. Logotipos de fabricantes OEM considerados en el estudio.

La Figura 2-6 representa los principales fabricantes analizados en el presente estudio, los cuales establecen lineamientos técnicos específicos para el almacenamiento y preservación de equipos críticos. Estos fabricantes constituyen la base técnica de referencia para evaluar la condición actual de los materiales y determinar las brechas existentes respecto a las prácticas aplicadas en terreno.

A partir del análisis documental y técnico de los manuales OEM, se identificaron las condiciones ambientales y operativas mínimas que cada fabricante establece para asegurar el desempeño funcional de los equipos, tanto en almacenamiento de corto como de largo plazo. Dichas condiciones consideran variables críticas como temperatura, humedad relativa, control de vibraciones, rotación periódica de ejes, lubricación, uso de desecantes y mantenimiento de embalajes o recubrimientos anticorrosivos.

Estas recomendaciones tienen como objetivo mitigar los mecanismos de degradación más comunes durante el almacenamiento, tales como corrosión, contaminación ambiental, deterioro del aislamiento eléctrico, pérdida de lubricación y deformaciones mecánicas, asegurando que los equipos mantengan su integridad y operatividad inmediata al momento de ser requeridos en servicio.

A continuación, se presenta una síntesis de las principales recomendaciones de almacenamiento recopiladas a partir de los fabricantes, las cuales constituyen el marco de referencia técnica sobre el cual deben alinearse las estrategias de preservación vigentes en Minera Escondida BHP.

Tabla 2-3. Recomendaciones de almacenamiento técnico dictado por los fabricantes (OEM).

OEM	Tipo de equipo	Recomendaciones clave de almacenamiento	Fuente
SIEMENS	Motores	<ul style="list-style-type: none"> - Mantener en embalaje original. - Ambiente seco y ventilado (HR < 60%, -15 °C a +55 °C). - Vibración Vrms < 0,2 mm/s. - Aplicar preservante a superficies desnudas. - Para >6 meses realizar inspecciones/rotación. 	Manual 1PH3 (Transporte y almacenamiento). (SIEMENS, 2023)
FLENDER (SIEMENS)	Reductores	<ul style="list-style-type: none"> - Respetar preservación de fábrica, no abrir el embalaje si forma parte del método de preservación seguir capítulo de “Transporte y almacenamiento” - Inspección visual antes de uso. 	Instrucciones FLENDER – secc. almacenamiento. (FLENDER, 2010)
WEG	Motores (W60 y WMO)	<ul style="list-style-type: none"> - Ubicar en lugar seco, limpio, sin polvo/gases anticorrosivos. - Calefactores (space heaters) encendidos durante el almacenamiento para evitar condensación. - Rotar eje mensualmente. - Relubricar si >6 meses. - HR interna del embalaje ≤ 50%. 	Manual W60 (almacenaje/preservación) y WMO. (WEG, 2024)
ABB	Motores	<p>Para almacenamiento ≥ 6 meses:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Controlar ambiente, proteger contra humedad/condensación, pruebas periódicas de aislamiento, rotación del eje y mantenimiento de lubricación. 	ABB Long-Term Motor Storage (MN417). (GROUP, 2009)
SEW-EURODRIVE	Reductores	<ul style="list-style-type: none"> - Para periodos >9 meses, usar diseño “Extended storage”; embalar con desecante e indicador de humedad, bajo techo sin cargas de choque. - Almacenamiento hasta 3 años con rutina de control. 	SEW – Instrucciones de almacenamiento extendido. (EURODRIVE, 2012)
SUMITOMO / HANSEN	Reductores	<ul style="list-style-type: none"> - Evitar vibraciones. - Asegurar condiciones ambientales correctas. - Almacenamiento interior hasta 1 año (área seca y ventilada). - Para >1 año, coordinar con HIT, existe guía para almacenamiento exterior prolongado con requisitos adicionales. 	Manual Hansen P4 (almacenamiento). (HANSEN, 2019)
KSB	Bombas	<ul style="list-style-type: none"> - Almacenar en sala seca, protegida y sin vibración. - Si es exterior, cubrir con material impermeable. - Girar el eje 1 vez/mes. - Preparación de fábrica permite hasta 12 meses bajo condiciones adecuadas. 	KSB Movitec / HPK – Storage & preservation. (KSB, 2015)
SULZER (ABS)	Bombas	<p>Si la bomba se almacena:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cambiar aceite antes de almacenar, inspección y verificación de nivel de estado antes de entrar en servicio. - Uso de preservantes (VpCI) y desecantes cuando se sella por largo plazo. 	Manuales Sulzer ABS (IOM) y guía de preservación. (SULZER, 2021)

Fuente: Elaboración propia, manuales técnicos de fabricantes OEM.

En síntesis, las recomendaciones OEM recopiladas en la Tabla 2-3 convergen en tres exigencias para el almacenamiento:

- Control ambiental (humedad relativa, temperatura y polvo): Los fabricantes establecen rangos controlados de temperatura y humedad (generalmente $HR < 60\%$) para evitar la condensación interna y la corrosión. El incumplimiento de estas condiciones favorece la degradación de componentes metálicos y eléctricos, especialmente en ambientes con variaciones térmicas.
- Preservación física y química: Incluye el uso de embalajes originales, materiales desecantes y recubrimientos anticorrosivos, los cuales actúan como barreras de protección frente a contaminantes externos. La pérdida de estas protecciones incrementa significativamente el riesgo de deterioro silencioso durante el almacenamiento.
- Mantenibilidad en reposo: Comprende la ejecución de prácticas activas de preservación durante el periodo de almacenamiento, tales como la energización de resistencias de calefacción (heaters), la rotación periódica de ejes, el control del estado de lubricantes y la verificación de condiciones internas del componente. Estas acciones buscan evitar condensación, deformaciones mecánicas, pérdida de lubricación y otros mecanismos de deterioro que pueden afectar la operatividad futura del equipo.

El cumplimiento consistente de estas condiciones reduce significativamente la probabilidad de humedad, corrosión y fallas latentes en equipos fuera de servicio, asegurando su disponibilidad inmediata cuando sean requeridos. En este sentido, las recomendaciones de los fabricantes constituyen un estándar técnico de referencia que permite evaluar las prácticas actuales de preservación y explicar las desviaciones observadas en terreno, estableciendo una base sólida para la propuesta.

2.4. DISCUSIÓN ANALÍTICA Y CIERRE.

El análisis integró los hallazgos técnicos levantados mediante inspecciones PMI, evidencias observadas en terreno y desviaciones identificadas en la auditoría interna 2023,

en conjunto con las recomendaciones emitidas por los distintos fabricantes OEM. Esta revisión permitió sustentar la necesidad de implementar condiciones de almacenamiento controlado, tales como la habilitación de un galpón, puntos de energización, un área segura para embalajes y un layout definido para la ubicación de los materiales críticos.

2.4.1. Lectura crítica de los hallazgos.

La revisión comparativa permitió concluir que la principal debilidad del sistema no es la falta de actividades de preservación, sino su insuficiente capacidad para asegurar el estado del repuesto durante su almacenamiento. En términos técnicos, la ejecución parcial de rutinas no compensó la falta de control ambiental, la degradación del embalaje, la diferencia en la frecuencia de inspección y la baja trazabilidad documental. Por ello, la brecha observada debió interpretarse como una falla del sistema de preservación en su conjunto, y no únicamente como una desviación puntual de procedimiento.

- **Fortaleza:** Las no conformidades observadas en terreno fueron consistentes con los mecanismos de degradación descritos por los fabricantes OEM, lo que otorgó sustento técnico al diagnóstico levantado.
- **Normativa:** Tanto la estrategia WIL Preservación como los procedimientos PRES.WIN exigen trazabilidad, control ambiental y ejecución de rutinas de preservación; sin embargo, la infraestructura disponible no permitió asegurar de manera continua condiciones como energización permanente, humedad relativa y temperatura estables, ni segregación de zonas limpias para componentes sensibles.
- **Limitaciones:** El sistema actual presentó cobertura parcial de familias de materiales y una frecuencia histórica de control inferior a la requerida por la estrategia corporativa, lo que redujo la capacidad de seguimiento y prevención oportuna.
- **Implicancia:** La alineación efectiva entre las recomendaciones OEM y la normativa interna exigió contar con infraestructura controlada, trazabilidad operacional y mayor capacidad de resguardo físico para materiales críticos.

En conjunto, la lectura crítica de los hallazgos permitió concluir que las brechas observadas en el sistema de preservación no solo respondían a desviaciones puntuales de ejecución, sino a una insuficiente integración entre infraestructura, frecuencia de control, trazabilidad y criterios técnicos de preservación. Esta condición explicó la persistencia de riesgos sobre la integridad y disponibilidad futura de los repuestos críticos, justificando la necesidad de identificar y priorizar aquellas brechas con mayor impacto técnico y operacional.

2.4.2. Las 5 brechas críticas.

Las cinco brechas críticas correspondieron a las principales categorías de desviación identificadas en la auditoría interna 2023 y posteriormente verificadas durante el levantamiento en terreno. Estas categorías permitieron agrupar los hallazgos observados en función de su impacto técnico y operacional, facilitando su análisis como base para la definición de medidas correctivas y de inversión. En este sentido, su mitigación resultó verificable, ya que cada brecha pudo asociarse directamente a una condición observada, un efecto sobre la preservación y una solución técnica factible.

La Tabla 2-4 resume la relación entre brecha crítica, impacto en la operación y solución propuesta, estableciendo el vínculo entre los hallazgos del diagnóstico, su efecto técnico y la necesidad de inversión en infraestructura y control

Tabla 2-4. Las 5 brechas críticas (cola de pescado → terreno → inversión).

Brecha crítica	Impacto en operación	Solución
Heaters desconectados / sin HR-T°.	Condensación, megger bajo y arranque no confiable.	Galpón con HR-T° , puntos de energización segura y monitoreo.
Ambiente no controlado (polvo/HR-T°).	Contaminación, oxidación y pérdida de IP.	Lugar cerrado o filtrado, desecantes con indicador y señalización ambiental.
Embalaje OEM deteriorado.	Pérdida de protección y garantía.	Área y kits de re-embalaje y trazabilidad fotográfica.
Manipulación o izaje y base.	Rayaduras, daño carcasa o eje y retrabajos.	Rutas de rodado, nivel del suelo niveladas, protecciones y puntos de izaje.
Trazabilidad/identificación SAP.	Errores de stock, demoras y auditoría débil.	Layout señalizado y identificación de SAP en zona de preservación.

Fuente: Elaboración propia, 5 brechas críticas, 2025.

La Tabla 2-4 permitió evidenciar que las brechas levantadas en auditoría y confirmadas en terreno no solo describían desviaciones operativas, sino condiciones con impacto directo sobre la confiabilidad del material crítico y la continuidad operacional. En particular, problemas como heaters desconectados, ambientes no controlados, deterioro de embalajes, baja trazabilidad y cobertura insuficiente de inspecciones comprometían la preservación integral del repuesto durante su almacenamiento. La tabla también mostró que estas brechas podían ser abordadas mediante soluciones concretas y verificables, tales como infraestructura cerrada, energización segura, reembalaje, señalización y trazabilidad operativa. En consecuencia, el análisis confirmó que la inversión propuesta no respondió a mejoras aisladas, sino a la necesidad de cerrar brechas técnicas previamente identificadas y validadas en terreno.

2.4.3. Cierre del capítulo 2.

De la revisión de las fuentes técnicas se observó una consistencia transversal entre los fabricantes en relación con las condiciones de mantenimiento preventivo requeridas durante el almacenamiento de materiales críticos, las cuales inciden directamente en la condición funcional y vida útil del componente en respaldo.

El cumplimiento de estas condiciones permite minimizar fallas asociadas a humedad o corrosión en equipos que permanecen largos periodos fuera de servicio, garantizando su disponibilidad inmediata cuando sean requeridos a montaje. En este contexto, la información obtenida de los manuales técnicos de distintos equipos, comparada con las estrategias de preservación definidas por la Gerencia BHP, constituye una referencia técnica clave para estandarizar las prácticas actuales en Minera Escondida BHP.

Estas evidencias respaldan la necesidad de alinear los procedimientos PRES.WIN y WIL Preservación con las recomendaciones de los fabricantes, a fin de fortalecer la capacidad operativa de los activos almacenados, reducir la probabilidad de fallas por degradación y sustentar la propuesta de mejora al almacenamiento que se desarrollará en el Capítulo 3.

**CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE LA PROPUESTA TÉCNICO-
ECONÓMICA.**

3 DESARROLLO DE LA PROPUESTA TÉCNICO-ECONÓMICA.

En el presente capítulo se desarrolla la propuesta técnico-económica orientada a dar solución a las desviaciones identificadas por la gerencia durante la auditoría de 2023, las cuales fueron sintetizadas mediante el diagrama de causa-efecto (Figura 1-3. Causas de no conformidad en preservación de los repuestos críticos) presentado en el Capítulo 1.

La propuesta se construye específicamente para cerrar las brechas detectadas en la estrategia de preservación de materiales críticos de Minera Escondida BHP, abordando tanto los aspectos técnicos de estándares de preservación, infraestructura y la integridad del componente, como los económicos tales como la inversión requerida y beneficios esperados por reducción de riesgos de falla e indisponibilidad operacional.

Con el fin de respaldar cuantitativamente la viabilidad de la solución, la propuesta se acompaña de un flujo de caja proyectado en 5 años, mediante el cual se estiman los costos asociados al desarrollo y operación de la mejora, así como los ahorros esperados por la disminución de desviaciones y no conformidades en el proceso de preservación.

3.1. ENFOQUE DE LA PROPUESTA.

En esta sección se presenta el enfoque general de la propuesta técnico-económica elaborada para dar respuesta directa a las desviaciones detectadas por la gerencia de BHP en la auditoría realizada en el año 2023 sobre el proceso de preservación de materiales críticos en Minera Escondida BHP. Dichas desviaciones, previamente analizadas en los capítulos anteriores evidencian brechas en la ejecución, control y trazabilidad de las actividades de preservación, afectando potencialmente la integridad de los repuestos y la continuidad operacional de los activos a los que están asociados.

Las desviaciones se estructuraron mediante un diagrama de causa-efecto (cola de pescado), que permitió identificar y organizar las deficiencias en distintas categorías (métodos, mano de obra, medio ambiente, materiales, gestión, entre otras). Sobre esa base, el presente capítulo no se limita a solo describir una solución técnica, sino que también incorpora la estandarización de prácticas de preservación recomendadas por la OEM y la evaluación económico-financiera, a fin de entregar a la gerencia una alternativa viable, trazable y sustentable en términos de costo-beneficio.

3.1.1. Contexto de las desviaciones levantadas por la Gerencia BHP.

La auditoría interna realizada por la gerencia en 2023 tuvo como objetivo revisar el cumplimiento de los lineamientos corporativos asociados a la preservación de los materiales críticos y su alineamiento con el mantenimiento preventivo. A partir de esta revisión se detectaron desviaciones en el proceso, tales como deficiencia en la aplicación de las actividades de preservación en bodegas, falta de trazabilidad en algunas intervenciones, condiciones de almacenamiento sin control adecuado y evidencia de materiales con riesgo de deterioro prematuro durante su permanencia en condición de respaldo.

Estos hallazgos no quedaron solo como casos puntuales, sino que evidenciaron un problema de fondo, donde se ven comprometidos factores organizacionales, técnicos y operacionales. Para entender mejor estas relaciones, las desviaciones se ordenaron y analizaron mediante un diagrama de causa–efecto (cola de pescado), agrupando las causas en categorías como:

- Procedimientos: Ausencia o uso inconsistente de procedimientos estandarizados de preservación (PRES.WIN y WIL Preservación) y diferencias frente a las recomendaciones OEM.
- Mano de obra: Falta de un equipo técnico especializado y brechas de capacitación en el personal de la empresa contratista Workmate SpA.
- Medio ambiente e infraestructura: Zonas de almacenamiento expuestas a polvo, humedad, radiación solar u otros factores ambientales no controlados.
- Gestión: Debilidades en la planificación, seguimiento, registro y análisis de las actividades de preservación y sus resultados.

El diagnóstico obtenido a partir de esta auditoría y sintetizado en la cola de pescado, constituye el punto de partida para el diseño de la propuesta desarrollada en este trabajo. La idea es que cada elemento de la solución pueda vincularse directamente con una o más causas identificadas, de modo de demostrar que la propuesta responde a necesidades reales del proceso de preservación.

3.1.2. Propuesta técnico-económica como respuesta a la observación auditoría.

La propuesta presentada en este capítulo se plantea como una respuesta directa y estructurada a las causas raíz identificadas en el diagrama de causa–efecto. En lugar de limitarse a corregir las desviaciones observadas, se propone una solución integral que combina mejoras técnicas, organizacionales y de infraestructura, complementadas con un análisis económico que permite evaluar su conveniencia.

- En primer lugar, el componente de infraestructura de almacenamiento controlado busca mitigar las causas asociadas al medio ambiente, entregando condiciones físicas adecuadas para la preservación de motores, cajas de cambio, bombas y otros materiales críticos. Esto considera la definición de un área techada, protección frente a condiciones ambientales, ordenamiento por familias y facilidades para la ejecución segura de las tareas de preservación.
- En segundo lugar, la estandarización y fortalecimiento de los procedimientos de preservación (PRES.WIN o WIL Preservación) se orienta a cerrar las brechas clasificadas en la categoría “procedimientos”. El foco está en asegurar que las actividades de preservación se ejecuten con frecuencias y alcances coherentes con las recomendaciones OEM y los lineamientos internos, reduciendo así la variabilidad entre bodegas y entre equipo técnico
- En tercer lugar, la propuesta incorpora elementos vinculados a recursos humanos, tales como la definición de roles y responsabilidades, el uso sistemático de registros (tarjetas de preservación, respaldos fotográficos y actualizaciones en SAP) y el fortalecimiento de la capacitación del personal involucrado.

De esta manera, cada bloque de la propuesta (infraestructura, procedimientos y recursos humanos) se vincula con una o más ramas de la cola de pescado (Figura 1-3. Causas de no conformidad en la preservación de materiales críticos), lo que permite evidenciar que no se trata de una alternativa genérica, sino de una respuesta alineada con el diagnóstico obtenido en la auditoría de 2023.

3.1.3. Enfoque principal de la propuesta.

Considerando el contexto anterior, la propuesta técnico–económica definida en este capítulo persigue dos grandes tipos de objetivos: técnicos y económicos, que en conjunto permiten sustentar la recomendación ante la gerencia.

En el ámbito técnico, el objetivo principal es mejorar la integridad de los materiales críticos almacenados, asegurando que su preservación se realice bajo condiciones controladas y de acuerdo con los lineamientos internos vigentes (WIL Preservación y PRES.WIN) y las recomendaciones de los fabricantes (OEM). Con ello se busca reducir la probabilidad de que un repuesto falle prematuramente al ser instalado debido a un almacenamiento inadecuado, disminuyendo las intervenciones correctivas asociadas a problemas de preservación y aportando a la continuidad operacional de los equipos productivos.

En el ámbito económico, el objetivo es demostrar la conveniencia de la solución propuesta mediante la elaboración de un flujo de caja proyectado, en el que se cuantifiquen los costos de inversión (CAPEX) y de operación (OPEX), junto con los beneficios esperados en términos de reducción de deterioros, retrabajos, pérdidas de materiales y eventuales costos de indisponibilidad operacional. A través del cálculo de indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el periodo de recuperación, se busca entregar a la gerencia una base cuantitativa clara que respalde la decisión de implementar la propuesta.

En síntesis, la propuesta técnico-económica no solo corrige las desviaciones observadas en la auditoría 2023, sino que también justifica su implementación mediante argumentos técnicos y financieros, constituyendo una alternativa racional y alineada con los objetivos estratégicos de la organización.

3.2. **DISEÑO TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN DE PRESERVACIÓN.**

El diseño técnico de la solución propuesta se estructura a partir de las causas raíz identificadas en el diagrama de cola de pescado, priorizando aquellas asociadas al ambiente de almacenamiento, los procedimientos de preservación y la gestión del proceso. En esta sección se define el alcance de la propuesta, la habilitación y adecuación de un

galpón existente, el estándar de preservación asociado a las diferentes familias de materiales críticos y el flujo operativo que permite asegurar una ejecución disciplinada de las actividades.

La intención es que la solución no se limite a un cambio aislado (por ejemplo, solo infraestructura o solo procedimientos), sino que se configure como un sistema integrado de preservación, donde el lugar donde se almacenan los materiales, la forma en que se preservan, la manera en que se registran y gestionan las tareas formen un conjunto coherente y trazable.

3.2.1. Alcance técnico y operativo de la propuesta.

El alcance técnico de la propuesta considera principalmente a los componentes críticos en condición de respaldo que presentan alta consecuencia ante una falla por mal almacenamiento y largos tiempos de reposición, tales como motores eléctricos, cajas de cambio, motorreductores, bombas y otros componentes mecánicos y eléctricos. Estos elementos fueron identificados previamente en la estrategia de materiales críticos de la compañía BHP y se encuentran actualmente almacenados en bodegas y patios exteriores.

Operacionalmente, la propuesta abarca las etapas del ciclo de preservación que tienen influencia directa en las desviaciones detectadas en la auditoría 2023, incluyendo:

- Recepción del componente crítico en bodega.
- Asignación de la estrategia de preservación correspondiente (por familia y criticidad).
- Ejecución de las actividades de preservación preventiva (IPM) de acuerdo con los procedimientos PRES.WIN o WIL Preservación y las recomendaciones OEM.
- Registro y trazabilidad de las actividades en tarjetas de preservación, respaldos fotográficos y sistema SAP.
- Revisión periódica del estado del componente mientras permanezca en stock.

Quedan fuera del alcance de esta propuesta las actividades de reparación mayor realizadas por talleres externos o fabricantes, así como las decisiones corporativas de alto nivel respecto de la política global de inventarios. No obstante, la solución se diseña para

que sea compatible con dichas políticas y pueda integrarse de manera natural con la estrategia global de activos de la organización.

Al delimitar de forma clara el alcance, se busca asegurar que los recursos de la propuesta se focalicen en los puntos donde la auditoría evidenció mayores desviaciones y donde el impacto en integridad y costo es más significativo.

3.2.2. Infraestructura de almacenamiento controlado propuesta.

Una de las causas relevantes identificadas corresponde a las condiciones ambientales y físicas de almacenamiento (categoría Medio Ambiente), así como brechas de infraestructura que dificultan ejecutar rutinas de preservación de manera consistente. En respuesta a estas desviaciones, la propuesta contempla la habilitación y adecuación de un galpón existente destinado al almacenamiento controlado de materiales críticos, con el objetivo de asegurar condiciones mínimas de preservación durante todo el periodo de inventario.

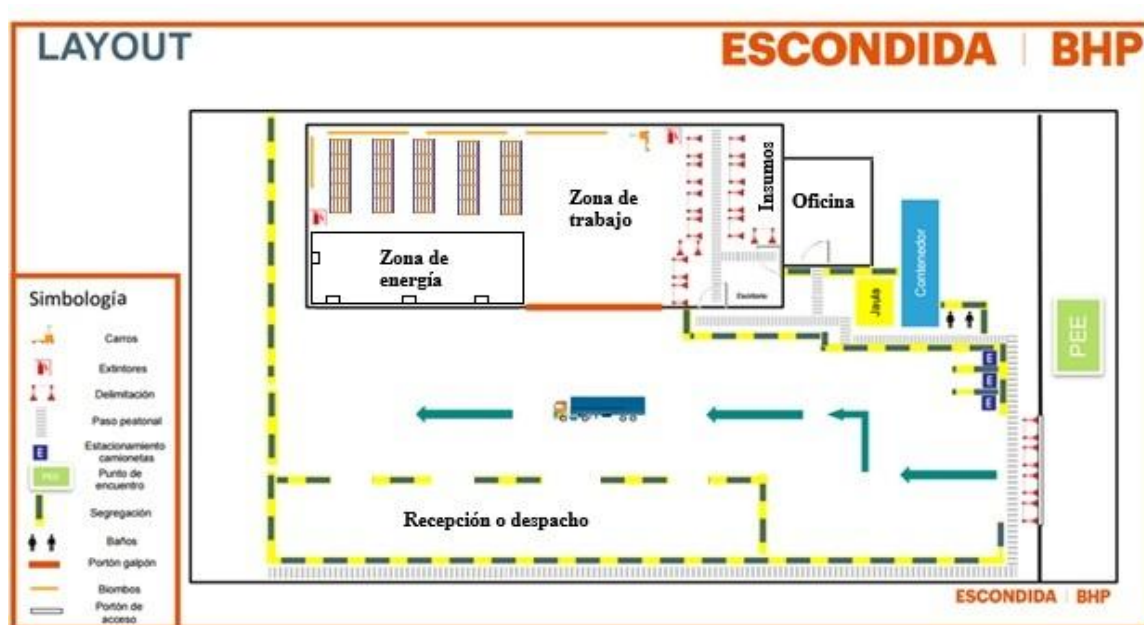
En respuesta a las desviaciones de Medio Ambiente e Infraestructura, la propuesta consiste en adecuar un galpón de 3.000 m² para almacenamiento controlado de materiales críticos. La administración documental se mantiene en oficinas aledañas, destinando el interior exclusivamente a almacenamiento, preservación e inspección, con segregación de áreas energizadas y circulación peatonal segura.

De manera conceptual, esta infraestructura considera los siguientes elementos ilustrados y señalados en la Figura 3-1.

- Zonificación por familias y condición del equipo, segregando motores, cajas de cambio, motorreductores, bombas y otras familias. Además de condición “nuevo”, “reparado”, “en inspección” o “en espera de definición”.
- Racks, bases y soportes adecuados, asegurando posición de almacenamiento correcta y evitando esfuerzos innecesarios, deformaciones o daños por almacenamiento prolongado.

- Condiciones mínimas de operación (iluminación, ventilación y accesibilidad) que permitan ejecutar en forma segura inspecciones, pruebas de giro de ejes y actividades IPM definidas en los procedimientos.
- Acondicionamiento ambiental localizado según criticidad (control de humedad/temperatura cuando aplique) para reducir condensación, corrosión y degradación de embalajes.
- Zona de energización e inspección funcional, delimitada y señalizada, con puntos eléctricos, protecciones y control operacional (LOTO), para pruebas definidas por el estándar.
- Señalética y demarcación para identificar áreas, riesgos, restricciones de manipulación y rutas de circulación peatonal/vehicular.

Con el fin de materializar la propuesta de almacenamiento controlado, se desarrolló un layout funcional del galpón de preservación, orientado a ordenar la distribución espacial de los materiales críticos y de las actividades asociadas a su inspección, energización y resguardo. Este diseño permitió definir áreas específicas de operación y circulación, alineadas con los requerimientos técnicos de preservación identificados en el diagnóstico.



Fuente: Elaboración propia, layout del galpón de preservación, 2025.

Figura 3-1. Propuesta de layout del galpón de preservación.

La Figura 3-1 presenta el layout propuesto para el galpón de preservación, en el cual se definen áreas funcionales específicas que permiten ordenar, controlar y ejecutar de manera eficiente las actividades de almacenamiento y mantenimiento de materiales críticos. Entre estas zonas se consideran el área de recepción y despacho, zona de trabajo técnico, zona de energización para equipos que requieren calefacción o pruebas, áreas de almacenamiento en racks y espacios destinados a oficina y control operativo.

El diseño incorpora además rutas de circulación, segregación de áreas y señalización, permitiendo optimizar el flujo de materiales y reducir riesgos asociados a manipulación, contaminación o exposición ambiental. Este layout busca asegurar condiciones controladas de almacenamiento, facilitar la ejecución de rutinas de preservación y mejorar la trazabilidad de los componentes.

Desde el punto de vista técnico, la propuesta responde directamente a las desviaciones identificadas en la auditoría, particularmente aquellas relacionadas con exposición a condiciones ambientales adversas, falta de infraestructura adecuada y dificultades en la ejecución de actividades de preservación. En este sentido, el galpón constituye una solución estructural que permite alinear la operación con los estándares OEM y la estrategia corporativa de preservación.

3.2.3. Estándar de preservación técnica.

La presente sección describe el estándar de preservación técnica propuesto para los repuestos críticos considerados en el estudio, con el objetivo de establecer lineamientos homogéneos para su almacenamiento, inspección y control durante periodos prolongados de resguardo.

En este contexto, el estándar propuesto se estructuró como un marco mínimo de intervención para cada familia de materiales críticos, estableciendo actividades, frecuencias, criterios de aceptación y condiciones de almacenamiento que permitieran reducir la variabilidad en la ejecución del proceso.

A partir de ello, se definieron rutinas específicas de preservación para componentes eléctricos, mecánicos y de transmisión, considerando tanto las recomendaciones de fabricantes como las condiciones operacionales observadas en terreno.

- Frecuencia de las intervenciones de preservación (por ejemplo, trimestral, semestral o anual), coherente con la sensibilidad del componente a la corrosión, vibraciones, contaminación, etc.
- Conjunto mínimo de actividades a realizar en cada intervención, tales como:
 - Prueba de giro de ejes en motores, motorreductores y cajas de cambio,
 - Verificación de ausencia de juego axial o ruidos anómalos,
 - Inspección visual del estado de sellos, conectores, superficies pintadas y puntos de apoyo,
 - Revisión y reposición de desecantes o elementos anticorrosivos, verificación del estado de embalajes, tapas de protección y mecanismos de sujeción, en el caso de equipos eléctricos, verificación de condiciones de terminales y cuando proceda, mediciones básicas de aislamiento según estándar interno,
 - Verificación de condiciones de almacenamiento libres de polvo u otros contaminantes, para evitar desgastes prematuros o pérdida de movilidad de partes mecánicas.
 - Conexión de heaters en caso de ser requeridos por los motores eléctricos.
 - Mayor cuidado en la gestión de traslados, evitando rayaduras o deterioro en sus partes eléctricas o mecánicas, resguardando el embalaje original cuando sea posible, favoreciendo la garantía con el fabricante del material crítico, en caso de que ésta siga vigente.
- Criterios de aceptación y rechazo que permitan determinar si el componente se mantiene en condición apta para permanecer en stock o si requiere intervención adicional derivándolo a evaluación del fabricante.

Este estándar se documenta y vincula explícitamente con los procedimientos PRES.WIN existentes (por ejemplo, PRES.WIN.004 para motores y cajas de cambio, PRES.WIN.005/006 para inspecciones mecánicas y eléctricas), de manera que la propuesta no genere un sistema paralelo, sino que ordene y refuerce lo ya definido por la organización.

Al aplicar este estándar en un entorno con infraestructura adecuada (sección 3.2.2), se da respuesta directa a las desviaciones observadas en la auditoría relacionadas con la ejecución incompleta o inconsistente de las actividades de preservación, asegurando que el tratamiento de los materiales críticos sea homogéneo y trazable entre bodegas.

3.2.4. Flujo operativo de preservación y roles.

Finalmente, para responder a las causas asociadas a Gestión y Mano de Obra, la propuesta incorpora un flujo operativo de preservación que ordena las responsabilidades y los puntos de control desde la recepción del material hasta su entrega a operación. Este diagrama de flujo (Figura 3-2.) busca reducir la variabilidad en la ejecución de las tareas y mejorar la trazabilidad ante futuras auditorías.



Fuente: Elaboración propia, flujo del proceso, año 2025.

Figura 3-2. Diagrama de flujo operativo de preservación.

De forma general, el diagrama de flujo propuesto considera las siguientes etapas:

- 1. Recepción del material crítico en bodega.
 - Verificación de la documentación de recepción, condición inicial y concordancia con lo solicitado.
 - Asignación del código SAP y de los atributos de criticidad definidos por la estrategia de materiales.
- 2. Clasificación y asignación de la estrategia de preservación.

- Identificación de la familia de equipo (motor, bomba, caja de cambio, etc.).
 - Asignación automática o manual del estándar de preservación correspondiente (PRES.WIN asociado).
- 3. Ubicación física en infraestructura de almacenamiento controlado.
 - Asignación de posición en racks o áreas delimitadas según la tipología del equipo.
 - Registro en SAP de la ubicación y cuando corresponda, asociación a la tarjeta de preservación física o digital.
- 4. Ejecución de actividades de preservación preventiva (IPM).
 - Realización de las actividades definidas en el estándar (giro de ejes, inspecciones, reposiciones, etc.) en las frecuencias establecidas.
 - Registro de resultados en las tarjetas de preservación y en SAP, incluyendo evidencia fotográfica cuando sea necesario.
- 5. Revisión y seguimiento por parte de la supervisión.
 - Validación periódica de la correcta ejecución de las tareas.
 - Análisis de hallazgos recurrentes, tendencias de deterioro y generación de acciones de mejora.
- 6. Almacenamiento o consolidación del material.
 - Verificación final de la condición del componente antes de consolidarlo en sistema o despacharlo a operación.
 - Cierre de las actividades de preservación asociadas y actualización del estado en SAP.

Este flujo define también los roles y responsabilidades del personal de bodega, técnicos de preservación, supervisores y áreas de gestión de inventarios. De esta forma se reduce la dependencia de prácticas individuales y se fortalece la capacidad de demostrar, ante futuras auditorías, que las desviaciones detectadas en 2023 han sido abordadas mediante un proceso formal y controlado.

Además la solución propuesta consideró el uso de SAP como herramienta de soporte para la trazabilidad del proceso de preservación, permitiendo identificar materiales críticos, asociar inspecciones preventivas de mantenimiento (IPM), registrar sub-notificaciones cuando correspondiera y mantener respaldo auditable de las actividades ejecutadas. En este sentido, SAP no fue planteado como una solución independiente, sino como un medio de control y seguimiento operacional complementario a la infraestructura del galpón, las rutinas técnicas de preservación y la gestión documental del proceso.

3.3. EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PROPUESTA.

La presente sección tiene por objetivo evaluar, desde un punto de vista técnico, en qué medida la propuesta de preservación desarrollada en este capítulo responde a las desviaciones identificadas en la auditoría 2023 y a las brechas levantadas en el Capítulo 2. Para ello, primero se compara la situación actual con la situación propuesta, luego se analiza su contribución a la integridad y continuidad operacional y finalmente, se revisa el grado de cumplimiento respecto de los estándares internos y las recomendaciones de los fabricantes (OEM).

3.3.1. Comparación con la situación actual

En la situación actual, la auditoría 2023 evidenció que la preservación de materiales críticos presenta debilidades importantes en tres dimensiones principales:

- **Control ambiental insuficiente:** una parte relevante de los motores, cajas de cambio, bombas y otros componentes se almacena en zonas con exposición a polvo, humedad, variaciones de temperatura y radiación solar, sin una infraestructura diseñada específicamente para su preservación.
- **Dispersión y desorden en el almacenamiento:** Los materiales se encuentran distribuidos en diferentes bodegas y patios, con criterios de ubicación que no siempre consideran la familia de equipo, su criticidad o los requisitos particulares de preservación. Esto dificulta tanto la planificación como la ejecución oportuna de las rutinas de preservación.

- Desalineación parcial con lineamientos internos y OEM: Si bien existen procedimientos y lineamientos corporativos (por ejemplo, PRES.WIN y WIL Preservación), su aplicación no es homogénea entre ubicaciones y en algunos casos, las actividades realizadas no alcanzan el nivel de detalle o la frecuencia recomendada por los fabricantes.

Frente a esta realidad, la situación propuesta plantea un escenario significativamente distinto:

- Se habilita un galpón de almacenamiento, con áreas techadas, segregación por familias y condiciones físicas que facilitan el cumplimiento de los requisitos ambientales para motores, reductores, bombas y otros equipos.
- Se establece un ordenamiento sistemático y trazable de los materiales críticos, de manera que cada componente tenga una ubicación definida, asociada a su estrategia de preservación y registrada en SAP, mejorando la visibilidad y el control sobre el stock.
- Se fortalece la alineación con los lineamientos internos y las recomendaciones OEM, mediante la definición de un estándar de preservación por familia que explicita actividades, frecuencias y criterios de aceptación, reduciendo la variabilidad en la ejecución entre distintas bodegas y equipos.

En síntesis, la comparación muestra que la propuesta no se limita a un cambio puntual, sino que configura un sistema de preservación más robusto y controlado, que corrige las principales debilidades observadas en la situación actual.

3.3.2. Contribución a la integridad y continuidad operacional

La propuesta técnica tiene como foco reducir el riesgo de falla asociada a la degradación de repuestos durante su almacenamiento. Al contar con infraestructura adecuada, métodos de preservación definidos y una ejecución disciplinada de las rutinas, se espera:

- Disminuir la probabilidad de que un motor, caja de cambio o bomba falle prematuramente al ser instalado debido a corrosión, contaminación, deformaciones mecánicas u otros daños originados en bodega.
- Reducir el número de órdenes de trabajo correctivas generadas por problemas atribuibles a una preservación deficiente, tales como ruidos anómalos al primer giro, filtraciones, altas corrientes de arranque o fallas de aislamiento.
- Aumentar la confianza en la condición de los materiales críticos, permitiendo que los equipos de operación y mantención puedan planificar sus intervenciones con menor incertidumbre respecto del estado de los repuestos disponibles.

Esto resulta especialmente relevante para los componentes catalogados como materiales críticos, en los cuales una falla no solo implica el costo directo del repuesto, sino también impactos significativos en la continuidad operacional, tiempos de detención y cumplimiento de la producción. Al mejorar la preservación precisamente de estos equipos, la propuesta contribuye de forma directa a la gestión del riesgo operacional, reduciendo la probabilidad de eventos de alto impacto.

En consecuencia, la evaluación técnica permite concluir que la propuesta representa un aporte concreto al resguardo y disponibilidad de los activos, al asegurar que los componentes críticos almacenados lleguen a su instalación en condiciones compatibles con su diseño y con las expectativas de desempeño al ser requeridos en la operación.

3.3.3. Cumplimiento de estándares y recomendaciones OEM.

Un aspecto clave de la evaluación técnica corresponde al grado de cumplimiento de la propuesta respecto de los estándares internos de la compañía y de las recomendaciones de los fabricantes (OEM). En el Capítulo 2 se evidenciaron brechas entre lo recomendado por los OEM, lo establecido en la estrategia corporativa de materiales críticos de BHP y lo que efectivamente se realizaba en terreno.

La propuesta desarrollada en este capítulo busca precisamente cerrar esas brechas, lo que puede sintetizarse de la siguiente manera:

- En relación con los OEM, se incorporan las exigencias de almacenamiento, protección, rotación de ejes, control de humedad y otros requisitos específicos para motores, cajas de cambio y bombas, integrándolos en el estándar de preservación por familia.
- Respecto de la estrategia BHP y los lineamientos internos (por ejemplo, WIL Preservación y PRES.WIN), la propuesta traduce estos documentos en prácticas concretas, frecuencias definidas, uso de tarjetas de preservación, registros en SAP y responsabilidades claras por rol.
- Finalmente, la propuesta integral combina ambas fuentes (OEM y BHP) y las aterriza a la realidad operativa de Minera Escondida, complementando la normativa con infraestructura adecuada y un flujo operativo que hace viable su cumplimiento sostenido en el tiempo.

De este modo, la evaluación técnica muestra que la solución propuesta no es solo una mejora local, sino un alineamiento sistemático entre lo que recomiendan los fabricantes, lo que exige la estrategia corporativa y lo que realmente se ejecuta en terreno. Esto permite afirmar que la propuesta cubre las brechas identificadas en el Capítulo 2, fortaleciendo la capacidad de la organización para enfrentar futuras auditorías con un proceso de preservación más sólido, trazable y acorde con las mejores prácticas de la industria.

3.4. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA MEDIANTE FLUJO DE CAJA.

Con el objetivo de respaldar la viabilidad económica de la propuesta técnico-económica de preservación, se elaboró un flujo de caja proyectado a cinco años (años 1 a 5), incorporando los ahorros esperados asociados a la disminución de fallas por degradación de componentes, la reducción de retrabajos. Estos beneficios se generan por la implementación de almacenamiento controlado y una ejecución más eficiente de las rutinas de preservación. Asimismo, se consideran los costos de operación de la nueva estrategia y la inversión inicial requerida en infraestructura y recursos asociados.

Este análisis permite cuantificar si la propuesta, además de resolver brechas técnicas levantadas en la auditoría 2023, genera valor económico para la organización.

3.4.1. Supuestos y estructura del flujo de caja.

Para el diseño del flujo de caja se utilizaron los siguientes supuestos:

- Horizonte de evaluación: 5 años.
- Tasa de descuento: 15%, se utiliza para representar el costo de capital y el nivel de exigencia de rentabilidad aplicado a proyectos internos en el rubro minero, donde existe incertidumbre operacional y prioridad por inversiones que recuperen valor en plazos acotados. En este sentido, se adopta un valor conservador respecto a tasas típicas de referencia, con el fin de no sobreestimar la conveniencia económica del proyecto y reflejar un escenario más exigente para la toma de decisiones.
- Impuesto a la renta: 25% como un supuesto estándar para estimar la carga tributaria sobre el resultado operacional del proyecto, permitiendo proyectar flujos netos después de impuestos de manera coherente con el tratamiento contable-financiero utilizado en evaluaciones económicas.
- Inversión en activos fijos (CAPEX): 28.000 USD en el año 0, correspondiente a la habilitación y adecuación de un galpón ya existente para almacenamiento controlado, adquisición e instalación de racks y soportes, señalización y adecuaciones necesarias para ejecutar el estándar de preservación (incluyendo zonas de energización y control operacional).
- Capital de trabajo: 1.000 USD en el año 0, recuperado en el año 5.
- Ahorro anual base por mejora en preservación: 12.000 USD en el año 1, correspondiente a una estimación conservadora de beneficios evitados por disminución de fallas, retrabajos, devoluciones a proveedor y compras de emergencia asociadas al almacenamiento deficiente de materiales críticos.

- Crecimiento de los ahorros: 3% anual, utilizado para representar la estabilización progresiva del estándar de preservación y la captura gradual de eficiencias operacionales durante el horizonte de evaluación.
- Depreciación contable: 2.800 USD/año (vida útil referencial de 10 años para racks y adecuaciones, para efecto de evaluación se aplica depreciación lineal durante el horizonte).
- Para efectos de esta evaluación, el análisis se estructuró sobre flujo operativo de caja (OCF), ya que este permite reflejar de mejor forma los flujos reales del proyecto. EBITDA corresponde a un indicador contable, mientras que el flujo de caja es la base para el cálculo de VAN y TIR, por lo que resulta más adecuado para la evaluación económico-financiera de la propuesta.

Bajo los supuestos definidos para la evaluación económico-financiera, la Tabla 3-1 presenta el flujo de caja de la propuesta de habilitación y adecuación del galpón de almacenamiento. En ella se consideran los ahorros esperados por mejora en la preservación, los costos de operación de la estrategia, la depreciación contable, el efecto tributario, la recuperación del capital de trabajo y el valor residual de los activos al final del horizonte de evaluación.

Tabla 3-1. Flujo de caja de la propuesta de habilitación y adecuación del galpón de almacenamiento.

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ahorros por preservación	0	12.000	12.360	12.731	13.113	13.506
Costos operación estrategia	0	1.500	1.545	1.591	1.639	1.688
Resultado antes de depreciación	0	10.500	10.815	11.139	11.474	11.818
Depreciación	0	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800
Utilidad antes de imp.	0	7.700	8.015	8.339	8.674	9.018
Impuesto 25%	0	1.925	2.004	2.085	2.168	2.254
Utilidad desp. imp.	0	5.775	6.011	6.255	6.505	6.763
+ Depreciación	0	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800
Flujo operativo (OCF)	0	8.575	8.811	9.055	9.305	9.563
Capital de trabajo	-1.000	0	0	0	0	1.000
Inversión en activos fijos	-28.000	0	0	0	0	0
Valor residual activos	0	0	0	0	0	14.000
Flujo Neto de Caja	-29.000	8.575	8.811	9.055	9.305	24.563

Fuente: Elaboración propia, flujo de caja de la propuesta, 2025.

Los resultados muestran que la propuesta genera flujos netos de caja positivos desde el año 1, con una trayectoria creciente entre 8.575 USD y 9.563 USD en el flujo operativo, alcanzando un flujo neto de 24.563 USD en el año 5 debido a la incorporación del valor residual y la recuperación del capital de trabajo. Esto respalda la conveniencia económica de la alternativa evaluada.

Los montos expresados en USD. El año 0 incluye CAPEX y capital de trabajo. El año 5 incluye recuperación de capital de trabajo y valor residual.

El CAPEX considerado corresponde a un valor estimado de referencia para efectos de evaluación económico-financiera de la propuesta. Este valor se definió a partir de antecedentes y rangos de costo levantados con apoyo de información referenciada por el equipo de ingeniería “Coordinator Warehouse” W&I Operations de Minera Escondida BHP. No obstante, el valor definitivo deberá confirmarse en la etapa del desarrollo con el equipo de ingeniería y validación conforme a los procesos internos de aprobación y abastecimiento.

3.4.2. Flujo operativo y flujos netos de caja.

Los ahorros por preservación fueron estimados como un beneficio económico anual asociado a la reducción de pérdidas evitables en el proceso de almacenamiento de materiales críticos. En particular, se consideraron cuatro fuentes principales de ahorro:

- Disminución de fallas o deterioros atribuibles a condiciones inadecuadas de preservación.
- Reducción de retrabajos derivados de inspecciones correctivas o reacondicionamientos no planificados.
- Menor necesidad de devolución o gestión con proveedores por pérdida de condición del componente.
- Disminución de compras de emergencia asociadas a repuestos no disponibles en condición apta al momento de ser requeridos.

Dado que no se contó con una serie histórica consolidada de costos de falla para cada componente, el ahorro anual fue definido como un supuesto técnico-económico conservador, construido a partir del juicio experto sobre la situación observada en terreno, la magnitud de la brecha detectada en el almacenamiento y el efecto esperado de

consolidar materiales críticos en un galpón con mejores condiciones de preservación y control. Bajo este criterio, se adoptó un ahorro base de 12.000 USD para el año 1.

Para los años siguientes, se consideró un crecimiento anual de 3%, con el fin de representar la estabilización progresiva del estándar propuesto, la mejora en la ejecución de rutinas de preservación, el fortalecimiento de la trazabilidad y una captura gradual de beneficios operacionales. En consecuencia, los ahorros evolucionaron desde 12.000 USD en el año 1 hasta 13.506 USD en el año 5.

Por su parte, los costos de operación de la estrategia (OPEX), asociados a la ejecución de rutinas IPM, consumibles y control operacional, se situaron entre 1.500 y 1.688 USD anuales. En consecuencia, el resultado operacional antes de depreciación se mantuvo en niveles superiores a 10.500 USD, reflejando que los beneficios operacionales esperados superaron los costos anuales de implementación de la estrategia.

Considerando la depreciación anual de 2.800 USD, la utilidad antes de impuestos se ubicó entre 7.700 y 9.018 USD y, aplicando una tasa de impuesto del 25%, se obtuvo un impuesto entre 1.925 y 2.254 USD, resultando utilidades después de impuestos entre 5.775 y 6.763 USD.

Al sumar nuevamente la depreciación (gasto no desembolsado), se obtiene el flujo operativo de caja (OCF) del proyecto, que presenta la siguiente trayectoria aproximada:

- Año 1: 8.575 USD.
- Año 2: 8.811 USD.
- Año 3: 9.055 USD.
- Año 4: 9.305 USD.
- Año 5: 9.563 USD.

A estos flujos operativos se agregan, en el año 5, la recuperación del capital de trabajo (1.000 USD) y el valor residual de los activos fijos (14.000 USD).

De esta forma, los flujos netos de caja del proyecto quedan resumidos en:

- Año 0: -29.000 USD. (28.000 USD de inversión en activos fijos más 1.000 USD de capital de trabajo).
- Años 1 a 4: flujos netos positivos entre 8.575 y 9.305 USD.

- Año 5: 24.563 USD (flujo operativo más recuperación de capital de trabajo y valor residual).

3.4.3. Resultados VAN, TIR, IVAN y periodo de recuperación.

A partir del flujo de caja presentado y con una tasa de descuento del 15% se obtienen los siguientes indicadores:

- Valor Actual Neto (VAN): 8.605 USD.
- Tasa Interna de Retorno (TIR): 25%.
- IVAN 0,30 (VAN / inversión inicial).

El VAN positivo indica que una vez actualizados todos los flujos a la tasa de descuento definida, la propuesta genera un excedente de 8.605 USD por sobre el costo de capital, es decir, crea valor para la compañía.

La TIR del 25% se encuentra por encima de la tasa de descuento del 15%, lo que confirma que la rentabilidad de la propuesta supera el rendimiento mínimo exigido para proyectos de este tipo.

Adicionalmente, se calculó el Índice de Valor Actual Neto (IVAN), definido como la razón entre el VAN y la inversión inicial del proyecto. El IVAN obtenido es aproximadamente 0,30 USD lo que significa que por cada unidad monetaria invertida en habilitar el galpón y adecuar el estándar de preservación, se genera un valor actual neto adicional equivalente al 30% de la inversión. Este resultado refuerza la conveniencia de la propuesta, ya que, no solo recupera el capital invertido, sino que también crea valor para la organización.

En términos de recuperación:

- Payback simple: la inversión se recupera entre los años 3 y 4 (aprox. 3,3 años).
- Payback descontado (15%): la recuperación se produce entre los años 4 y 5 (aprox. 4,3 años).

Si se analiza el periodo de recuperación simple, la suma acumulada de los flujos netos permite recuperar la inversión inicial de 29.000 USD entre los años 3 y 4 del

horizonte de evaluación, lo que se considera un plazo razonable para una propuesta de mejora en infraestructura y procesos de preservación.

3.4.4. Interpretación y conclusión económica.

Los resultados del flujo de caja muestran que la propuesta de habilitar y adecuar el galpón existente, junto con la estandarización del proceso de preservación, genera flujos netos positivos sostenidos y presenta indicadores financieros favorables ($VAN > 0$, $TIR >$ tasa de descuento e $IVAN > 0$). Esto respalda que la inversión se justifica económicamente en la medida que reduce costos asociados al deterioro de materiales críticos, disminuye retrabajos y evita contingencias operacionales derivadas de repuestos en condición no conforme.

En consecuencia, se concluye que la propuesta es económicamente conveniente y consistente con el objetivo de mejorar el desempeño del almacenamiento y preservación de repuestos críticos, aportando valor y reduciendo el riesgo operacional asociado a condiciones de almacenamiento no controladas.

3.5. **ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD Y RIESGOS DE LA PROPUESTA.**

Una vez evaluada la propuesta desde el punto de vista económico mediante el flujo de caja (sección 3.4), resulta relevante analizar qué tan robustos son esos resultados frente a posibles variaciones de la propuesta, así como identificar los riesgos asociados a su implementación.

El objetivo de esta sección es verificar si la conveniencia económica se mantiene bajo escenarios razonables de cambio en los costos y beneficios, reconociendo los principales riesgos técnicos y organizacionales que podrían afectar la puesta en marcha del galpón de preservación.

3.5.1. Sensibilidad del VAN, TIR y IVAN.

El flujo de caja presentado en la sección 3.4. se diseñó a partir de supuestos base respecto de la inversión inicial del galpón, los ahorros por mejora en la preservación y los costos de operación de la estrategia. En la práctica, estas variables pueden experimentar desviaciones, por lo que se evaluaron dos escenarios de sensibilidad.

- Escenario A – Aumento del CAPEX:

Se considera un incremento del 15% en la inversión inicial del proyecto (galpón, racks y adecuaciones), manteniendo constantes los demás supuestos. En este caso, el VAN disminuye desde aproximadamente 8.600 USD a un valor cercano a 4.400 USD, mientras que la TIR se reduce desde 25% a alrededor de 22%. El IVAN pasa desde 0,30 a un valor en torno a 0,13. Aun así, la TIR se mantiene por encima de la tasa de descuento del 15%, por lo que el proyecto sigue siendo atractivo incluso si el costo del galpón resulta mayor al estimado inicialmente.

- Escenario B – Disminución de los ahorros por preservación:

Se analiza una reducción del 10% en los ahorros anuales asociados a la mejora en la preservación (menor deterioro de repuestos, etc.), manteniendo constante la inversión inicial. En este escenario, el VAN se reduce respecto del caso base, pero continúa siendo positivo, del orden de 5.400 USD y la TIR se sitúa en torno al 21%. El IVAN baja desde ~0,30 a un valor aproximado de 0,19, manteniéndose igualmente sobre cero. Esto indica que aun con ahorros significativamente menores a los estimados, la propuesta conserva su conveniencia económica frente a la tasa de descuento utilizada.

Con el propósito de facilitar la comparación entre el caso base y los escenarios evaluados, la Tabla 3-2 resume los principales resultados del análisis de sensibilidad, considerando variaciones en la inversión inicial y en los ahorros esperados por mejora en la preservación.

Tabla 3-2. Resultados de análisis de sensibilidad de la propuesta.

Escenario	Supuesto evaluado	VAN (USD)	TIR	IVAN	Interpretación
Caso base	Supuestos originales del flujo de caja	8.605	25%	0,3	Proyecto económicamente conveniente
Escenario A	Aumento de 15% en CAPEX	4.400	22%	0,13	Sigue siendo atractivo; TIR > 15%
Escenario B	Disminución de 10% en ahorros por preservación	5.400	21%	0,19	Mantiene VAN positivo y creación de valor

Fuente: Elaboración propia, tabla de sensibilidad, 2025.

En conjunto, estos resultados muestran que la conveniencia económica del proyecto no depende de un único punto de estimación, sino que se mantiene bajo variaciones razonables del costo del galpón y de los ahorros esperados. En ambos escenarios, el VAN se mantiene positivo, la TIR se sitúa por sobre la tasa de descuento del 15% y el IVAN permanece mayor que cero, lo que confirma que la propuesta continúa generando valor. La propuesta se muestra, por tanto, moderadamente sensible a estas variables, pero conserva su viabilidad económica en los escenarios analizados.

3.5.2. Riesgos de implementación y medidas de mitigación.

Además de la sensibilidad económica, la habilitación del galpón y la aplicación del estándar de preservación enfrentan una serie de riesgos técnicos y organizacionales, entre los que destacan:

- Riesgos técnicos de diseño del galpón: Posible sobredimensión del área útil o distribución inadecuada de racks y accesos, que complique las maniobras de izaje o no permita alojar todos los componentes actualmente en patios exteriores.
- Riesgos operacionales y de disciplina en la preservación: Que las rutinas de preservación definidas (giro de ejes, inspecciones, reposición de desecantes, registros en SAP) no se ejecuten con la frecuencia y alcance establecidos.
- Medidas de mitigación: Capacitación formal al personal de bodega y preservación, definición de responsables por área y establecimiento de indicadores de cumplimiento (checklist cerrados, número de IPM ejecutadas vs. programadas, etc.).
- Riesgos de estimación de beneficios: Que los ahorros reales resulten menores a los estimados en el flujo de caja, ya sea por menor reducción de fallas o por cambios en los patrones de uso de los repuestos.
- Riesgo de procedimientos: Utilizar supuestos conservadores (como los escenarios de sensibilidad analizados), revisar anualmente los resultados obtenidos y ajustar el estándar de preservación en función de la

experiencia operativa.

En síntesis, el análisis de sensibilidad y de riesgos muestra que, aun considerando variaciones razonables en los costos y beneficios, la propuesta se mantiene como una alternativa robusta en términos técnicos y económicos para reducir el deterioro de los materiales críticos actualmente almacenados en patios exteriores.

3.6. SÍNTESIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS RECOMENDADA.

La presente sección tiene por finalidad integrar y sintetizar los resultados obtenidos en la evaluación técnica y económica de la propuesta desarrollada en este capítulo, con el propósito de fundamentar la alternativa recomendada. En este sentido, se consolidan los principales beneficios de la solución propuesta en términos de reducción de brechas identificadas en la auditoría 2023, mejora en las condiciones de preservación de materiales críticos y generación de valor para la organización, permitiendo sustentar su implementación desde un enfoque técnico-operacional y financiero.

3.6.1. Síntesis de los resultados técnicos.

El análisis desarrollado en este capítulo permitió concluir que la propuesta de habilitar un galpón de preservación y ejecutar sistemáticamente las prácticas recomendadas por los fabricantes constituyó una respuesta técnica directa a las desviaciones identificadas en la auditoría 2023 y al diagrama de causa–efecto levantado en el diagnóstico.

Desde el punto de vista técnico, la solución:

- Corrige las debilidades asociadas al ambiente de almacenamiento, trasladando los materiales críticos, hoy ubicados en patios exteriores a un espacio controlado, con segregación por familias y facilidades para ejecutar las rutinas de preservación.
- Refuerza los métodos de preservación, mediante la aplicación disciplinada de los procedimientos PRES.WIN y las recomendaciones OEM, con frecuencias claras y criterios de aceptación o rechazo.

- Mejora la gestión y trazabilidad del proceso, a través de registros sistemáticos (tarjetas de preservación, respaldos fotográficos, actualizaciones en SAP), definición de roles y responsabilidades.

En conjunto, estos elementos permiten reducir el riesgo de falla de los materiales críticos por deterioro en almacenamiento y aumentar la confianza en su condición al momento de ser instalados, contribuyendo a la disponibilidad y continuidad operacional de los equipos a los que están asociados.

3.6.2. Síntesis de los resultados económico-financieros.

La evaluación mediante flujo de caja a cinco años demuestra que la propuesta, además de técnicamente sólida, es económicamente conveniente:

- El proyecto requiere una inversión inicial del orden de 29.000 USD (infraestructura del galpón, racks, adecuaciones y capital de trabajo).
- Los ahorros anuales por mejora en la preservación, descontando los costos de operación de la estrategia, generan flujos netos positivos crecientes, con un flujo de 24.563 USD, que incluye el valor residual de la infraestructura y la recuperación del capital de trabajo.
- Con una tasa de descuento del 15%, se obtiene un VAN aproximado de 8.600 USD y una TIR del 25%, superior al costo de capital utilizado, lo que indica creación de valor para la compañía.
- El IVAN alcanza un valor cercano a 0,30. Es decir, por cada unidad monetaria invertida se genera un valor actual neto adicional equivalente al 30% de la inversión.

El análisis de sensibilidad muestra que, incluso ante aumentos moderados en el CAPEX o reducciones conservadoras en los ahorros, el proyecto mantiene VAN positivo TIR superior a la tasa de descuento, evidenciando una conveniencia económica robusta frente a variaciones razonables de los supuestos.

3.6.3. Selección de alternativa y recomendaciones finales.

Considerando los resultados técnicos y económico–financieros, se evaluaron dos escenarios:

- Escenario sin propuesta (situación actual): Mantener la condición actual, con almacenamiento parcial en patios exteriores, variabilidad en la ejecución del estándar de preservación.
- Escenario con propuesta (galpón con mejoras de preservación): Implementar la solución propuesta mediante la habilitación y adecuación del galpón existente, con zonificación por familias, áreas controladas (energización y cuarentena), estandarización de rutinas PRES.WIN/WIL Preservación, recomendaciones OEM y trazabilidad mediante registros y SAP.

Desde un punto de vista gerencial, el escenario con proyecto es el recomendado, dado que aborda directamente las causas raíz identificadas en la auditoría 2023 y reduce los principales riesgos operacionales asociados al deterioro de repuestos críticos. En particular, la alternativa propuesta:

- Disminuye la probabilidad de fallas al momento de instalación, al asegurar condiciones de almacenamiento más controladas y rutinas de preservación ejecutadas de manera disciplinada.
- Reduce pérdidas económicas evitables, asociadas a repuestos no conformes, retrabajos, derivaciones correctivas y compras de emergencia.
- Mejora la gobernanza del proceso, al establecer segregación física, control operacional y trazabilidad documentada, elementos claves para auditorías y control interno.

Adicionalmente, la evaluación económica respalda la conveniencia de la inversión, con VAN positivo, TIR superior a la tasa de descuento e IVAN mayor que cero, evidenciando creación de valor en el horizonte analizado. En consecuencia, se recomienda implementar la alternativa de habilitación y adecuación del galpón de preservación,

formalizando el estándar operativo descrito en este capítulo, como medida prioritaria para cerrar brechas de la auditoría 2023 y fortalecer la disponibilidad de materiales críticos para la operación.

CONCLUSIONES.

El presente trabajo tuvo como propósito abordar la problemática asociada a la preservación de materiales críticos en Minera Escondida BHP, a partir de las desviaciones identificadas en la auditoría realizada por la gerencia en 2023. Los principales resultados permiten extraer las siguientes conclusiones generales:

- La situación inicial evidenciaba una problemática sistémica de preservación.

El análisis de la auditoría y del diagrama de causa–efecto (cola de pescado) mostró que las desviaciones no se limitaban a casos puntuales, sino que respondían a una combinación de factores, tales como el ambiente de almacenamiento inadecuado (patios exteriores y zonas sin control ambiental), aplicación no homogénea de los métodos de preservación (PRES.WIN, WIL Preservación y recomendaciones de OEM) y debilidades en la gestión y trazabilidad de las actividades realizadas sobre los repuestos críticos.

- La propuesta técnica permite traducir el diagnóstico en una solución concreta.

El diseño de un galpón de preservación dedicado, junto con la ejecución sistemática de un estándar de preservación alineado con los manuales de los fabricantes y con los procedimientos internos, constituye una respuesta directa a las causas raíz identificadas. La solución mejora las condiciones físicas de almacenamiento, ordena el flujo operativo de preservación, fortalece los registros y responsabilidades, reduciendo el riesgo de deterioro de los materiales mientras permanecen en stock.

- La propuesta contribuye a la integridad y continuidad operacional.

Al disminuir la probabilidad de fallas asociadas a repuestos deteriorados durante el almacenamiento (motores, cajas de cambio, bombas, entre otros), la propuesta aporta a la confianza de los activos y disminuye la necesidad de intervenciones correctivas no planificadas, así como la ocurrencia de materiales declarados en las inspecciones técnicas.

- La evaluación económico–financiera demuestra que la propuesta genera valor.

El flujo de caja a cinco años, que considera la inversión inicial en galpón y adecuaciones, los costos de operación de la estrategia y los ahorros por mejora en la preservación, arroja un VAN positivo, una TIR superior a la tasa de descuento y un IVAN

mayor que cero, lo que indica que la propuesta no solo recupera la inversión, sino que además crea valor para la compañía al reducir costos por fallas, retrabajos, materiales perdidos y compras de emergencia.

- La conveniencia económica es robusta frente a variaciones razonables.

El análisis de sensibilidad mostró que incluso ante aumentos moderados en el costo del galpón o reducciones conservadoras en los ahorros esperados, el proyecto mantiene VAN positivo y TIR superior al costo de capital, lo que refuerza la solidez de la recomendación desarrollada.

En conjunto, se concluye que la propuesta de habilitar el galpón de preservación y la aplicación sistemática de las prácticas recomendadas por la OEM, junto con los procedimientos internos constituye una alternativa técnica y económicamente viable, capaz de cerrar las brechas detectadas en la auditoría 2023 y de mejorar la gestión de los materiales críticos en Minera Escondida BHP.

RECOMENDACIONES.

A partir de los resultados obtenidos y de las conclusiones del estudio, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Avanzar en la implementación del galpón de preservación.

Gestionar la materialización del galpón en el patio definido para preservación, con la capacidad y características requeridas para albergar los materiales críticos actualmente ubicados en patios exteriores, asegurando condiciones ambientales y de acceso acordes a las exigencias de los fabricantes.

- Formalizar el estándar de preservación en la documentación interna.

Incorporar el estándar de preservación desarrollado en este trabajo en los procedimientos formales (PRES.WIN, WIL Preservación y documentos complementarios), de modo que las actividades, frecuencias y criterios de aceptación queden claramente establecidos y sean exigibles en todas las bodegas involucradas.

- Fortalecer la capacitación y la cultura de preservación.

Implementar programas de capacitación específicos para el personal de bodega y preservación, orientados a reforzar la importancia de las rutinas de preservación, el registro adecuado en tarjetas y sistemas (por ejemplo, SAP) y el uso correcto del galpón, promoviendo una cultura de cuidado de los materiales críticos.

- Monitorear y revisar periódicamente el desempeño de la estrategia.

Definir e implementar indicadores simples (como número de materiales con hallazgos en inspecciones, cantidad de repuestos por mala preservación y nivel de cumplimiento de IPM programadas) y revisarlos periódicamente, ajustando el estándar y las prácticas operacionales en función de los resultados.

- Explorar la consolidación del enfoque a otras familias de materiales.

Una vez implementado, estabilizado el galpón y el estándar de preservación para

motores, cajas de cambio y bombas, evaluar la posibilidad de extender progresivamente este enfoque a otras familias de componentes críticos, tales como sistemas hidráulicos o equipos electrónicos sensibles, utilizando la misma lógica de diagnóstico, diseño de propuesta y evaluación técnico-económica aplicada en este estudio.

BIBLIOGRAFÍA.

ABB Group. (2009). *MN417: Long-Term Storage of Motors – Technical Guide*. ABB Library.

American Petroleum Institute (API). (2011). *API 686: Machinery Installation and Installation Design*. Washington, DC: API Publishing.

BHP Minera Escondida Ltda. (2023). *Estrategia WIL – Preservación de repuestos críticos*. Documento interno, área de mantenimiento MinAm.

BHP Minera Escondida Ltda. (2023). *PRES.WIN.004 – Preservación de motores y cajas de cambio*. Documento interno, Gerencia de Mantenimiento.

BHP Minera Escondida Ltda. (2023). *PRES.WIN.005 – Inspección de mantenimiento preventivo 12M – Mecánico*. Documento interno, Gerencia de Mantenimiento.

BHP Minera Escondida Ltda. (2023). *PRES.WIN.006 – Inspección de mantenimiento preventivo 12M – Eléctrico*. Documento interno, Gerencia de Mantenimiento.

Cañón, J., & Gómez, D. (2020). *Gestión de activos y preservación de equipos industriales*. Revista Ingeniería y Desarrollo, 38(1), 45–59.

Excel “Flujo de caja” (2025). Autor Ramón Flores.

Flender GmbH. (2010). *Gear Units: Transport, Storage, Assembly and Commissioning Manual*. Siemens AG.

Hansen Industrial Transmissions. (2021). *P4 Gear Units: Storage and Preservation Guidelines*. Sumitomo Drive Technologies.

International Organization for Standardization (ISO). (2014). *ISO 55001:2014 – Asset Management – Management Systems – Requirements*. Geneva, Switzerland.

KSB SE & Co. KGaA. (2022). *Storage and Preservation of Pumps – Technical Instructions (Movitec/HPK series)*. Frankenthal, Germany.

SEW-Eurodrive GmbH. (2012). *Extended Storage and Transport Manual*. Bruchsal, Germany.

Siemens AG. (2023). *IPH3 Low Voltage Motors – Transport and Storage Manual*. support.industry.siemens.com

Sulzer Ltd. (2021). *ABS Pump Storage and Preservation Instructions (IOM Manual)*. Winterthur, Switzerland: Sulzer Pumps.

WEG S.A. (2024). *WMO / W60 Motors – Safe Área Storage and Preservation Manual*. Jaraguá do Sul, Brazil: WEG.net.

Workmate SpA. (2025). Página web. [Workmate - Especializados en materias de servicios laborales y logística](#)