

Diagnóstico del nivel de madurez en la gestión de mantenimiento y formulación de un plan estratégico de mejora basado en normas internacionales alineado con los principios de la norma ISO 55001 en una empresa minera enfocada en la producción de carbonato de calcio

Isaac Aquino Cuti

Christian David González Martínez

Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad del Valle

Febrero 2026

Nota del Autor

Isaac Aquino Cuti, Christian David González Martínez; Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad del Valle, Cali.

Este documento cuenta con la dirección de proyecto de profundización del Profesor Adolfo L. Gómez M.Sc. y Codirección del Doctor Luis Alberto Mora Gutiérrez.

Trabajo de profundización para optar por el título de Magíster en Gestión de Activos y Mantenimiento.

Cualquier mensaje con respecto a este trabajo debe ser enviado a la escuela de ingeniería de la Universidad del Valle, Cali, Colombia.

E-mail: isaac.aquino@correounivalle.edu.co;
christian.david.gonzalez@correounivalle.edu.co

Resumen

La producción de carbonato de calcio se ha consolidado como un proceso esencial dentro de sectores como el industrial, agrícola y minero, debido a sus aplicaciones en plásticos, papel, construcción, fertilización y mejora de suelos, lo que exige niveles crecientes de confiabilidad y estabilidad operativa (Yu-Qin Niu, 2022). En empresas mineras de pequeña escala, el mantenimiento influye directamente en la continuidad del proceso y en la sostenibilidad del negocio; sin embargo, múltiples estudios demuestran que estas organizaciones operan con estructuras inmaduras, información incompleta y una fuerte dependencia del mantenimiento reactivo (Errandonea, 2022).

El estudio evalúa la madurez del sistema de mantenimiento de una empresa minera dedicada a la extracción y transformación del carbonato de calcio mediante estándares internacionales.

Los resultados muestran un nivel de madurez básico, reflejado en la ausencia de políticas, procesos formales, indicadores estandarizados y sistemas de información sólidos. La gestión es mayormente correctiva, con baja trazabilidad y poca integración con producción y la gobernanza corporativa. Estas brechas coinciden con lo reportado en la literatura sobre organizaciones con bajo nivel de madurez (Jasiulewicz-Kaczmarek M. , 2018).

A partir de los hallazgos, se formula un plan estratégico estructurado en cinco líneas: fortalecimiento del gobierno del mantenimiento, planificación basada en riesgo, confiabilidad y estandarización operativa, desarrollo tecnológico y gestión del CMMS, y consolidación de competencias organizacionales. Este plan busca orientar la transición hacia un sistema alineado con los modelos internacionales de gestión de activos, para optimizar la continuidad operacional, la toma de decisiones basada en datos y la generación de valor sostenible, tal como destaca la literatura contemporánea en activos físicos (John Hastings, 2015).

Palabras clave: gestión de activos, mantenimiento industrial, madurez organizacional, carbonato de calcio, confiabilidad, ISO 55001, UNE-EN 16646, UNE-EN 17007.

Abstract

The production of calcium carbonate has become an essential process in sectors such as industry, agriculture, and mining, due to its applications in plastics, paper, construction, fertilization, and soil improvement, which demands increasing levels of reliability and operational stability (Yu-Qin Niu, 2022). In small-scale mining companies, maintenance directly influences process continuity and business sustainability; however, multiple studies demonstrate that these organizations operate with immature structures, incomplete information, and a strong dependence on reactive maintenance (Errandonea, 2022).

This study evaluates the maturity of the maintenance system of a mining company dedicated to the extraction and processing of calcium carbonate using international standards.

The results show a basic level of maturity, reflected in the absence of policies, formal processes, standardized indicators, and robust information systems. Management is primarily reactive, with low traceability and little integration with production and corporate governance. These gaps are consistent with what has been reported in the literature on organizations with a low level of maturity (Jasiulewicz-Kaczmarek M. , 2018).

Based on these findings, a strategic plan is formulated, structured around five key areas: strengthening maintenance governance, risk-based planning, operational reliability and standardization, technological development and CMMS management, and consolidating organizational competencies. This plan aims to guide the transition toward a system aligned with international asset management models, optimizing operational continuity, data-driven decision-making, and the generation of sustainable value, as highlighted in contemporary literature on physical assets (John Hastings, 2015).

Keywords: asset management, industrial maintenance, organizational maturity, calcium carbonate, reliability, ISO 55001, UNE-EN 16646, UNE-EN 17007.

Contenido

Resumen	2
Abstract.....	3
Contenido	4
Ilustraciones.....	8
Tablas	9
Introducción y Contexto Operacional	10
Planteamiento De La Oportunidad	13
Límites De La Oportunidad	14
Justificación Del Proyecto	16
Viabilidad de la idea del trabajo de profundización	17
Objetivos.....	19
General.....	19
Específicos.....	19
Objetivo Uno – Estado Actual.	19
Objetivo Dos – Nivel de Madurez.	19
Objetivo Tres – Procesos.	20
Objetivo Cuatro – Brechas y Mejora.	20
Objetivo Cinco – Plan Estratégico	20
Objetivo Seis – Conclusiones	20
Marco Teórico	21
Antecedentes de la investigación o del proyecto	24
Estado del arte	25
Marco Metodológico.....	28
Tipo de estudio y de análisis a desarrollar	28
Diseño metodológico	29
Diagnóstico técnico y organizacional:	29
Actores que participan en el diagnóstico.....	29
Evaluación del nivel de madurez:.....	30
Formulación del plan estratégico de mejora:	31

Fases y etapas del desarrollo	31
Fase I – Caracterización del sistema actual:.....	31
Fase II – Diagnóstico de madurez:.....	31
Fase III – Análisis de brechas:.....	31
Fase IV – Diseño del plan estratégico:	32
Fase V – Validación y conclusiones:	32
Desarrollo	33
Objetivo Uno – Estado Actual	33
Contexto del diagnóstico	34
Políticas, estructura y organización del mantenimiento.....	35
Procesos operativos y administrativos.....	37
Indicadores de gestión y desempeño	40
Indicadores de desempeño operacional.....	42
Eficiencia Global de los Equipos (OEE).....	42
Gestión de repuestos, compras y contratistas.....	43
Personas, competencias y cultura organizacional	44
Herramientas tecnológicas y gestión de información.....	45
Principales brechas identificadas.....	46
Conclusiones del objetivo	47
Objetivo Dos – Nivel de Madurez	48
Metodología aplicada	49
Procedimiento de aplicación.....	50
Resultados de la evaluación.....	51
Análisis comparativo por cláusulas	53
Análisis interpretativo de resultados	54
Conclusiones del objetivo	56
Objetivo Tres - Procesos.....	58
La UNE-EN 17007:2017 como marco estructural	59
Relevancia del diagnóstico por procesos	60

Metodología aplicada	60
Análisis y discusión.....	68
Conclusiones del objetivo	68
Objetivo Cuatro – Brechas y Mejora	70
Metodología para el análisis de brechas	71
Consolidación de hallazgos previos	71
Comparación con requisitos normativos	71
Clasificación de brechas	71
Evaluación del impacto	72
Brechas identificadas en la gestión de mantenimiento.....	72
Análisis integrador de brechas.....	77
Oportunidades de mejora	79
Conclusión general del objetivo.....	81
Objetivo Cinco – Plan Estratégico	83
Metodología para el diseño del plan estratégico	84
Líneas estratégicas del plan de mejora	85
Priorización estratégica del plan	89
Indicadores del plan estratégico	90
Conclusiones del Objetivo 5.....	98
Objetivo Seis – Conclusiones	99
Síntesis de hallazgos por dimensión analizada	100
Integración global de los resultados	103
Conclusión del objetivo	104
Descripción De Como Se Alcanzan Los Objetivos	106
Objetivo Específico 1.....	106
Cómo se alcanza el logro.....	106
Resultado alcanzado	108
Objetivo Específico 2.....	109
Cómo se alcanza el logro.....	109

Resultado alcanzado	110
Objetivo Específico 3	111
Cómo se alcanza el logro.....	111
Resultado alcanzado	111
Objetivo Específico 4	113
Cómo se alcanza el logro.....	113
Resultado alcanzado	113
Objetivo Específico 5	115
Cómo se alcanza el logro.....	115
Resultado alcanzado	116
Objetivo Específico 6	117
Cómo se alcanza el logro.....	117
Resultado alcanzado	117
Resultados más relevantes	118
Referencias.....	122

Ilustraciones

Ilustración 1 – Estados de los equipos en la operación según sistema CMMS Mantum	38
Ilustración 2 – Cantidad de actividades de mantenimiento activas por tipos de mantenimiento.	39
Ilustración 3 Tipos de paros no programados.	40
Ilustración 4 - MTBF de Líneas de Producción de Base de Datos de Producción.	41
Ilustración 5 - MTTR de Líneas de Producción de Base de Datos de Producción.	41
Ilustración 6 - Estructura de Mantenimiento	45
Ilustración 7 – Nivel de madurez de la organización.....	52
Ilustración 8 - Gráfica de barras – Análisis comparativo por cláusulas.....	53
Ilustración 9 - Mapa general de procesos de mantenimiento (UNE-EN 17007).	74
Ilustración 10 - Relación entre brechas y capas de gestión.	76
Ilustración 11 - Mapa estratégico del mantenimiento	86
Ilustración 12 - Ciclo de transformación del mantenimiento (ISO 55001).....	91
Ilustración 13 - Plan estratégico de mantenimiento	92

Tablas

Tabla 1 - Niveles de evaluación del grado de madurez.....	50
Tabla 2 - Síntesis de resultados de evaluación.	56
Tabla 3 – Inventario preliminar de procesos de mantenimiento.....	62
Tabla 4 - Mapeo de los resultados obtenidos.....	64
Tabla 5 – Mapeo de procesos de los resultados obtenidos.....	64
Tabla 6 - Brechas estratégicas identificadas.	72
Tabla 7 - Brechas tácticas identificadas.	73
Tabla 8 - Brechas operativas identificadas.....	74
Tabla 9 - Brechas tecnológicas y de información.	75
Tabla 10 - Brechas culturales y organizacionales.	76
Tabla 11 - Brechas priorizadas según su impacto y urgencia.....	77
Tabla 12 - Relación entre Brechas y Categorías de Madurez (IAM).....	78
Tabla 13 - Brechas según su impacto técnico y económico.	80
Tabla 14 - Relación entre Líneas Estratégicas, Acciones y Normas Asociadas.....	85
Tabla 15 - Priorización del Plan Estratégico (Impacto – Esfuerzo).	90
Tabla 16 - Indicadores Propuestos por Línea Estratégica (KPIs).	91
Tabla 17 - Metas e indicadores asociados a los objetivos de cada fase del plan.	94

Introducción y Contexto Operacional

La industria del carbonato de calcio (CaCO_3) es estratégica porque abastece sectores como papel, plásticos, pinturas, caucho y alimentos, donde se utiliza principalmente como material de carga y agente funcional por su bajo costo, abundancia y buenas propiedades fisicoquímicas. Diversos autores señalan que tanto el carbonato de calcio molido (GCC) como el precipitado (PCC) se han consolidado como alternativas clave para mejorar propiedades mecánicas, ópticas y de procesabilidad en productos industriales, lo que ha impulsado la expansión de plantas de producción a escala global (Wu, Wang, Li, Gong, & Wang, 2023); (Erdogan & EKEN, 2016).

En este tipo de plantas, usualmente de proceso continuo y con altos niveles de automatización, la confiabilidad de los equipos críticos y la gestión del mantenimiento son determinantes para garantizar estabilidad de calidad, cumplimiento de demanda y control de costos energéticos. La literatura en gestión de activos y mantenimiento muestra que, en organizaciones intensivas en activos, la madurez de la gestión de mantenimiento tiene impacto directo en la disponibilidad, en la eficiencia energética y en la sostenibilidad del negocio, al equilibrar costo, riesgo y desempeño a lo largo del ciclo de vida de los activos (Chemweno, Pintelon, Horenbeek, & Muchiri, 2015); (Murthy, Atrens, & Eccleston, 2002); ((GFMAM), 2021).

La gestión moderna del mantenimiento constituye un pilar esencial en la sostenibilidad, competitividad y rentabilidad de las organizaciones industriales. En sectores intensivos en activos físicos, como la minería y la transformación de minerales, la efectividad del mantenimiento determina la capacidad de producción, la estabilidad de los costos operativos y la continuidad de los servicios. De acuerdo con la norma (UNE-EN16646, 2015), el mantenimiento se concibe como una función estratégica integrada dentro de la gestión de activos, cuyo propósito es preservar la capacidad funcional de los equipos a lo largo de su ciclo de vida, contribuyendo directamente a la generación de valor.

La industria minera del carbonato de calcio presenta características operativas particulares: altos niveles de abrasión en los equipos, exposición constante a partículas de polvo, ciclos prolongados de operación continua y condiciones ambientales exigentes. Estas variables incrementan la probabilidad de fallas, reducen la vida útil de los componentes y elevan los costos de mantenimiento correctivo. En consecuencia, las pequeñas y medianas empresas del sector enfrentan el desafío de evolucionar desde esquemas de mantenimiento reactivo hacia modelos de gestión estructurados, medibles y alineados con la estrategia corporativa (Parra, y otros, 2024).

En este contexto, la empresa objeto de estudio, una compañía minera dedicada a la producción de carbonato de calcio mediante procesos de trituración, molienda, clasificación y transporte de material, evidencia una baja integración del mantenimiento dentro de la gestión estratégica, así como limitaciones en el uso de indicadores estandarizados y metodologías de mejora continua. La falta de alineación entre las actividades operativas y la gestión de activos limita la efectividad del mantenimiento, lo que se refleja en una menor disponibilidad de equipos, una respuesta tardía ante fallas y una alta dependencia de intervenciones correctivas no planificadas.

El mantenimiento actual se apoya principalmente en la experiencia empírica de los técnicos y en programas preventivos no sistematizados. Este enfoque, aunque funcional en el corto plazo, no permite garantizar la trazabilidad de las acciones ni facilita la toma de decisiones basada en datos. Según la norma (UNE-EN17007, 2018), la gestión del mantenimiento debe sustentarse en un conjunto de procesos estandarizados e interrelacionados, apoyados en indicadores que midan la eficacia (cumplimiento de objetivos), la eficiencia (uso óptimo de recursos) y la sostenibilidad (capacidad de mejora continua).

Por otra parte, la norma (BS_ISO_55001, 2024) establece que la gestión de activos debe garantizar la alineación entre la estrategia organizacional, los objetivos técnicos y las prácticas operativas, promoviendo el liderazgo, la planificación, la gestión del riesgo y la mejora

continua. Bajo este principio, el mantenimiento deja de ser una actividad de soporte y pasa a convertirse en un componente estratégico que impacta directamente en la productividad y el valor del negocio (Mora Gutierrez A. C., 2024).

La aplicación de las normas EN 16646, EN 17007 e ISO 55001 en el ámbito minero permite evaluar el nivel de madurez de la gestión del mantenimiento, entendida como la capacidad de una organización para planificar, controlar, medir y mejorar sus procesos de mantenimiento de forma estructurada y sostenible (Dhillon, 2006); (Blanchard B. S., 1995).

Medir la madurez no solo permite conocer el estado actual del sistema, sino también identificar las brechas técnicas, procedimentales y organizacionales que limitan la creación de valor, y orientar los esfuerzos de mejora hacia los procesos más críticos.

En el caso de la empresa minera estudiada, los activos críticos como trituradoras, molinos, zarandas o cribas y bandas transportadoras, presentan índices de disponibilidad inferiores al 80% y altos costos de mantenimiento correctivo, debido a la falta de planificación y control sistemático. Esta situación genera un impacto directo en la producción y en la rentabilidad del negocio. Por ello, la necesidad de implementar un diagnóstico estructurado de madurez y un plan estratégico de mejora surge como una oportunidad concreta para optimizar recursos, mejorar la confiabilidad de los equipos y fortalecer la gestión organizacional bajo estándares internacionales.

El presente estudio propone un enfoque de evaluación integral que combina los criterios de madurez de la (UNE-EN16646, 2015), la estructura de procesos de la (UNE-EN17007, 2018) y los principios de gestión de activos de la (BS_ISO_55001, 2024), con el fin de establecer un diagnóstico técnico y organizacional que oriente la formulación de un plan estratégico de mejora. Este diagnóstico permitirá priorizar acciones, definir indicadores clave de desempeño (KPIs) y promover la consolidación de un mantenimiento estratégico, sostenible y orientado al valor.

Planteamiento De La Oportunidad

La industria de producción de carbonato de calcio mediante minería a cielo abierto experimenta una demanda creciente impulsada por la expansión de los sectores manufacturero, agroindustrial y minero (Comes, Islamovic, Lizandara-Pueyo, & Seto, 2024), que utilizan este mineral como material de carga (“filler”) en la fabricación de plásticos, pinturas, adhesivos, cauchos, cerámicos y papel, por su capacidad para mejorar las propiedades mecánicas, térmicas y ópticas de los productos finales (Mattila & Zevenhoven, 2014).

Este contexto genera un crecimiento acelerado de empresas de menor escala, las cuales afrontan desafíos críticos relacionados con la gestión de sus activos físicos clave. Específicamente, la gestión de mantenimiento revierte como factor decisivo para la continuidad operativa, la reducción de costos y la generación de valor.

En este escenario, la empresa minera objeto de estudio presenta signos de debilidad en su sistema de mantenimiento: falta de alineación estratégica con la gestión de activos, procesos poco estructurados, indicadores de desempeño insuficientes, y bajo nivel de madurez en la gestión del mantenimiento. Este escenario abre la oportunidad de intervenir mediante un diagnóstico de madurez, seguido por un plan estratégico de mejora alineado con los lineamientos de las normas UNE-EN 16646:2014 y UNE-EN 17007:2017, así como con los principios de la ISO 55001:2024.

Los estudios sobre madurez en mantenimiento muestran que las organizaciones que aplican modelos de evaluación sistemática logran mejorar significativamente su desempeño técnico-económico. Por ejemplo, un trabajo realizado en el 2015 analiza un modelo de madurez de gestión de mantenimiento que facilita la identificación del estado actual y la dirección de mejora continua (Chemweno, Pintelon, Horenbeek, & Muchiri, 2015).

Dado que el mantenimiento se posiciona como uno de los principales canales para la mejora operativa en la minería, la implementación de un plan estratégico basado en normas

añade rigor, consistencia y alineación empresarial. Así, esta oportunidad tiene impacto técnico, organizacional y económico, y responde al requisito de investigación aplicada de la maestría.

Límites De La Oportunidad

El diagnóstico de madurez en gestión de mantenimiento y la formulación de un plan estratégico se delimitan en esta tesis al contexto operacional de una planta de producción de carbonato de calcio, concentrándose en los activos directamente vinculados a las etapas críticas del proceso (trituración, molienda, clasificación, transporte y servicios auxiliares). Esta delimitación es coherente con la forma en que se aplican los modelos de madurez de mantenimiento en estudios de caso, donde se acota el análisis a una instalación o línea de proceso para asegurar profundidad en la caracterización de prácticas, datos y resultados (Chemweno, Pintelon, Horenbeek, & Muchiri, 2015); (Oliveira, Andrade, Santos, Amaral, & Cintra, 2022).

De manera similar, investigaciones recientes recomiendan focalizar el diagnóstico en un subconjunto de procesos y activos que concentren el mayor impacto en la continuidad operativa y en los costos, de forma que las acciones derivadas del plan estratégico puedan priorizar recursos sobre las áreas de mayor criticidad y retorno esperado (Engineering, 2025); (Franciosi, TORTORA, & MIRANDA, 2023).

El estudio toma como referencia las normas UNE-EN 16646:2014 y UNE-EN 17007:2017 para el diagnóstico, así como los principios de la ISO 55001:2024 para la alineación estratégica.

El diagnóstico considera la información disponible de los últimos 2-3 años (dependiendo de datos internos) para establecer la línea base; no se extiende al análisis histórico de más de 10 años ni a la implementación total del plan estratégico, ya que ese se proyecta más allá del trabajo de profundización.

La investigación se limita al área de mantenimiento y a la gestión de activos dentro de la empresa minera seleccionada; no incluye filiales, proveedores externos, ni unidades de negocio distintas del núcleo minero de carbonato de calcio. Para esta investigación se emplea un enfoque mixto descriptivo-aplicado, con entrevistas, análisis documental y evaluación de procesos, pero no se implementa la totalidad del plan estratégico en el ámbito operativo como parte de la tesis; más bien se formula el plan.

Se trabaja con los datos que la empresa proporcione (registros de mantenimiento, indicadores internos, procesos actuales). No se asegura la obtención o verificación de datos externos o de benchmarking significativo con otras empresas mineras, salvo los estudios académicos referenciales.

Estos límites permiten que el trabajo sea realista, factible y ajustado al tiempo de la maestría, sin comprometer la profundidad requerida para la investigación aplicada.

Justificación Del Proyecto

La realización de este estudio se justifica desde diversas dimensiones, partiendo desde la parte técnica, donde la gestión del mantenimiento en la empresa minera requiere evolucionar hacia un esquema de mayor madurez, que permita reducir fallas, aumentar disponibilidad de equipos y optimizar recursos. Estudios recientes en industrias similares resaltan la relación directa entre elevado nivel de madurez en mantenimiento y mejor desempeño organizacional (Errandonea, 2022).

Al mejorar la gestión de mantenimiento, se reduce el costo total del ciclo de vida de los activos, disminuyen las paradas imprevistas y aumentan la productividad, lo que repercute positivamente en la rentabilidad del negocio. Al alinear el mantenimiento con la gestión de activos (ISO 55001:2024), el mantenimiento deja de ser función de soporte para convertirse en componente estratégico que apoya la creación de valor sostenible. Esto refuerza la competitividad de la organización minera.

Desde la perspectiva de gestión de activos, distintos autores demuestran que el avance hacia niveles superiores de madurez en mantenimiento se traduce en reducciones de costos, menor tiempo de parada y mayor estabilidad del proceso, tanto en industrias de proceso continuo como en manufactura discreta (Murthy, Atrens, & Eccleston, 2002); (Chemweno, Pintelon, Horenbeek, & Muchiri, 2015).

El trabajo responde al requisito de la maestría de profundización en investigación aplicada y aporta un modelo replicable para otras empresas del sector, contribuyendo al conocimiento en gestión de activos y mantenimiento industrial.

Mejoras en el mantenimiento reducen riesgos operativos, ambientales y de seguridad, lo cual se alinea con una gestión responsable de los activos y la continuidad de la operación minera. Por tanto, la formulación del diagnóstico y del plan estratégico no solo atiende a una necesidad organizacional concreta, sino que genera valor técnico, económico y social, que cumple con los lineamientos de investigación aplicada exigidos por la universidad.

Viabilidad de la idea del trabajo de profundización

La empresa minera dispone de infraestructura, personal técnico y datos de mantenimiento accesibles, lo que permite realizar el diagnóstico de madurez. Además, el uso de normas reconocidas (UNE-EN 16646, UNE-EN 17007, ISO 55001) como referencia metodológica incrementa la factibilidad.

El estudio requiere una inversión limitada (tiempo de análisis, entrevistas, revisión documental) y no demanda implementaciones de alto costo durante la tesis; el plan estratégico se formula para posterior ejecución. Los estudios de madurez muestran que mejoras en mantenimiento generan retorno sobre inversión, como el análisis en la minería sudafricana, que evidenció que empresas en fases iniciales de madurez obtenían beneficios al avanzar en procesos estructurados (Mabe, Grobbelaar, & Peach, 2024).

La literatura especializada muestra que los modelos de madurez de mantenimiento pueden aplicarse de manera efectiva en organizaciones industriales utilizando información que normalmente ya se encuentra disponible: registros de órdenes de trabajo, datos de fallas, encuestas a personal y documentación de procesos (Chemweno, Pintelon, Horenbeek, & Muchiri, 2015); (Franciosi, TORTORA, & MIRANDA, 2023). Estos estudios evidencian que es posible evaluar el estado actual de la gestión, identificar brechas y priorizar acciones sin necesidad de inversiones tecnológicas iniciales significativas, lo que refuerza la viabilidad metodológica del presente trabajo.

Experiencias en implementación de estrategias de mantenimiento alineadas con la gestión de activos demuestran que la construcción de planes estratégicos de mantenimiento puede apoyarse en metodologías estructuradas de análisis de brechas, definición de objetivos y selección de iniciativas, que han sido probadas en distintos sectores industriales (Murthy, Atrens, & Eccleston, 2002); (Franciosi, TORTORA, & MIRANDA, 2023). Esto respalda la viabilidad técnica y práctica de formular, a partir del diagnóstico de madurez, un plan estratégico de mejora para la planta de carbonato de calcio estudiada.

La empresa ha manifestado su interés en fortalecer su sistema de mantenimiento y gestión de activos, lo que favorece la cooperación y la obtención de datos. Esto facilita el desarrollo del trabajo de profundización. El proyecto es completamente pertinente a la línea de profundización de la Maestría en Gestión de Activos y Mantenimiento de la Universidad del Valle, al tratarse de investigación aplicada, resolución de un problema concreto y generación de un plan de mejora replicable.

En conjunto, estas condiciones aseguran que el estudio es viable desde el punto de vista técnico, económico, organizacional y académico. Por lo tanto, el trabajo cumple con los criterios de la investigación aplicada y aporta valor tangible para la empresa y para el campo de gestión de activos.

Objetivos

Los objetivos de esta investigación se formulan bajo una secuencia lógica que integra los principios de la taxonomía de Bloom y el modelo de Gagné. La organización avanza desde el reconocimiento y la comprensión de los conceptos fundamentales hasta el análisis de brechas y la formulación de acciones de mejora. Esta estructura garantiza una progresión coherente en el desarrollo del estudio y favorece la articulación entre cada objetivo planteado.

General

Implementar un plan estratégico de mejora de mantenimiento a partir de un diagnóstico del nivel de madurez en la gestión de mantenimiento en una empresa minera dedicada a la producción de carbonato de calcio basado en los lineamientos de las normas UNE-EN 16646:2014 y UNE-EN 17007:2017, alineado con los principios de la ISO 55001:2024, con el fin de fortalecer la integración del mantenimiento dentro del sistema de gestión de activos y promover la creación de valor sostenible.

Específicos

Objetivo Uno – Estado Actual.

Identificar el sistema actual de gestión de mantenimiento de la empresa, determinando sus políticas, procesos y prácticas operativas, para establecer una línea base de desempeño organizacional alineado a la Norma ISO 55001:2024 numeral 4.1. **Nivel 1 – Conocer Escala de Bloom y Gagné.**

Objetivo Dos – Nivel de Madurez.

Interpretar el nivel de madurez del sistema de mantenimiento mediante la aplicación de un modelo diagnóstico estructurado conforme a los requisitos de la norma UNE-EN

16646:2014, determinando el grado de alineación con la gestión de activos corporativa. **Nivel 2**

– Comprender Escala de Bloom y Gagné.

Objetivo Tres – Procesos.

Emplear los procesos de mantenimiento definidos en la norma UNE-EN 17007:2017 para verificar su correspondencia con los procesos ejecutados por la empresa y evaluando la eficacia de sus indicadores de desempeño técnico y económico. **Nivel 3 – Aplicar Escala de Bloom y Gagné.**

Objetivo Cuatro – Brechas y Mejora.

Analizar las brechas y oportunidades de mejora que limiten la efectividad, eficiencia y sostenibilidad del mantenimiento, utilizando la comparación entre la situación actual y las mejores prácticas descritas en las normas de referencia. **Nivel 4 – Analizar Escala de Bloom y Gagné.**

Objetivo Cinco – Plan Estratégico

Diseñar un plan estratégico de mejora para su implementación que incorpore acciones técnicas, organizacionales y de gestión, orientadas a fortalecer la madurez del mantenimiento, optimizar recursos y asegurar la alineación con los principios de gestión de activos definidos en la ISO 55001:2024. **Nivel 5 – Evaluar Escala de Bloom y Gagné.**

Objetivo Seis – Conclusiones

Presentar los principales hallazgos y resultados del trabajo de profundización.

Marco Teórico

El mantenimiento industrial ha evolucionado desde un enfoque reactivo hacia modelos estructurados que integran confiabilidad, riesgo, información y valor, consolidándose como un componente estratégico dentro de la gestión organizacional.

La literatura especializada coincide en que el mantenimiento ya no puede considerarse únicamente una actividad técnica, sino un proceso que contribuye directamente al rendimiento, la continuidad operativa y la sostenibilidad de los activos físicos (Dhillon, 2006); (Andrew K. S. Jardine, 2021). En este sentido, autores como (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2012) y (Mora Gutierrez A. , 2024) destacan que la gestión de mantenimiento debe alinearse con los objetivos corporativos, la estrategia de negocio y los principios contemporáneos de la gestión de activos.

La gestión de activos físicos, definida por (John Hastings, 2015) como la disciplina que coordina actividades técnicas, financieras y operativas para obtener el máximo valor de los activos durante su ciclo de vida, actúa como marco superior que orienta las decisiones sobre mantenimiento, inversión, reemplazo y operación.

(Amadi-Echendu, Brown, Willett, & Mathew, 2010) destacan que la gestión de activos demanda una dirección organizacional sólida, mecanismos formales de gobernanza y el uso disciplinado de información confiable para orientar la toma de decisiones. Desde esta perspectiva, el mantenimiento se integra como un proceso esencial para asegurar el desempeño, la confiabilidad y la generación de valor durante el ciclo de vida de los activos.

El concepto de valor asociado a los activos constituye un elemento esencial para entender el papel estratégico del mantenimiento. Desde la perspectiva de la ISO 55000, el valor no se limita únicamente a los costos de operación, sino que integra dimensiones como el desempeño, los riesgos, la sostenibilidad y el cumplimiento normativo. En esta línea, (John Hastings, 2015) señala que el mantenimiento aporta valor al asegurar que los activos mantengan su capacidad operativa a lo largo del ciclo de vida, preservando tanto el desempeño

técnico como el valor económico y ambiental del sistema. Este enfoque coincide con la literatura de confiabilidad, que reconoce al mantenimiento como un proceso clave para alcanzar objetivos relacionados con disponibilidad, mantenibilidad, vida útil y estabilidad operacional (Blanchard & Fabrycky, 2011); (Ben-Daya, Duffuaa, Raouf, Knezevic, & Ait-Kadi., 2009).

(Jasiulewicz-Kaczmarek & Żywica., 2018) señalan que cuando las organizaciones estructuran el mantenimiento como un conjunto de procesos definidos y medibles, aumentan su capacidad para controlar la variabilidad operativa, mejorar la calidad de los datos y coordinar de forma más efectiva a las áreas involucradas en la gestión de activos.

En esta misma línea, la literatura especializada destaca que el mantenimiento moderno integra metodologías como el análisis de criticidad, el análisis causa raíz (RCA), el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), el análisis de modos de falla y efectos (FMEA) y la planificación basada en riesgo, herramientas que permiten anticipar fallas y priorizar intervenciones en función de su impacto sobre el sistema (Moubray, 1997); (Nowlan & Heap, 1978).

La madurez en la gestión de mantenimiento está estrechamente relacionada con el uso efectivo de la información y con la capacidad de la organización para transformar datos operativos en decisiones estructuradas. Estudios recientes muestran que las empresas con niveles bajos de madurez suelen presentar brechas en gobernanza, análisis de riesgo, planificación y digitalización, lo que afecta su competitividad y limita su capacidad de respuesta frente a las exigencias operativas (Errandonea, 2022); (Jasiulewicz-Kaczmarek M. , 2018).

La digitalización del mantenimiento, impulsada por la Industria 4.0, ha ampliado el papel que desempeñan los sistemas de gestión del mantenimiento (CMMS). (Lee, Kao, & Yang, 2014) explican que los sistemas modernos permiten integrar sensores, análisis predictivo y monitoreo continuo para mejorar la confiabilidad. Sin embargo, autores como (Macchi, Pozzi, & Fumagalli, 2020) advierten que la digitalización solo genera valor cuando existe estructura organizacional, disciplina de datos y una cultura orientada al ciclo de vida.

En el contexto minero, la función de mantenimiento resulta crítica para asegurar la continuidad operativa, debido a que el proceso depende de forma intensa de equipos móviles, sistemas eléctricos, plantas de trituración y equipos mecánicos que trabajan bajo condiciones severas de carga, polvo y variabilidad operacional.

Revisiones recientes sobre confiabilidad y análisis de fallos en equipos pesados utilizados en minería señalan que las operaciones mineras afrontan niveles elevados de fallas, altos costos asociados al mantenimiento y una fuerte sensibilidad a la disponibilidad de equipos, especialmente cuando existen debilidades en la planificación, en la estandarización de prácticas y en la calidad de los datos disponibles (Odeyar, Apel, Hall, & & Skrzypkowski, 2022). Estos autores destacan que, en muchos casos, la gestión de mantenimiento se apoya de manera predominante en enfoques reactivos y en registros incompletos, lo que limita la capacidad para anticipar fallas y para gestionar de forma sistemática el riesgo operacional, situación que coincide con el tipo de vulnerabilidades que se observa en empresas dedicadas a la producción de carbonato de calcio.

Por su parte, la producción de carbonato de calcio presenta características técnicas que exigen un enfoque estructurado de mantenimiento (Yu-Qin Niu, 2022) muestran que el carbonato de calcio es un material clave en sectores como plásticos, papel, construcción, recubrimientos y otros materiales funcionales, y que su obtención requiere etapas sucesivas de trituración, clasificación, molienda y transporte, en las que la disponibilidad y la estabilidad de operación de los equipos resultan determinantes para asegurar la calidad del producto.

De acuerdo con (ScienceDirect, Elsevier), la consistencia granulométrica, la pureza y la uniformidad del carbonato de calcio dependen de la capacidad de los sistemas de proceso para mantener condiciones operativas controladas y repetibles, lo que refuerza la necesidad de una gestión de mantenimiento confiable a lo largo de la cadena de valor.

En el ámbito agroindustrial y de alimentación animal, el carbonato de calcio se utiliza como fuente inorgánica de calcio para formular dietas de cerdos y aves, debido a que muchos

ingredientes vegetales presentan bajos contenidos de este mineral. (González-Vega & Stein, 2014) indican que la suplementación con fuentes como carbonato de calcio y piedra caliza resulta esencial para garantizar una adecuada digestibilidad del calcio y un equilibrio apropiado en la relación Ca:P en cerdos.

De manera complementaria, (Matuszewski, y otros, 2021) demuestran que, en aves de engorde, el uso de carbonato de calcio, incluso en forma de nanopartículas, contribuye a mejorar parámetros de mineralización ósea sin efectos adversos sobre el desempeño productivo, lo que evidencia la sensibilidad del rendimiento animal frente a la calidad y constancia del aporte de calcio en el sistema productivo.

En conjunto, estas aplicaciones industriales y agropecuarias refuerzan la necesidad de contar con equipos confiables y con una gestión de mantenimiento madura que sostenga la operación, preserve la calidad del producto y mantenga la trazabilidad de los procesos asociados al carbonato de calcio.

Adicionalmente, el marco teórico establece la base conceptual necesaria para comprender la relación entre mantenimiento, madurez organizacional, gestión de activos y continuidad operacional en empresas mineras. La literatura coincide en que el mantenimiento estructurado, basado en datos y alineado con la estrategia corporativa, es fundamental para garantizar el valor de los activos y la sostenibilidad operativa.

Antecedentes de la investigación o del proyecto

El concepto de madurez aplicada al mantenimiento ha sido objeto de estudio desde finales del siglo XX, cuando (Nowlan & Heap, 1978) introdujeron el Reliability Centered Maintenance (RCM) como método para optimizar estrategias de mantenimiento basadas en confiabilidad. A partir de este enfoque surgieron modelos de madurez que permiten evaluar la evolución organizacional desde un mantenimiento reactivo hasta un modelo predictivo o estratégico (Moubray, 1997); (Smith & Hinchcliffe, 2004).

Durante las dos últimas décadas, diversos autores han desarrollado modelos de madurez adaptados a diferentes contextos industriales. (Chemweno, Pintelon, Horenbeek, & Muchiri, 2015) propusieron un modelo estructurado que guía la evolución de los procesos de mantenimiento hacia mayores niveles de estandarización y eficacia. (Oliveira & Lopes, 2020) extendieron este enfoque donde se incorporan factores de liderazgo, tecnología e información como elementos determinantes del desarrollo de la gestión de mantenimiento.

En el contexto latinoamericano, (Mora Gutierrez A. , 2024) plantea que el mantenimiento debe convertirse en una capacidad estratégica del negocio, generadora de ingresos y valor, mientras que (Parra, y otros, 2024) sostienen que la integración entre mantenimiento y gestión de activos es esencial para consolidar una organización resiliente y competitiva.

A nivel sectorial, investigaciones aplicadas en minería, manufactura y energía han demostrado que el diagnóstico de madurez contribuye a identificar brechas y priorizar acciones de mejora. El estudio de (Mabe, Grobbelaar, & Peach, 2025) en una empresa minera sudafricana evidencia que los primeros avances en madurez generan beneficios tangibles en confiabilidad y eficiencia operativa.

Estos antecedentes sustentan la pertinencia del presente trabajo, orientado a diagnosticar la madurez de la gestión de mantenimiento y diseñar un plan estratégico de mejora en una empresa minera enfocada en la producción de carbonato de calcio.

Estado del arte

La investigación contemporánea en gestión del mantenimiento avanza hacia un enfoque más integral, donde la madurez organizacional, la digitalización y la gestión de activos se reconocen como pilares interdependientes. En esta línea, se presentan el modelo Maintenance Maturity Model (M³), que busca medir la capacidad de las organizaciones para gestionar, de manera coherente, la información, la tecnología y los procesos de mantenimiento. Este modelo

permite identificar en qué nivel de desarrollo se encuentra una empresa y qué tan preparada está para evolucionar hacia prácticas más eficientes y sostenibles (Errandonea, 2022).

De forma complementaria, el modelo M³AIN4SME, el cual profundiza en la madurez del uso de la información dentro del mantenimiento. Los autores destacan que la manera en que las empresas recopilan analiza y aplican los datos influye directamente en su capacidad de mejora continua y en la toma de decisiones estratégicas (Tortora & Di Pasquale, A Maintenance Maturity Model for Assessing Information Management Practices for Small and Medium Enterprises (M3AIN4SME), 2022).

Asimismo, se desarrolla un modelo que pone el acento en el valor de los datos de mantenimiento, señalando que una gestión madura de la información técnica no solo mejora la precisión de las decisiones, sino que también fortalece la conexión entre el mantenimiento y los objetivos empresariales (Marttonen-Arola & Baglee, 2024).

En conjunto, estas investigaciones reflejan una tendencia clara: el mantenimiento está dejando de ser una función operativa para convertirse en una disciplina basada en datos, conocimiento y valor estratégico, respaldada por estándares internacionales.

En el caso de la industria minera moderna, la aplicación de estos modelos se vincula estrechamente con la transformación digital y los desafíos de la sostenibilidad operativa. La adopción de los principios de la ISO 55001:2024, particularmente aquellos relacionados con liderazgo, gestión del riesgo y alineación estratégica, resulta fundamental para lograr una integración efectiva entre mantenimiento y gestión de activos.

No obstante, aún existe un vacío académico y práctico respecto a la aplicación conjunta de los marcos UNE-EN 16646:2014, UNE-EN 17007:2017 e ISO 55001:2024 dentro de un mismo modelo de diagnóstico de madurez. Este vacío se hace especialmente evidente en sectores como la producción de carbonato de calcio, donde la continuidad operativa y la eficiencia energética dependen directamente de la confiabilidad de los equipos.

En la literatura especializada se identifican diversos trabajos similares al propuesto, los cuales pueden agruparse en tres enfoques principales. En primer lugar, se encuentran estudios orientados al diagnóstico del nivel de madurez de la gestión de mantenimiento, aplicados como casos de estudio en organizaciones industriales y mineras, cuyo objetivo principal es caracterizar el estado actual del mantenimiento y su grado de evolución (Chemweno, Pintelon, Horenbeek, & Muchiri, 2015); (Errandonea, 2022).

En segundo lugar, se destacan investigaciones que desarrollan o aplican modelos específicos de madurez, con énfasis en dimensiones particulares como la gestión de la información, la digitalización o la toma de decisiones, sin extender el análisis hacia la formulación de un plan estratégico integral de mejora (Tocto Ninabanda & Guilcamaigua Masapanta, 2022); (Marttonen-Arola & Baglee, 2024).

Finalmente, se identifican trabajos que abordan la gestión de mantenimiento o de activos en sectores intensivos en activos físicos, generalmente utilizando un único marco normativo o metodológico, y sin integrar de forma conjunta los referentes UNE-EN 16646, UNE-EN 17007 e ISO 55001.

En este contexto, el presente estudio se diferencia al combinar estos marcos normativos dentro de un mismo diagnóstico aplicado y culminar con la formulación de un plan estratégico de mejora del mantenimiento, orientado a fortalecer la alineación con la gestión de activos y la creación de valor sostenible.

Marco Metodológico

El presente estudio se desarrolla bajo un enfoque descriptivo y aplicado, en el que se busca comprender y mejorar la gestión de mantenimiento de una empresa minera dedicada a la producción de carbonato de calcio.

Este estudio se desarrolla aplicando los conceptos vistos en los cursos de:

- Gestión de activos alineada a la ISO 55001.
- Gestión de la información y medición del desempeño e indicadores de SGA.
- Gestión estratégica y modelo de negocios.
- Mantenimiento dentro de la gestión de activos y análisis de ciclo de vida del activo de la Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería Mecánica.

Este tipo de investigación resulta apropiado cuando se pretende analizar una situación real, diagnosticar su nivel de desarrollo y, a partir de ello, formular propuestas concretas de mejora. En este caso, la meta es evaluar el nivel de madurez de la gestión de mantenimiento de la organización y diseñar un plan estratégico que le permita evolucionar hacia un modelo alineado con los principios de la gestión de activos establecidos en la ISO 55001:2024.

Tipo de estudio y de análisis a desarrollar

El estudio combina métodos cualitativos y cuantitativos, lo que permite integrar la experiencia del personal técnico con la evidencia documentada en los registros operativos de la empresa. Desde el enfoque cualitativo, se analizan las percepciones, prácticas y cultura organizacional en torno al mantenimiento; mientras que desde el enfoque cuantitativo se revisan los indicadores técnicos, costos, disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

El carácter descriptivo del trabajo se centra en detallar las características actuales del sistema de mantenimiento, identificar sus fortalezas y debilidades, y establecer una línea base

de desempeño. Su naturaleza aplicada responde al propósito de generar una propuesta práctica con un plan estratégico que pueda ser implementada por la empresa para fortalecer su gestión de activos y su sostenibilidad operativa.

Diseño metodológico

El diseño metodológico se estructura en tres niveles complementarios:

Diagnóstico técnico y organizacional:

Se recopila y analiza información documental sobre políticas, procedimientos, estructuras, indicadores y registros de mantenimiento. Además, se realizan entrevistas semiestructuradas con personal de mantenimiento, ingeniería y operaciones, para comprender cómo se ejecutan los procesos y cómo se toman las decisiones en la práctica.

Actores que participan en el diagnóstico

Durante el desarrollo del diagnóstico de la gestión de mantenimiento, la personal de la organización brinda un apoyo decisivo a través de la participación de diferentes actores internos. El jefe de mantenimiento facilita el acceso a la información técnica de los equipos, a los registros históricos de órdenes de trabajo y a los datos disponibles en el sistema de gestión computarizado de mantenimiento, además de aportar su experiencia sobre la operación diaria y las principales problemáticas asociadas a la confiabilidad de los activos.

El área de producción participa al aportar información sobre el comportamiento del proceso, las paradas operativas, las restricciones de capacidad y las necesidades de disponibilidad de los equipos en cada etapa del flujo de valor, lo que permite relacionar las prácticas de mantenimiento con el impacto directo en la continuidad operacional y en el cumplimiento de la demanda.

El personal técnico de mantenimiento, compuesto por supervisores y técnicos de campo, contribuye con su experiencia práctica al identificar fallas recurrentes, modos de fallo críticos, debilidades en los procesos actuales y oportunidades de mejora en la planificación, ejecución y control de las actividades. Sus aportes resultan fundamentales para contrastar la información documentada con la realidad cotidiana de la operación.

Adicionalmente, el responsable del sistema integrado de gestión y el personal administrativo colaboran al suministrar documentos relacionados con la estructura organizacional, políticas, procedimientos existentes, indicadores y reportes internos, lo que permite contextualizar el diagnóstico dentro del marco de gestión corporativa. En conjunto, la participación de estos actores asegura que el análisis no se limite a una revisión documental, sino que incorpore la visión técnica, operativa y organizacional de quienes intervienen de manera directa en la gestión de mantenimiento y de activos dentro de la empresa.

Evaluación del nivel de madurez:

Con base en los lineamientos de las normas UNE-EN 16646:2014 y UNE-EN 17007:2017, se aplica un modelo diagnóstico estructurado que permite identificar el grado de desarrollo del mantenimiento dentro de la gestión de activos.

La UNE-EN 16646 orienta el análisis sobre la integración del mantenimiento con la gestión de activos, el valor que aporta a los resultados del negocio y la contribución a la sostenibilidad.

La UNE-EN 17007 guía la revisión de los procesos y sus indicadores asociados, permitiendo evaluar la eficacia, eficiencia y coherencia de las actividades de mantenimiento.

La información obtenida se clasifica en dimensiones, la organizacional, técnica, procedimental y estratégica, para determinar el nivel de madurez alcanzado.

Formulación del plan estratégico de mejora:

A partir de los resultados del diagnóstico, se identifican las brechas existentes entre la situación actual y las mejores prácticas internacionales. Estas brechas se convierten en oportunidades de mejora que orientan la elaboración del plan estratégico.

Dicho plan se formula conforme a los principios de la ISO 55001:2024, enfatizando el liderazgo, la gestión del riesgo, la planificación estratégica, la competencia del personal y la mejora continua.

Fases y etapas del desarrollo

El proyecto se desarrolla en cinco fases principales, interrelacionadas y secuenciales:

Fase I – Caracterización del sistema actual:

Revisión documental, entrevistas y análisis de los procesos, políticas y prácticas existentes. Se construye la línea base del mantenimiento y su relación con los objetivos de la empresa.

Fase II – Diagnóstico de madurez:

Aplicación del modelo de madurez basado en los criterios de la UNE-EN 16646:2014 y la estructura de procesos de la UNE-EN 17007:2017, determinando el nivel actual en cada dimensión.

Fase III – Análisis de brechas:

Comparación entre el estado actual y los niveles de referencia normativos e internacionales. Identificación de brechas técnicas, organizacionales y culturales que afectan la efectividad del mantenimiento.

Fase IV – Diseño del plan estratégico:

Formulación de acciones de mejora organizadas en ejes técnicos, operativos y de gestión. Definición de indicadores, metas y mecanismos de seguimiento. El plan se estructura de modo que pueda integrarse en el sistema de gestión de activos de la empresa.

Fase V – Validación y conclusiones:

Revisión de la coherencia interna del modelo, validación de los resultados con los actores de la empresa y presentación de las conclusiones del estudio.

Desarrollo

Objetivo Uno – Estado Actual

Identificar el sistema actual de gestión de mantenimiento de la empresa, determinando sus políticas, procesos y prácticas operativas, para establecer una línea base de desempeño organizacional alineado a la Norma ISO 550001:2024 numeral 4.1. **Nivel 1 – Conocer Escala de Bloom y Gagné.**

El primer paso para fortalecer la gestión de mantenimiento en una organización industrial consiste en comprender su estado actual, es decir, conocer cómo está estructurado, documentado y ejecutado el sistema que asegura la disponibilidad de los activos. La comprensión de esta realidad es indispensable para definir una línea base de desempeño que permita orientar los esfuerzos de mejora y establecer prioridades estratégicas.

Para el cumplimiento del primer objetivo se estructuró una caracterización detallada del contexto operacional de la planta y de su proceso productivo de CaCO_3 , siguiendo la recomendación de partir de un entendimiento claro de la cadena de valor y de los activos críticos antes de abordar cualquier rediseño de la estrategia de mantenimiento ((GFMAM), 2021); (Murthy, Atrens, & Eccleston, 2002).

La revisión de literatura sobre procesos de fabricación de carbonato de calcio permitió describir las principales etapas tecnológicas, identificar los equipos clave en trituración, molienda, clasificación y transporte, y relacionar las condiciones de operación con los requerimientos de confiabilidad y calidad del producto (Erdogan & EKEN, 2016); (Wu, Wang, Li, Gong, & Wang, 2023).

De forma complementaria, se documentaron las prácticas actuales de mantenimiento (tipos de mantenimiento, planificación, programación, gestión de repuestos y uso de sistemas de información) a partir de entrevistas y registros históricos, lo cual es consistente con la forma en que otros autores abordan la etapa de diagnóstico de contexto en estudios de madurez de

mantenimiento (Chemweno, Pintelon, Horenbeek, & Muchiri, 2015); (Oliveira, Andrade, Santos, Amaral, & Cintra, 2022).

De acuerdo con la ISO 55001:2024, numeral 4.1, toda organización debe conocer el contexto en el que opera, así como los factores internos y externos que influyen en su sistema de gestión de activos. Esto implica entender su estructura organizacional, sus procesos, los recursos disponibles y las interacciones entre las partes interesadas. Solo a partir de este conocimiento profundo puede garantizarse que las decisiones de mantenimiento estén alineadas con los objetivos corporativos y con la creación de valor sostenible.

En ese marco, el presente objetivo busca identificar el sistema actual de gestión de mantenimiento de una empresa minera, una organización dedicada a la producción de carbonato de calcio mediante procesos de trituración, molienda y clasificación. El diagnóstico realizado en octubre de 2025 constituye la base del análisis y permite establecer una visión clara del punto de partida hacia la mejora y la madurez operacional.

Contexto del diagnóstico

La organización desarrolla sus operaciones en un entorno de alta demanda y competitividad, donde los márgenes de productividad y los tiempos de respuesta se vuelven determinantes. La empresa depende de equipos críticos como trituradoras, molinos, sistemas de transportadores por medio de bandas y silos que trabajan en condiciones severas de carga y desgaste. Cualquier interrupción no planificada afecta de forma directa la producción siendo de mayor importancia la línea de trituración ya que de esta se desprenden las demás líneas para los diferentes tipos de productos terminados, los costos y la satisfacción de los clientes.

El diagnóstico se concibe, entonces, como una herramienta para entender cómo se gestiona el mantenimiento en su estado actual, cuáles son los procesos formales e informales que se llevan a cabo, cómo se planifican las actividades, qué uso se hace de la información técnica y cuál es el nivel de participación del personal. El análisis no se limita a los aspectos

técnicos; también considera los componentes organizacionales, culturales y tecnológicos que, según la (UNE-EN16646, 2015), son determinantes en la integración del mantenimiento dentro de la gestión de activos.

Políticas, estructura y organización del mantenimiento

El estudio evidencia que la organización cuenta con certificación ICONTEC en ISO 9001:2015 Sistema de gestión de calidad (SGC), ISO 45001:2018 Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo e ISO 14001:2015 Sistema de gestión ambiental, aplicable a la explotación, beneficio y comercialización de carbonato de calcio para uso industrial.

A nivel corporativo, cuenta con una misión y una visión claramente definidas, que orientan sus decisiones estratégicas hacia la sostenibilidad y la creación de valor a largo plazo. Su misión expresa el compromiso con la producción responsable de carbonato de calcio, garantizando calidad, cumplimiento y respeto por el medio ambiente, mientras que su visión proyecta a la organización como un referente nacional en la minería no metálica, reconocida por su innovación, eficiencia y responsabilidad social.

Estos lineamientos estratégicos se concretan a través de objetivos organizacionales definidos, los cuales son revisados periódicamente por un Comité de Evaluación de Avance, Alcance y Actualización. Dicho comité actúa como un espacio de análisis y retroalimentación que permite monitorear el cumplimiento de las metas corporativas y alinear las decisiones tácticas, incluidas las del mantenimiento, con los objetivos estratégicos de la empresa. Esta práctica demuestra una cultura organizacional orientada a la planificación, la medición del desempeño y la mejora continua, en concordancia con los principios establecidos en la ISO 55001:2024 sobre liderazgo y evaluación del desempeño (cláusulas 5 y 9).

Asimismo, la empresa ha definido un conjunto sólido de valores organizacionales, que guían la conducta de sus colaboradores y promueven una cultura basada en la integridad, la responsabilidad, la seguridad, la sostenibilidad y la excelencia operativa. Estos valores son

reconocidos internamente como el eje que conecta la gestión humana con los resultados técnicos, fortaleciendo la cohesión y la identidad institucional.

En materia de sistemas de gestión, la organización posee una política sólida del Sistema Integrado de Gestión (SIG), que articula los componentes de calidad, seguridad y salud en el trabajo, y gestión ambiental bajo los estándares ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001. Esta política establece compromisos concretos en materia de cumplimiento normativo, mejora continua y prevención de impactos ambientales, lo que demuestra una clara madurez organizacional en temas de gestión empresarial.

No obstante, el mantenimiento como área operativa y estratégica aún no se encuentra plenamente integrado dentro de ese sistema. Aunque el SIG proporciona un marco formal de gestión, el mantenimiento opera de forma independiente, sin un enlace metodológico que asegure su alineación con los objetivos del sistema integrado. La incorporación del mantenimiento dentro del SIG, bajo los principios de la ISO 55001:2024 y las normas UNE-EN 16646 y UNE-EN 17007, representa una oportunidad estratégica para lograr una gestión coherente y transversal de los activos, orientada a la creación de valor sostenible.

Aunque existen buenas intenciones y algunos controles básicos, el sistema carece de directrices estratégicas y de una estructura jerárquica claramente definida. La empresa no dispone de una política de mantenimiento formalmente establecida ni de un plan maestro documentado. Las actividades se desarrollan de forma empírica, basadas en la experiencia de los técnicos y la información parcial que proporciona el software CMMS Mantum.

En el proceso de investigación, entrevistas y recopilación de información, se encuentra que el área de mantenimiento cuenta con el 10% de la gestión documentada, y la información disponible se encuentra dispersa y sin control de versiones, lo cual dificulta la trazabilidad y la comunicación entre áreas. Esta situación contrasta con lo que la ISO 55001:2024 propone respecto a la necesidad de mantener información documentada que asegure la coherencia, la transparencia y la trazabilidad de las decisiones dentro del sistema de gestión de activos.

En términos organizativos, el área de mantenimiento cuenta con personal comprometido y con experiencia técnica, pero no con roles claramente descritos ni con una distribución formal de responsabilidades. No existe un comité de mantenimiento o de activos que articule los objetivos del área con los de producción, compras o planeación. Esto genera una visión fragmentada del mantenimiento, que se percibe más como una función reactiva que como un proceso estratégico que agrega valor al negocio.

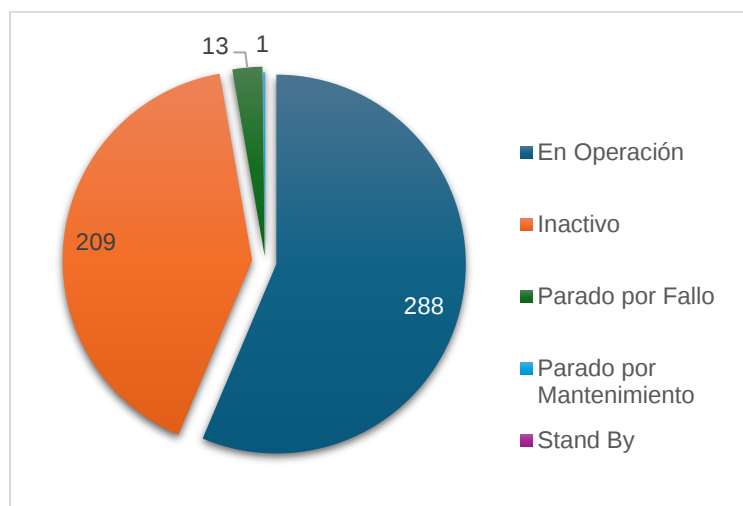
A pesar de estas limitaciones, el personal demuestra conocimiento práctico y disposición para mejorar. Se realizan informes mensuales de indicadores básicos como el número de órdenes de trabajo ejecutadas y el porcentaje de cumplimiento del plan, plan que solo cuenta con la selección de líneas a intervenir semanalmente, pero sin una estructura de actividades a ejecutar y un sistema formal de revisión de resultados ni retroalimentación hacia la dirección. Este aspecto revela una oportunidad clara para introducir metodologías de mejora continua y consolidar una cultura de análisis de desempeño.

Procesos operativos y administrativos

El sistema CMMS Mantum registra 1025 equipos desde el inicio de operación (2018 hasta el 2025), de los cuales 683 se encuentran activos y 342 inactivos como se observa en la ilustración 1. Sin embargo, no existen procedimientos definidos para la inhabilitación o actualización del inventario técnico, y gran parte de los registros carece de información esencial como planos, códigos de repuesto o fichas de fabricante. Cerca del 95 % de los activos no cuenta con información técnica completa, lo que dificulta la planificación preventiva y la gestión del ciclo de vida.

Ilustración 1

Estados de los equipos en la operación según sistema CMMS Mantum

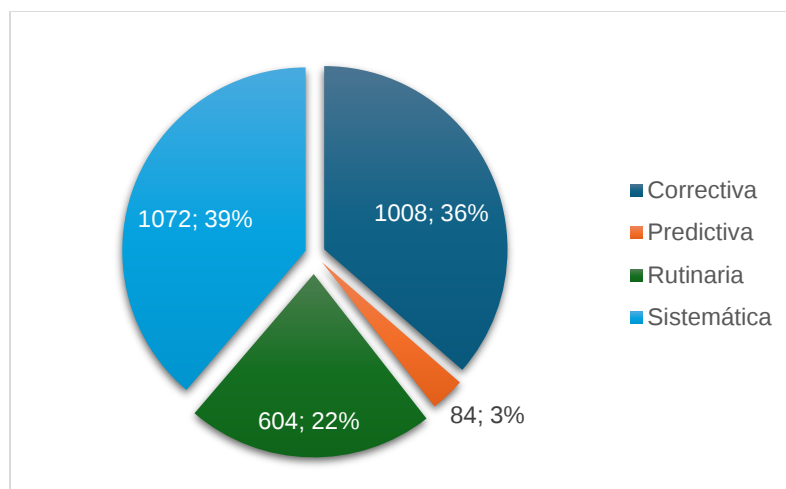


Nota: Cantidad de equipos en la operación representados en 05 estados diferentes según parametrización en el software de gestión de mantenimiento computarizado. Fuente: Elaboración propia con base en los registros del CMMS Mantum de la empresa (2025).

En cuanto a las actividades de mantenimiento, el registro muestra 2768 intervenciones desde el 2018 al 2025, de las cuales el 36% corresponde a correctivos y el 39% a actividades sistemáticas como se observa en la ilustración 2, sin un procedimiento formal para la programación o cierre de las órdenes de trabajo. Se identifican 501 tareas pendientes y 1 036 con frecuencias incoherentes, reflejo de la falta de planificación y seguimiento.

Ilustración 2

Cantidad de actividades de mantenimiento activas por tipos de mantenimiento.



Nota: Cantidad de actividades de mantenimiento registradas en CMMS Mantum, discriminadas por los tipos de mantenimiento registrados en el sistema, donde se evidencian actividades correctivas, predictivas, rutinarias y sistemáticas, Fuente: Elaboración propia con base en las órdenes de trabajo registradas en CMMS Mantum (2025).

El sistema de órdenes de trabajo presenta además inconsistencias: 129 órdenes sin ejecutar y 236 solicitudes en espera, lo que evidencia saturación del CMMS y ausencia de priorización. Solo el 69% de los equipos tiene planes de mantenimiento definidos, aunque en su mayoría requieren actualización para reflejar la criticidad y el historial de fallas. Esta situación es común en empresas que no han consolidado un enfoque sistemático de mantenimiento preventivo, y su corrección representa una oportunidad para introducir herramientas de planificación alineadas con la (UNE-EN17007, 2018), que establece la jerarquía y secuencia lógica de los procesos de mantenimiento.

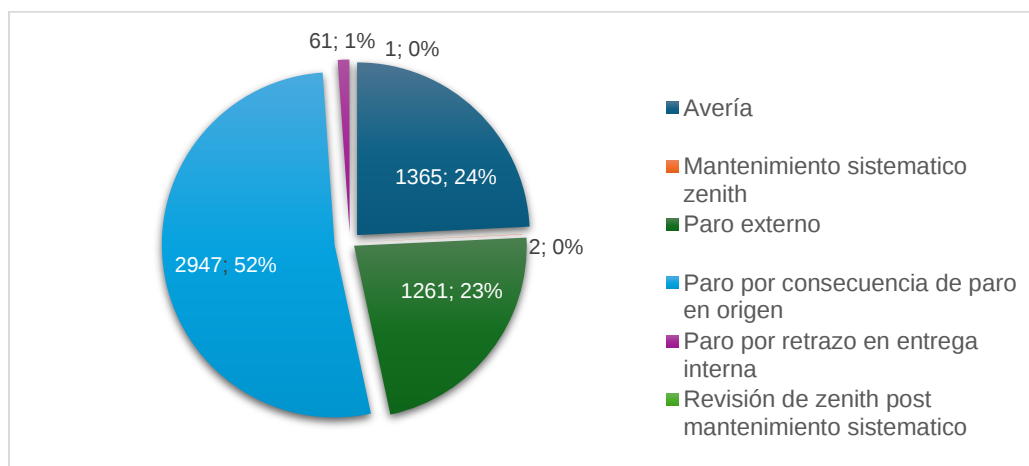
Indicadores de gestión y desempeño

El diagnóstico revela que los indicadores de mantenimiento no son completamente confiables debido a inconsistencias en la codificación de equipos y falta de procedimientos para la gestión de datos. Las métricas de confiabilidad y disponibilidad se calculan parcialmente, sin validación de información ni análisis de tendencias.

De los 7193 paros registrados en los primeros 9 meses del año 2025, el 78% corresponde a paradas no programadas, correspondiéndole el 24% a parados por averías como se observa en la ilustración 3. La línea de trituración concentra la mayor frecuencia de fallas, con un MTBF (tiempo medio entre fallas) de 45,4 horas, muy por debajo de la línea de molinos (105,2 h) y de la planta (124,7 h) como se observa en la ilustración 4. La línea de silos registra el MTTR (tiempo medio de reparación) más alto, con 25 horas, lo que indica demoras significativas en la restitución del servicio como se observa en la ilustración 5.

Ilustración 3

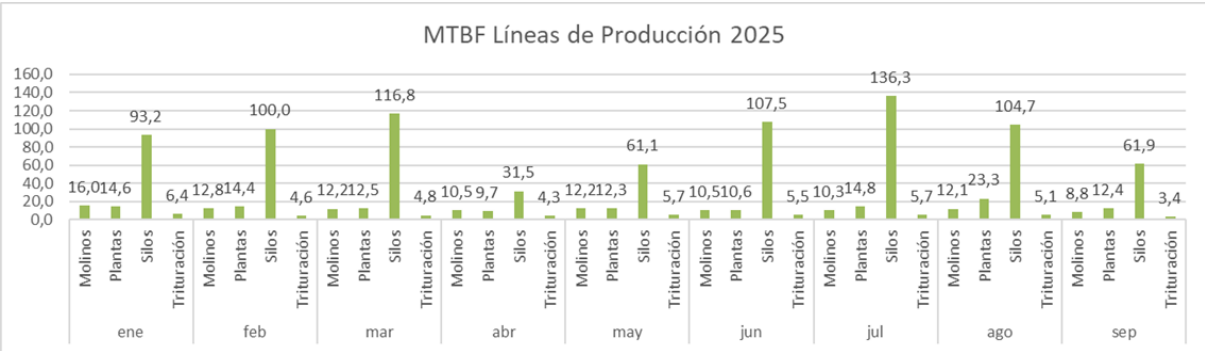
Tipos de paros no programados.



Nota: Cantidad y tipos de paros registrados por el área de producción desde el mes de enero a septiembre de 2025, siendo el más relevante los “Paros por consecuencia de paro de origen”, término relacionado con paros por efecto en cascada, donde el paro de un equipo afecta toda la línea de producción. Fuente: Elaboración propia de datos obtenidos de la base de información de producción, en la clasificación de registros de “tipos de paros y duración”.

Ilustración 4

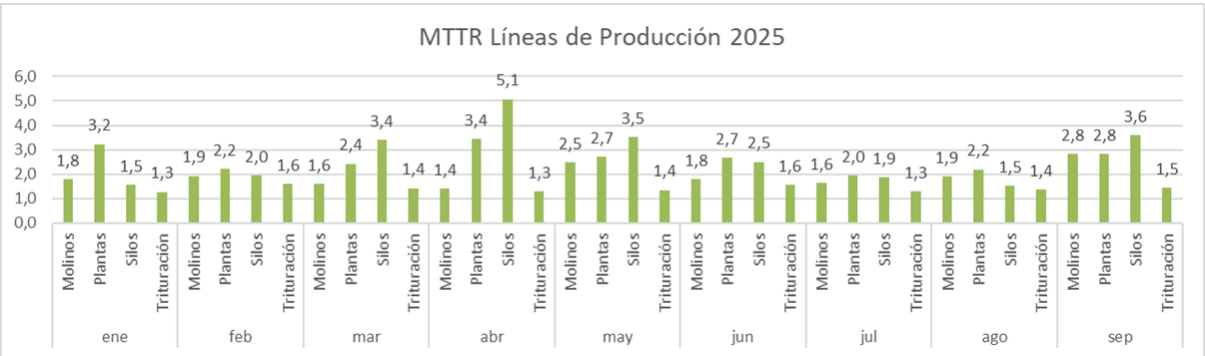
MTBF de Líneas de Producción de Base de Datos de Producción.



Nota: La línea de trituración o trituración primaria establecida como la línea crítica del proceso productivo presenta mayor frecuencia de fallas en comparación a la línea de molinos y plantas. Esta línea presenta un alto reto para el área de mantenimiento debido a la poca información, registro y análisis de fallas. Fuente: Elaboración propia con base en datos de producción y mantenimiento de la empresa (enero–septiembre de 2025).

Ilustración 5

MTTR de Líneas de Producción de Base de Datos de Producción.



Nota: La línea de trituración, aunque presenta un MTBF alto, su MTTR es bajo, indicando que es la línea que mayor índice de paros, pero a su vez, es la línea que más rápido puede restaurar a su función principal. Fuente: Elaboración propia con base en tiempos de intervención registrados en CMMS Mantum (enero–septiembre de 2025).

Estos resultados reflejan una gestión predominantemente reactiva, donde la atención a fallas imprevistas consume la mayor parte de los recursos. No se evidencian análisis sistemáticos de causa raíz ni uso de indicadores para la toma de decisiones estratégicas, situación que limita la efectividad del mantenimiento y su aporte al valor organizacional.

Indicadores de desempeño operacional

Para complementar el diagnóstico técnico, se analizaron los principales indicadores de desempeño operativo asociados al sistema de mantenimiento. Entre ellos destacan la Eficiencia Global de los Equipos (OEE), la disponibilidad general y el rendimiento total, los cuales permiten estimar el grado de efectividad del mantenimiento sobre la productividad global de la planta.

Eficiencia Global de los Equipos (OEE)

Durante el periodo analizado, el indicador OEE muestra un comportamiento estable con ligeras variaciones mensuales, manteniéndose en un rango considerado aceptable para la industria, aunque inferior al estándar internacional de clase mundial (85%). lo que indica que aún existe margen de mejora en la eficiencia operativa (Parra et al., 2024; S.Nakajima, 1988).

Las fluctuaciones observadas se asocian principalmente a paradas no planificadas en equipos críticos y a limitaciones en la planificación preventiva, evidenciando la necesidad de fortalecer el control de mantenimiento sistemático.

Disponibilidad Operacional

El análisis de la disponibilidad revela niveles moderados con picos de mejora temporal, especialmente en meses donde se realizaron mantenimientos preventivos o ajustes operativos. No obstante, persisten episodios de baja disponibilidad relacionados con averías recurrentes y tiempos de reparación prolongados.

De acuerdo con la (UNE-EN17007, 2018), este indicador refleja la capacidad del sistema de mantenimiento para garantizar la continuidad operativa de los equipos, por lo que se considera prioritario establecer procedimientos de priorización, programación y cierre de órdenes de trabajo que reduzcan las pérdidas por indisponibilidad.

Rendimiento Total

El indicador de rendimiento total mantiene un comportamiento favorable, evidenciando una adecuada utilización de los recursos de producción. Este desempeño refleja el compromiso y la capacidad de respuesta del personal operativo, aunque también sugiere la existencia de sobrecargas o compensaciones no planificadas que podrían generar riesgos de fatiga operativa o sobreutilización de los equipos si no se gestionan adecuadamente (Mora Gutierrez A. C., 2024).

Interpretación global

En conjunto, los indicadores muestran un sistema de mantenimiento funcional, pero con oportunidades de mejora estructural. El rendimiento global demuestra la capacidad de la empresa para sostener la producción, mientras que los niveles de OEE y disponibilidad señalan debilidades en la planificación, la confiabilidad técnica y la gestión de recursos.

Estos hallazgos coinciden con la literatura reciente, que identifica la madurez operativa como un factor determinante en la eficiencia del mantenimiento (Errandonea, 2022); (Tortora & Di Pasquale, A Maintenance Maturity Model for Assessing Information Management Practices for Small and Medium Enterprises (M3AIN4SME), 2022). El análisis sirve como insumo base para el Objetivo Específico 2, orientado a determinar el nivel de madurez de la gestión de mantenimiento conforme a las normas UNE-EN 16646:2014 e ISO 55001:2024.

Gestión de repuestos, compras y contratistas

El diagnóstico del área logística muestra que el inventario de repuestos asciende a 8928 ítems, sin clasificación por criticidad ni niveles de stock definidos. No existen políticas de rotación, control de obsolescencia ni procedimientos estandarizados de recepción y devolución.

La falta de gestión formal de inventarios genera acumulación de materiales y riesgo de desabastecimiento, afectando la disponibilidad de equipos críticos. Tampoco se dispone de un

procedimiento documentado para la selección, evaluación y control de contratistas externos, lo que dificulta asegurar la calidad de los servicios subcontratados.

La (UNE-EN16646, 2015) enfatiza que la integración del mantenimiento dentro de la gestión de activos exige una coordinación efectiva con las funciones de compras, logística y planificación. La ausencia de estas conexiones refleja una oportunidad de mejora estructural para reducir costos y aumentar la confiabilidad de la cadena de suministro.

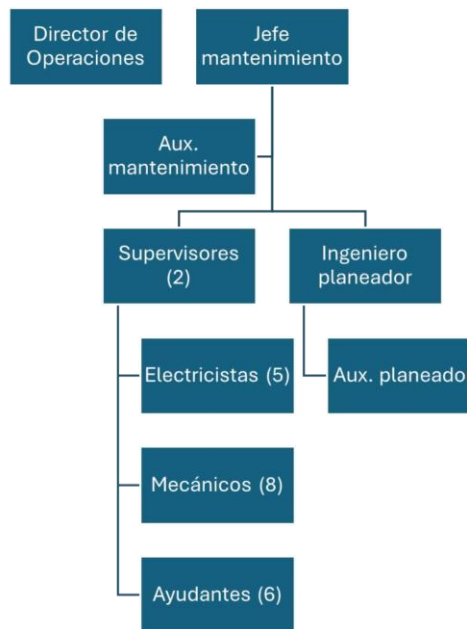
Personas, competencias y cultura organizacional

El componente humano constituye uno de los pilares más relevantes de la gestión de mantenimiento. El área cuenta con una estructura básica, donde los cargos principales están ocupados por técnicos con amplia experiencia práctica, pero sin un plan formal de desarrollo de competencias, ver Ilustración 6. No existen programas de capacitación continua ni mecanismos de certificación de habilidades técnicas, y las evaluaciones de desempeño se realizan de forma empírica.

La dotación actual resulta insuficiente para cubrir todos los turnos operativos, lo que obliga a redistribuir el personal en función de las urgencias diarias. Este escenario afecta la planificación y aumenta la carga operativa de los mecánicos, generando estrés y disminución del rendimiento.

Ilustración 6

Estructura de Mantenimiento



Nota: Actualmente la empresa se encuentra en un proceso de restauración y actualización, donde se evalúa la capacidad técnica y económica para atender la cantidad de activos físicos. Fuente: Elaboración propia a partir del organigrama de mantenimiento de la empresa (2025), en línea con los lineamientos de gestión de activos de (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2012).

A pesar de estas limitaciones, el equipo de mantenimiento demuestra compromiso y sentido de pertenencia, lo que constituye un capital humano valioso sobre el cual puede construirse un proceso de mejora.

Herramientas tecnológicas y gestión de información

El sistema CMMS Mantum representa el principal soporte tecnológico del mantenimiento, pero se encuentra subutilizado. Las funciones más avanzadas como análisis de condición, gestión de fallas o control de indicadores automáticos no se emplean debido a la falta de capacitación y de actualización del software.

El diagnóstico muestra un uso limitado de la información técnica: las hojas de vida de los equipos no están completas, los reportes se generan manualmente y los datos no se

validan. La (BS_ISO_55001, 2024), en su cláusula 7.5, señala que la información documentada es esencial para el funcionamiento eficaz del sistema de gestión de activos; su ausencia afecta la trazabilidad, el aprendizaje y la mejora continua.

Por tanto, la modernización y parametrización del CMMS constituyen una acción prioritaria para facilitar la transición hacia un mantenimiento planificado y basado en datos.

Principales brechas identificadas

Del análisis integral del sistema actual surgen brechas estructurales que deben atenderse de manera prioritaria:

Desalineación estratégica: el mantenimiento opera de manera independiente de la estrategia corporativa, sin objetivos comunes ni indicadores compartidos.

Gestión documental deficiente: no existen procedimientos ni formatos estandarizados que aseguren la coherencia de la información.

Falta de planificación preventiva: el mantenimiento se enfoca en corregir fallas, sin estrategias predictivas o de análisis de riesgo.

Capacitación insuficiente: no hay programas formales de formación técnica ni de actualización normativa.

Gestión de inventarios y contratistas débil: ausencia de criterios de criticidad y control de calidad en servicios externos.

Uso limitado del CMMS: escasa parametrización, subutilización de funcionalidades y falta de conexión con indicadores de gestión.

Estas brechas constituyen los puntos críticos sobre los que se debe actuar en las siguientes fases del proyecto, especialmente durante la evaluación de madurez y la formulación del plan estratégico.

Conclusiones del objetivo

El análisis del estado actual de la gestión de mantenimiento permite concluir que la empresa en cuestión se encuentra en una etapa inicial de madurez, caracterizada por esfuerzos aislados y una gestión mayormente reactiva. A pesar de contar con infraestructura tecnológica y personal experimentado, no existe aún un sistema estructurado que garantice la alineación del mantenimiento con la gestión de activos.

El diagnóstico revela tanto las carencias técnicas y documentales como el potencial humano y organizacional existente. La empresa dispone de bases sobre las cuales puede construir un modelo robusto, apoyado en la estandarización, el uso de información confiable y el liderazgo.

Este primer objetivo sienta los cimientos para avanzar hacia el Objetivo 2, que consiste en evaluar el nivel de madurez de la gestión de mantenimiento conforme a la UNE-EN 16646:2014, identificando con precisión la posición actual de la organización y las acciones necesarias para evolucionar hacia un mantenimiento estratégico, planificado y sostenible.

En síntesis, los hallazgos de este objetivo muestran que la empresa dispone de una estructura organizacional, una misión y visión definidas, así como de indicadores operacionales consolidados; sin embargo, la gestión de mantenimiento aún se mantiene en un nivel predominantemente operativo y reactivo. Se evidencian esfuerzos aislados de planificación y uso del CMMS, pero estos no se articulan dentro de un sistema formal de gestión de mantenimiento alineado con la gestión de activos. Esta situación confirma la existencia de una base organizacional sobre la cual es posible construir, pero también pone de relieve la necesidad de fortalecer la formalización de procesos, la documentación técnica y el uso sistemático de la información para la toma de decisiones.

Objetivo Dos – Nivel de Madurez

Interpretar el nivel de madurez del sistema de mantenimiento mediante la aplicación de un modelo diagnóstico estructurado conforme a los requisitos de la norma UNE-EN

16646:2014, determinando el grado de alineación con la gestión de activos corporativa. **Nivel 2**

– Comprender Escala de Bloom y Gagné.

La evaluación del nivel de madurez en la gestión de mantenimiento constituye una etapa crítica para comprender el grado de desarrollo organizacional frente a los estándares internacionales de gestión de activos. En este contexto, la empresa objeto de estudio, dedicada a la explotación y procesamiento de carbonato de calcio, se caracteriza como una organización intensiva en activos, dado que la creación de valor, la continuidad operativa y el cumplimiento de sus objetivos estratégicos dependen de manera predominante del desempeño, la disponibilidad y la gestión del ciclo de vida de sus activos físicos. En consecuencia, la empresa se encuentra en un proceso de consolidación de su sistema de mantenimiento, buscando integrarlo de forma estratégica dentro del marco de la norma ISO 55001:2024.

Con el propósito de obtener una visión estructurada y objetiva de la madurez del mantenimiento, se aplicó la herramienta de evaluación del Institute of Asset Management (IAM), organismo reconocido internacionalmente por su contribución en la profesionalización y normalización de la gestión de activos físicos. Este modelo permite valorar el grado de cumplimiento de las cláusulas fundamentales de la ISO 55001, abordando dimensiones como liderazgo, planificación, gestión de riesgos, competencias, información y mejora continua (IAM, 2023).

La elección del modelo IAM responde a su enfoque holístico, que integra la perspectiva técnica, estratégica y cultural de la organización, permitiendo identificar no solo el estado actual del mantenimiento, sino también las brechas que impiden su alineación plena con los principios de gestión de activos descritos en la (UNE-EN16646, 2015).

El diagnóstico del nivel de madurez se apoyó en un modelo estructurado que evalúa múltiples dimensiones de la gestión de mantenimiento (estrategia, planificación, ejecución, gestión de información, recursos humanos, entre otras), siguiendo el enfoque de los modelos de madurez desarrollados para organizaciones manufactureras (Chemweno, Pintelon, Horenbeek, & Muchiri, 2015); (Franciosi, TORTORA, & MIRANDA, 2023).

La aplicación de este tipo de modelos mediante cuestionarios y talleres con los actores clave es una práctica ampliamente documentada, ya que permite capturar la percepción interna, contrastarla con criterios externos y ubicar a la organización en una escala de niveles de madurez claramente definida.

En esta evaluación participaron los responsables del área de mantenimiento, ingeniería y producción, quienes respondieron de manera estructurada el cuestionario oficial del IAM mediante una aplicativa digital diseñada en hoja de cálculo, que traduce las respuestas en gráficas radar y de barras que reflejan visualmente el nivel de madurez alcanzado en cada cláusula evaluada.

Metodología aplicada

El modelo de madurez del Institute of Asset Management (IAM) está diseñado para medir el nivel de implementación y efectividad de los elementos que componen un sistema de gestión de activos conforme a la norma ISO 55001. Se basa en un conjunto de 39 cláusulas, agrupadas en siete grandes apartados:

- Requisitos generales (4.1).
- Política de gestión de activos (4.2).
- Estrategia y planificación (4.3).
- Implementación y operación (4.4).
- Evaluación del desempeño (4.5).

- Mejora continua (4.6).
- Revisión por la dirección (4.7).

Tabla 1

Niveles de evaluación del grado de madurez.

Nivel	Descripción general
1. Inicial	No existe evidencia formal de cumplimiento. Prácticas reactivas o informales.
2. Básico	Existen procedimientos elementales o prácticas parciales, sin integración ni trazabilidad.
3. Estandarizado	Procesos formalizados y documentados, con seguimiento de resultados.
4. Avanzado	Prácticas optimizadas y alineadas con la gestión de activos y la mejora continua.

Nota: Niveles de evaluación, adaptados del modelo de madurez del Institute of Asset Management, siguiendo la estructura propuesta por (Chemweno, Pintelon, Horenbeek, & Muchiri, 2015) y (Errandonea, 2022).

El modelo IAM se distingue de otras herramientas de diagnóstico, como el Maintenance Maturity Model (M³) de (Errandonea et al., 2022), en que su enfoque es integral, abarcando tanto la gestión técnica como la estratégica y organizacional, lo que lo convierte en una referencia robusta para el análisis de alineación con la ISO 55001.

Procedimiento de aplicación

La aplicación del modelo IAM se llevó a cabo bajo las siguientes etapas metodológicas:

Recolección de información preliminar:

Se consolidaron los documentos de política, estructura organizacional, procedimientos de mantenimiento y reportes de desempeño existentes.

Aplicación del cuestionario IAM:

Se realizó una sesión guiada con el comité de mantenimiento, en la cual se respondieron los ítems correspondientes a las 39 cláusulas del modelo. Cada participante asignó un nivel de cumplimiento (1 a 4), sustentado en evidencia documental o práctica.

Procesamiento de resultados:

Las puntuaciones fueron consolidadas en una hoja de cálculo oficial del IAM, que generó automáticamente las gráficas de radar y barras representando el grado de cumplimiento por cláusula y el promedio general.

Interpretación y análisis:

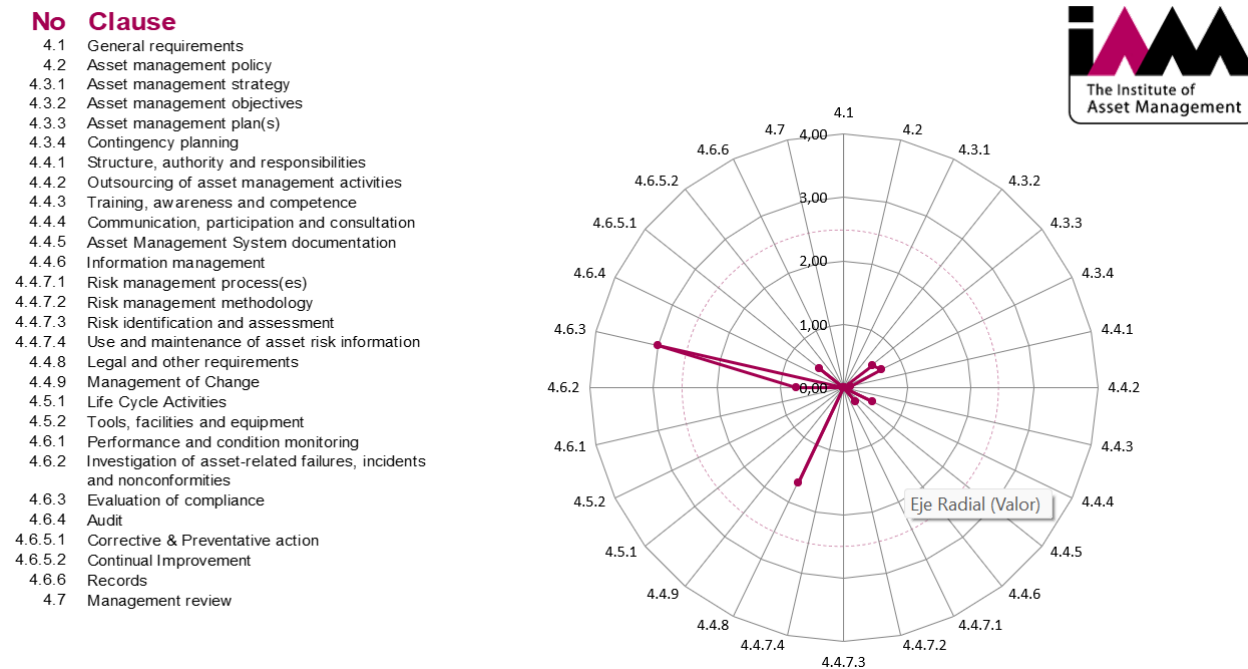
Se realizó un análisis interpretativo de las dimensiones evaluadas, vinculando los hallazgos con los resultados del diagnóstico del Objetivo Específico 1 y los principios de la UNE-EN 16646:2014.

Resultados de la evaluación**Gráfica radar – Visión general del nivel de madurez**

La gráfica radar obtenida, como se observa en la ilustración 7, muestra un panorama general del nivel de cumplimiento de las cláusulas de la norma ISO 55001 en la organización. Se observa una asimetría significativa en las puntuaciones, con algunos aspectos incipientes y otros más desarrollados, reflejando la heterogeneidad del sistema de mantenimiento.

Ilustración 7

Nivel de madurez de la organización



Nota: Resultados de la evaluación del nivel de madurez. Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del modelo IAM aplicado a la empresa minera, siguiendo criterios de (Oliveira & Lopes, 2020) y (Errandonea, 2022).

Las cláusulas con mayor avance corresponden a las relacionadas con la evaluación de la conformidad (4.6.3), gestión de información (4.4.6) y monitoreo del desempeño (4.6.1), mientras que las de menor desarrollo están vinculadas con la planificación estratégica (4.3), la gestión de riesgos (4.4.7) y la revisión por la dirección (4.7).

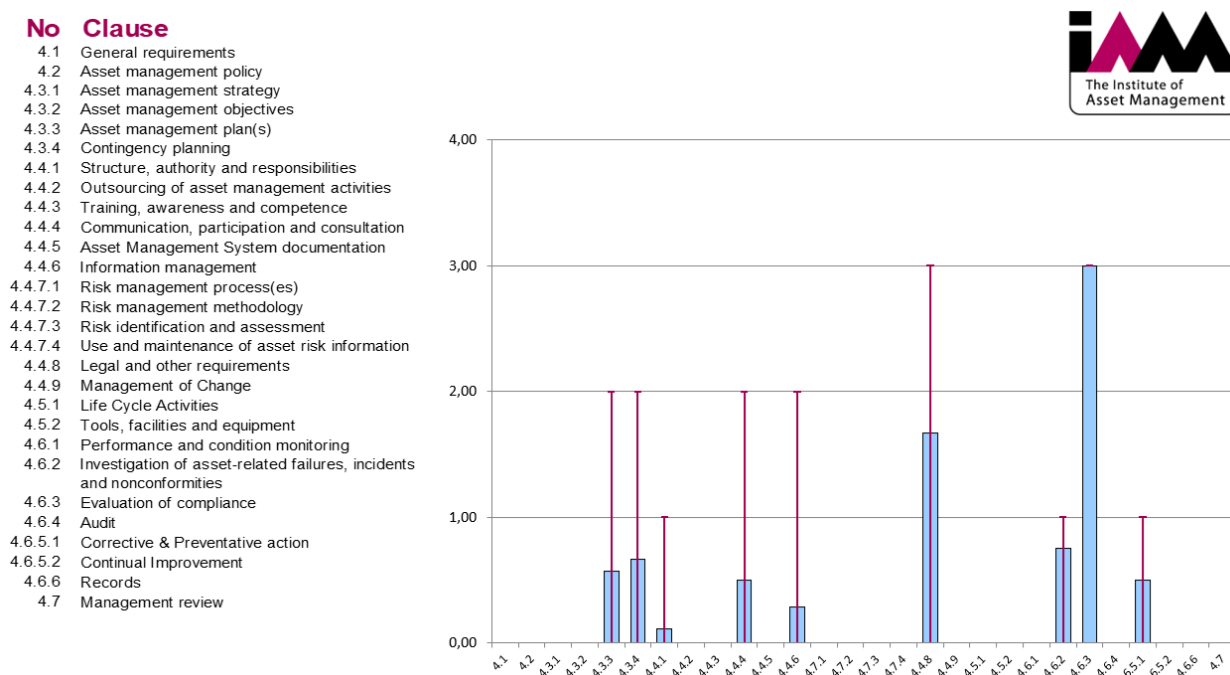
Este patrón evidencia que la empresa cuenta con mecanismos básicos de control operativo, pero carece de una estructura estratégica consolidada que articule la toma de decisiones con la gestión integral de activos.

Análisis comparativo por cláusulas

La gráfica de barras complementa la visión radar mostrando las diferencias de cumplimiento por cláusula. Se identifican valores medios entre 1,5 y 2,5, lo que ubica el promedio global de madurez de la organización en un nivel 2 – Básico.

Ilustración 8

Gráfica de barras – Análisis comparativo por cláusulas.



Nota: Resultados del nivel de madurez comparando las cláusulas del modelo IAM. Fuente: Elaboración propia a partir del cuestionario IAM y la interpretación de madurez propuesta por (Chemweno, Pintelon, Horenbeek, & Muchiri, 2015) y (Oliveira & Lopes, 2020).

Este resultado implica que la empresa posee elementos fundamentales de un sistema de gestión de activos, aunque no completamente desarrollados ni formalizados. La evidencia muestra que la gestión actual se apoya principalmente en la experiencia operativa y el cumplimiento de rutinas, pero requiere fortalecer los procesos de planificación, liderazgo y revisión sistemática.

Análisis interpretativo de resultados**Gestión de la información (4.4.6):**

La organización dispone de registros digitalizados en el CMMS Mantum y mantiene trazabilidad de las intervenciones, lo que representa un avance en la sistematización del mantenimiento.

Evaluación del desempeño (4.6.3):

Existen reportes periódicos de indicadores clave como OEE, disponibilidad y rendimiento, aunque con uso limitado en la toma de decisiones.

Cumplimiento legal y auditorías (4.4.8 y 4.6.4):

Los requerimientos normativos del Sistema Integrado de Gestión se encuentran documentados, mostrando madurez en la gestión de cumplimiento.

Dimensiones críticas**Estrategia y objetivos de gestión de activos (4.3.1 – 4.3.3):**

No se dispone de una estrategia formal de mantenimiento alineada con la planificación estratégica corporativa.

Gestión de riesgos (4.4.7):

Aunque se identifican fallas críticas, no se aplica una metodología sistemática de análisis y mitigación de riesgos operativos.

Revisión por la dirección (4.7):

La alta dirección revisa indicadores globales, pero no existen espacios formales para la revisión estratégica del mantenimiento ni de su contribución al valor del negocio.

Interpretación general

Los resultados del modelo IAM confirman que la empresa se encuentra en una fase de madurez básica: existen prácticas consolidadas en el nivel operativo, pero aún incipientes en los ámbitos estratégico, analítico y de gestión de riesgos.

Según (Oliveira & Lopes, 2020), las organizaciones que alcanzan niveles intermedios de madurez se caracterizan por integrar factores de liderazgo, información y tecnología dentro de su modelo de gestión, aspecto que representa una oportunidad clave para la organización.

Relación con la UNE-EN 16646:2014 e ISO 55001:2024

El análisis del modelo IAM guarda una correspondencia directa con los principios establecidos en las normas internacionales de referencia.

La UNE-EN 16646:2014 establece que el mantenimiento debe alinearse con la estrategia de gestión de activos, incorporando procesos de planificación, control y mejora continua.

La ISO 55001:2024 enfatiza el liderazgo, la gestión del riesgo, la información y la revisión periódica como pilares del valor en el ciclo de vida del activo.

Por tanto, el resultado de madurez nivel 2 implica que la organización cumple parcialmente con los requerimientos mínimos de un sistema de gestión de activos, pero requiere consolidar su enfoque estratégico, documentar procesos y establecer mecanismos formales de comunicación y revisión.

Tabla 2*Síntesis de resultados de evaluación.*

Clausula evaluada	Estado de madurez (1–4)	Nivel interpretativo
Estrategia y objetivos (4.3)	1,5	Parcialmente definido
Gestión de riesgos (4.4.7)	1,8	Básico, sin metodología formal
Gestión de información (4.4.6)	2,3	En desarrollo, con herramientas digitales
Evaluación del desempeño (4.6.3)	2,5	Formalizado parcialmente
Revisión por la dirección (4.7)	1,4	No sistemático
Promedio global	2,0	Nivel de madurez básico

Nota: Se evidencia el nivel de madurez básico de la organización en base a su resultado promedio de 2,0, evaluados según las cláusulas del modelo IAM en base a la ISO 55001. Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del instrumento IAM aplicado en la empresa y criterios de interpretación de (Oliveira & Lopes, 2020).

Conclusiones del objetivo

La aplicación del modelo IAM permitió cuantificar y visualizar el grado de madurez del sistema de mantenimiento de la empresa, evidenciando que este se encuentra en una etapa de madurez básica (nivel 2).

El mantenimiento posee una base estructural operativa, pero requiere evolucionar hacia una gestión estratégica que integre la planificación, el liderazgo y el análisis de riesgos dentro del ciclo de vida de los activos.

Los resultados obtenidos constituyen una referencia objetiva para la formulación del plan estratégico de mejora que se desarrollará en el siguiente objetivo, orientado a fortalecer los ejes de liderazgo, gestión de la información, competencias técnicas y sostenibilidad. En síntesis, los hallazgos evidencian la necesidad de que el mantenimiento evolucione desde un

enfoque predominantemente operativo y reactivo hacia un modelo planificado, estandarizado y basado en riesgo, alineado con los principios de creación de valor y con el marco de la gestión de activos corporativa definido en la norma ISO 55001:2024.

Los resultados de la evaluación de madurez confirman que la organización se ubica en un nivel básico de desarrollo, con capacidades incipientes en aspectos como liderazgo, gobernanza, gestión de riesgos, información y mejora continua. Aunque se identifican prácticas positivas y personas con experiencia en mantenimiento, el modelo IAM evidencia que estas capacidades no se encuentran plenamente sistematizadas ni alineadas con una política formal de gestión de activos. El hallazgo central de este objetivo es que la empresa dispone de elementos aislados de madurez, pero todavía requiere evolucionar desde un enfoque centrado en la respuesta a fallas hacia un modelo más estructurado, planificado y orientado al ciclo de vida de los activos.

Es importante señalar que las acciones propuestas en el plan estratégico de mejora no suponen necesariamente inversiones significativas en una primera etapa. El diagnóstico evidencia que una parte sustancial de las brechas identificadas se relaciona con aspectos organizacionales, de planificación, estandarización de procesos, uso de la información y desarrollo de competencias, los cuales pueden abordarse principalmente mediante la reorganización de prácticas existentes, el fortalecimiento de la disciplina operativa y el mejor aprovechamiento de los recursos ya disponibles, como el sistema CMMS.

Las iniciativas que implican inversión económica se plantean de manera progresiva y priorizada, en función del impacto esperado sobre la confiabilidad, la disponibilidad de los activos y la creación de valor. La disponibilidad financiera y la ejecución de dichas inversiones quedan sujetas a la toma de decisiones de la organización, una vez evaluado el retorno esperado y los riesgos asociados, en coherencia con los principios de la ISO 55001:2024.

Objetivo Tres - Procesos

Emplear los procesos de mantenimiento definidos en la norma UNE-EN 17007:2017 para verificar su correspondencia con los procesos ejecutados por la empresa y evaluar la eficacia de sus indicadores de desempeño técnico y económico. **Nivel 3 – Aplicar Escala de Bloom y Gagné.**

Una vez determinado el nivel de madurez, se lleva a cabo un análisis de brechas comparando la situación actual con las prácticas recomendadas en la literatura para organizaciones que han alcanzado niveles superiores de desempeño en mantenimiento. Estudios de caso muestran que este contraste entre el nivel medido y las características de las organizaciones de referencia es clave para traducir los resultados del modelo de madurez en oportunidades concretas de mejora (Oliveira, Andrade, Santos, Amaral, & Cintra, 2022); (Franciosi, TORTORA, & MIRANDA, 2023).

El análisis se estructura agrupando las brechas en ejes estratégicos, tácticos, operativos y tecnológicos, siguiendo las recomendaciones de trabajos que proponen “hojas de ruta” para elevar la madurez de la gestión de mantenimiento y de la gestión de información de mantenimiento (Franciosi, TORTORA, & MIRANDA, 2023); (Tortora, Pasquale, Luisi, Ferretti, & Iannone, 2025). Esto permite identificar, carencias en formalización de la estrategia, en la calidad de los datos, en la estandarización de procesos y en el uso de herramientas analíticas, alineando las oportunidades de mejora con la realidad de recursos de la organización.

La evaluación de los procesos de mantenimiento constituye un componente esencial para determinar la capacidad de una organización para gestionar adecuadamente los activos físicos a lo largo de su ciclo de vida. En el contexto de la empresa dedicada a la explotación y producción de carbonato de calcio, comprender el estado actual de sus procesos resulta fundamental para garantizar la confiabilidad operativa, la continuidad productiva y la sostenibilidad del negocio.

La (UNE-EN17007, 2018) establece la estructura de referencia para la gestión del mantenimiento, integrando la visión estratégica, táctica y operativa mediante una clasificación clara de procesos, interfaces y relaciones internas. Esta norma se ha consolidado como una herramienta esencial para evaluar la eficacia, eficiencia y sostenibilidad de los procesos de mantenimiento.

Al relacionar los procesos existentes en la empresa con los definidos por la norma, es posible identificar el nivel de formalización, la existencia de brechas y la coherencia entre los procedimientos internos, los indicadores de desempeño y las necesidades del sistema productivo. De esta forma, se avanza hacia una gestión del mantenimiento alineada con los principios de la UNE-EN 16646:2014 y los requisitos estratégicos de la ISO 55001:2024, que enfatizan la creación de valor, la gestión del riesgo, la planificación y la mejora continua.

La UNE-EN 17007:2017 como marco estructural

La UNE-EN 17007:2017 organiza los procesos de mantenimiento en cinco bloques principales:

- **Gestión Estratégica del Mantenimiento**

Define políticas, objetivos, estrategias e integración con la gestión de activos.

- **Gestión Táctica**

Incluye planificación, coordinación, programación y priorización.

- **Gestión Operativa**

Comprende la ejecución de actividades preventivas, predictivas y correctivas.

- **Procesos de Soporte Técnico**

Gestión del conocimiento, repuestos, herramientas, documentación técnica, CMMS.

- **Procesos de Evaluación y Mejora**

Indicadores, análisis de fallas, auditorías, lecciones aprendidas y mejora continua.

Relevancia del diagnóstico por procesos

Evaluar la correspondencia entre los procesos reales de la empresa y los definidos en la norma permite:

- Determinar el grado de madurez (Oliveira & Lopes, 2020).
- Identificar procesos inexistentes, parcialmente desarrollados o no formalizados.
- Evaluar la eficacia técnica mediante indicadores clave (disponibilidad, MTTR, MTBF, OEE).
- Medir la eficiencia mediante indicadores económicos (costos, consumo de repuestos, tiempos administrativos).
- Establecer las bases para un plan estratégico de mejora alineado con ISO 55001.

Metodología aplicada

El desarrollo del objetivo se organiza en cuatro fases metodológicas que permiten contrastar, de manera sistemática, los procesos reales de mantenimiento de la empresa con la estructura de procesos definida en la norma (UNE-EN17007, 2018). Esta norma describe el proceso de mantenimiento y sus subprocesos, y propone un modelo genérico de referencia para cualquier organización que administra activos físicos.

La metodología busca responder a dos preguntas centrales:

- qué procesos de mantenimiento existen hoy en la empresa y cómo funcionan en la práctica, y
- en qué medida estos procesos se corresponden con los definidos en la UNE-EN 17007:2017, tanto en estructura como en indicadores.

Este enfoque coincide con propuestas metodológicas de desarrollo de conceptos de mantenimiento que recomiendan partir de la realidad organizacional, ordenar la información

disponible y construir el modelo comparativo de manera progresiva (Waeyenbergh & Pintelon, 2002); (Tocto Ninabanda & Guilcamaigua Masapanta, 2022).

Fase 1 - Identificación y documentación de los procesos existentes

En la primera fase se define “cómo funciona” el mantenimiento en la empresa antes de compararlo con cualquier marco normativo. Para ello, se combina revisión documental, entrevistas y análisis del CMMS Mantum:

Se revisa la documentación del Sistema Integrado de Gestión (SIG) relacionada con mantenimiento: manuales de procesos, caracterizaciones, procedimientos, instructivos de trabajo, formatos de órdenes de trabajo, formularios de inspección y registros históricos.

Se consulta la estructura de activos, órdenes de trabajo y reportes de intervención registrados en el CMMS Mantum, en especial los módulos de: registro de equipos, órdenes preventivas, órdenes correctivas, historial de fallas y actividades asociadas.

Se aplican entrevistas semiestructuradas a personal clave del área de mantenimiento, operación y gestión (jefatura de mantenimiento, programador, técnicos, supervisores de producción), para conocer cómo se planifican, ejecutan, registran y controlan las actividades.

Con base en esta información se elabora un inventario preliminar de procesos de mantenimiento, donde se agrupan las actividades en categorías como: planificación de mantenimiento, ejecución de trabajos, gestión de repuestos, gestión de contratistas, análisis de fallas, mejora continua, entre otros.

Tabla 3*Inventario preliminar de procesos de mantenimiento*

PROCESO PRINCIPAL	DESCRIPCION
Planificación de Mantenimiento	Definir actividades, recursos, repuestos y tiempos para cada intervención según criticidad del equipo.
Programación de Mantenimiento	Ordenar y calendarizar los trabajos mediante un plan semanal o mensual alineado con producción.
Gestión del Backlog	Registrar, clasificar y priorizar tareas pendientes según riesgo, impacto y criticidad.
Mantenimiento Preventivo	Realizar actividades sistemáticas y rutinarias según frecuencia predefinida y manuales.
Mantenimiento Correctivo	Atender fallas inesperadas que interrumpen la operación y requieren intervención inmediata.
Mantenimiento Predictivo	Aplicar inspecciones basadas en condición como vibración, termografía o análisis visual.
Cierre Técnico de Órdenes	Registrar tiempos, repuestos utilizados, mano de obra y validación de puesta en marcha.
Gestión de Inventario de Repuestos	Registrar todos los repuestos, su estado, ubicación, y disponibilidad en el CMMS.
Abastecimiento y Compras	Solicitar, evaluar y comprar materiales o servicios según necesidad y especificación técnica.
Control de Stock	Controlar entradas y salidas del inventario, niveles mínimos y máximos, obsolescencia.
Almacenamiento de Repuestos	Organizar físicamente los repuestos, asegurar condiciones de almacenamiento adecuadas.
Selección y Evaluación de Contratistas	Evaluar competencias técnicas, cumplimiento de seguridad y desempeño previo de proveedores.
Coordinación de Contratistas	Integrar actividades externas dentro de la planificación general del mantenimiento.
Supervisión y Control de Contratistas	Verificar ejecución correcta del servicio externo, cumpliendo alcance y calidad.
Administración del CMMS	Configurar activos, planes, códigos, estados, y tablas básicas dentro del CMMS.
Gestión de Datos Técnicos	Completar hojas de vida, cargar documentación técnica, actualizar historial del equipo.
Trazabilidad de Intervenciones	Registrar y mantener evidencias de todas las intervenciones en los equipos.
Análisis de Fallas	Identificar patrones de fallas, registrar modos de falla recurrentes y equipos críticos.
Análisis Causa Raíz (RCA)	Aplicar metodologías 5 Porqués, Ishikawa u otras para identificar causas raíz.
Gestión de Indicadores (KPIs)	Medir MTBF, MTTR, disponibilidad, OEE y otros indicadores relevantes para el desempeño.

Auditorías Internas de Mantenimiento	Revisar cumplimiento de procedimientos y estándares internos o normativos.
Actualización de Procesos	Actualizar y estandarizar documentos, formatos y procedimientos de mantenimiento.
Desarrollo de Competencias	Capacitar al personal, evaluar competencias y establecer programas de formación continua.

Nota: Propuesta preliminar para el establecimiento de procesos de mantenimiento en la empresa minera. Fuente: Elaboración propia a partir de los procesos identificados actuales e inexistentes en la organización (2025), tomando como referencia los esquemas de procesos de mantenimiento propuestos por (Marttonen-Arola & Baglee, 2024).

Esta fase se alinea con la orientación de la (UNE-EN17007, 2018), que concibe el mantenimiento como un proceso organizado y coordinado, compuesto por múltiples subprocesos interrelacionados.

Fase 2 - Mapeo y correspondencia con la norma UNE-EN 17007

En la segunda fase se compara de manera explícita lo que la empresa hace con lo que la norma propone. La UNE-EN 17007:2017 estructura el proceso de mantenimiento en procesos estratégicos, tácticos, operativos, de soporte y de evaluación y mejora, e indica que cada uno debe definirse con su propósito, actividades, entradas, salidas e indicadores asociados.

Para esta fase se construye una matriz de mapeo de procesos, donde cada fila corresponde a un proceso de la UNE-EN 17007 y cada columna recoge la situación de la empresa. La matriz incluye como mínimo los siguientes campos:

- Proceso según UNE-EN 17007 (nombre y propósito).
- Evidencias disponibles en la empresa (procedimientos, formatos, registros, reportes del CMMS, testimonios de entrevistas).
- Nivel de desarrollo observado: Inexistente o no identificado, Existente sin documentación, Parcialmente implementado, Implementado y documentado.

- Comentarios cualitativos sobre debilidades o fortalezas.

Esta matriz se resume en la Tabla 4 – Mapeo de los resultados obtenidos y Tabla 5 – Mapeo de Procesos de resultados obtenidos, donde se presenta la correspondencia entre los grandes bloques de la norma (gestión estratégica, táctica, operativa, soporte técnico, evaluación y mejora) y el estado que se observa en la empresa.

Tabla 4

Mapeo de los resultados obtenidos.

Dimensión de la norma	Estado en la empresa	Descripción
Gestión estratégica	Inexistente / no formalizada	No hay política de mantenimiento ni estrategia documentada.
Gestión táctica	Parcial	La planificación existe, pero no es sistemática ni basada en análisis de riesgos.
Gestión operativa	Desarrollada parcialmente	Se ejecutan mantenimientos preventivos y correctivos, pero sin coherencia metodológica.
Soporte técnico	Débil	Falta consolidación de repuestos críticos, documentación y roles formales.
Evaluación y mejora	Parcial	Existen indicadores, pero sin análisis profundo ni retroalimentación organizacional.

Nota: Resultados del modelo IAM y del diagnóstico de procesos, siguiendo el enfoque de correlación entre madurez y desempeño. Fuente: (Oliveira & Lopes, 2020) y (Errandonea, 2022).

Tabla 5

Mapeo de procesos de los resultados obtenidos.

PROCESO SEGÚN UNE-EN 17007	EVIDENCIAS DISPONIBLES EN LA EMPRESA	NIVEL DE DESARROLLO OBSERVADO	COMENTARIOS CUALITATIVOS
Definición de la Política de Mantenimiento – Establecer directrices y objetivos estratégicos.	No existe política formal; entrevistas mencionan gestión reactiva.	Inexistente	No hay lineamientos claros; brecha estratégica crítica.
Estrategia de Mantenimiento – Definir orientación estratégica para confiabilidad.	No hay plan estratégico documentado; decisiones reactivas.	Inexistente	Falta visión de ciclo de vida; enfoque reactivo.

Integración con Gestión de Activos – Alinear mantenimiento con los objetivos corporativos.	No se evidencia integración con la estrategia corporativa.	Inexistente	Ausencia total de estructura de gestión de activos.
Planificación de Mantenimiento – Definir planes, recursos, frecuencias.	Órdenes preventivas en CMMS; no hay análisis de criticidad.	Parcialmente implementado	Se planifica, pero sin método ni análisis técnico.
Programación de Mantenimiento – Secuenciar actividades y coordinar con operaciones.	Programación básica semanal; evidencia parcial en CMMS.	Parcialmente implementado	La programación existe pero no está estandarizada.
Priorización y Gestión del Riesgo – Ordenar actividades según impacto.	No existe metodología de riesgo definida.	Inexistente	La urgencia domina la priorización; riesgo elevado.
Gestión del Backlog – Control de trabajos pendientes.	Órdenes abiertas sin gestión formal en CMMS.	Existente sin documentación	Backlog sin control genera pérdida de trazabilidad.
Mantenimiento Correctivo – Atender fallas no planificadas.	Alta recurrencia; se reporta en entrevistas y CMMS.	Implementado sin documentación	Fallas recurrentes; afecta la disponibilidad.
Mantenimiento Preventivo – Rutinas programadas.	Rutinas existentes en CMMS; sin metodología robusta.	Parcialmente implementado	El preventivo se ejecuta, pero no se optimiza.
Mantenimiento Predictivo – Inspecciones basadas en condición.	No hay herramientas predictivas ni registros.	Inexistente	La empresa no realiza monitoreo basado en condición.
Cierre Técnico de Órdenes – Registrar información de la intervención.	Cierres incompletos en CMMS; falta validación.	Existente sin documentación	Registros incompletos afectan la confiabilidad del CMMS.
Gestión de Inventario de Repuestos – Control de materiales.	Inventario no formalizado; faltan repuestos críticos.	Parcialmente implementado	Riesgo de paros por falta de repuestos críticos.
Abastecimiento y Compras – Solicitud y adquisición de materiales.	Compras basadas en urgencia; evidencia en entrevistas.	Existente sin documentación	Compras reactivas incrementan tiempos muertos.
Control de Stock – Seguimiento de niveles y rotación.	Sin control sistemático de rotación y obsolescencia.	Inexistente	Inventario sin gestión genera pérdidas y obsolescencia.
Almacenamiento – Custodia y organización de repuestos.	Almacenamiento no estandarizado.	Inexistente	Riesgo por mala organización de repuestos.
Selección y Evaluación de Contratistas – Validar capacidades y cumplimiento.	Sin criterios formales; selección empírica.	Inexistente	Proceso débil; falta evaluación técnica formal.
Coordinación de Contratistas – Integración con planes internos.	Coordinación operativa básica; sin procedimientos.	Parcialmente implementado	Coordinación poco estructurada con terceros.
Supervisión de Contratistas – Verificación del cumplimiento.	Supervisión limitada; sin registros formales.	Existente sin documentación	Control limitado asegura baja calidad del servicio.
Administración del CMMS – Configuración y parametrización.	CMMS subutilizado; datos incompletos.	Parcialmente implementado	CMMS no aporta valor estratégico.

Gestión de Datos Técnicos – Hojas de vida, historial.	Hojas de vida incompletas o inexistentes.	Inexistente	Información técnica incompleta afecta decisiones.
Trazabilidad de Intervenciones – Registros de mantenimiento.	Registros parciales; falta trazabilidad.	Existente sin documentación	Trazabilidad insuficiente afecta análisis.
Análisis de Fallas – Identificación de patrones.	No se realiza análisis formal de fallas.	Inexistente	Fallas repetidas sin análisis técnico.
Análisis Causa Raíz (RCA) – Determinar causas fundamentales.	No se aplican metodologías RCA.	Inexistente	No se identifican causas raíz.
Gestión de Indicadores – Seguimiento de KPIs.	KPIs básicos sin análisis profundo.	Parcialmente implementado	KPIs no retroalimentan decisiones.
Auditorías de Mantenimiento – Evaluación del cumplimiento.	No se realizan auditorías internas.	Inexistente	Ausencia de auditorías debilita control del sistema.
Lecciones Aprendidas y Mejora Continua – Retroalimentación.	No existe proceso formal de mejora continua.	Inexistente	No existe cultura de mejora continua.

Nota: Resultado de la evaluación de los procesos actuales de la empresa comparados con la UNE17007, donde se evidencia que el 50% de los procesos son inexistentes. Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de procesos de mantenimiento, en coherencia con la visión de gestión por procesos discutida por (Marttonen-Arola & Baglee, 2024).

Fase 3 - Evaluación de indicadores de desempeño técnico y económico

A fin de evaluar la eficacia de los procesos, se revisaron indicadores referenciales agregados y anonimizados, como la disponibilidad operacional, OEE, MTTR, MTBF, rendimiento total, porcentaje de mantenimiento preventivo vs correctivo, costo relativo de mantenimiento

Los indicadores presentan un desempeño moderado, pero con alta variabilidad, asociado principalmente a la falta de estandarización de procesos, ausencia de análisis de causa raíz de fallas (ACR), brecha entre la programación y la ejecución del mantenimiento, y debilidades en la gestión de repuestos críticos. Asimismo, el análisis evidencia que no existe una política ni una estrategia formal de mantenimiento.

Fase 4 - Evaluación del nivel de madurez por proceso

En la cuarta fase se integran los hallazgos de las fases anteriores y se construye el diagnóstico final de procesos, que se presenta en la sección de análisis y discusión del objetivo.

Esta fase incluye tres actividades principales:

Síntesis de resultados por bloque de procesos

Se consolida la información del mapeo y de los indicadores para cada uno de los grandes bloques de la UNE-EN 17007:

- Procesos de gestión estratégica de mantenimiento.
- Procesos tácticos de planificación y programación.
- Procesos operativos de ejecución.
- Procesos de soporte técnico (repuestos, documentación, CMMS).
- Procesos de evaluación y mejora.

El resultado se representa de forma esquemática en el mapa general de procesos de mantenimiento que aparece como Ilustración 9 del documento.

Validación con el equipo de mantenimiento y la dirección

Se realiza una sesión de retroalimentación con el equipo de mantenimiento y representantes de la dirección, donde se presentan:

- El mapa de procesos resultante.
- La matriz de mapeo frente a la UNE-EN 17007.
- Los principales indicadores asociados a cada bloque.

Durante esta sesión se valida si la representación de los procesos refleja la realidad operativa y se recogen comentarios que permiten ajustar la interpretación de los mismos, especialmente en aquellos procesos que el personal considera críticos o en evolución. Como

resultado de la sesión, se genera además una lluvia de ideas que constituye un insumo de alto valor para la continuidad y mejora de los procesos.

Definición del diagnóstico final

Con base en lo anterior se redacta el diagnóstico final por procesos, que clasifica cada bloque según su nivel de desarrollo (inexistente, inicial, parcial, estandarizado), y se vincula este diagnóstico con los niveles de madurez identificados previamente en el objetivo 2 a través del modelo IAM. Esta integración permite relacionar el “qué se hace” en los procesos con el “nivel de madurez” global del sistema de gestión de mantenimiento.

Análisis y discusión

Los resultados confirman que la empresa cuenta con capacidades operativas suficientes para responder a las exigencias de la producción, pero carece de integración estratégica, análisis avanzado de datos, gestión sistemática de riesgos, planificación basada en confiabilidad, estandarización documental, herramientas sólidas de soporte técnico.

Esto es consistente con los resultados del modelo IAM, donde se identificó un nivel de madurez promedio de 2,0, correspondiente a un sistema básico o parcialmente desarrollado.

Además, la falta de integración entre áreas (producción, ingeniería, mantenimiento y compras) debilita el flujo de información y la retroalimentación, aspecto clave descrito en la UNE-EN 17007 como determinante para la sostenibilidad de los procesos.

Conclusiones del objetivo

La empresa presenta una estructura de mantenimiento funcional a nivel operativo, pero con insuficiente desarrollo estratégico y táctico.

Existe correspondencia parcial entre los procesos actuales y los definidos por la UNE-EN 17007:2017.

Los indicadores evidencian impacto de procesos no estandarizados, especialmente en disponibilidad y confiabilidad.

Las brechas identificadas explican las fluctuaciones operativas y la falta de predictibilidad en la gestión de fallas.

Se requiere un plan de fortalecimiento que integre elementos estratégicos, tácticos, operativos, de soporte y de mejora, alineado con los principios de gestión de activos de la ISO 55001:2024.

El mapeo de los procesos reales de la empresa frente a la estructura propuesta por la UNE-EN 17007 muestra una correspondencia parcial: los procesos operativos de ejecución de mantenimiento están presentes y funcionan de manera cotidiana, mientras que los procesos estratégicos, tácticos, de soporte y de evaluación presentan vacíos o niveles de desarrollo sólo iniciales. En particular, se observa que la planificación y programación, la gestión de repuestos, la documentación técnica y la evaluación sistemática del desempeño no se encuentran completamente definidas ni integradas. El principal hallazgo de este objetivo es que la empresa “hace mantenimiento”, pero aún no gestiona el mantenimiento como un sistema de procesos articulados, lo que limita la capacidad de mejora continua y de alineación con las normas de referencia.

Objetivo Cuatro – Brechas y Mejora

Analizar las brechas y oportunidades de mejora que limiten la efectividad, eficiencia y sostenibilidad del mantenimiento, utilizando la comparación entre la situación actual y las mejores prácticas descritas en las normas de referencia. **Nivel 4 – Analizar Escala de Bloom y Gagné.**

El análisis de brechas constituye un proceso fundamental dentro de la gestión de activos, ya que permite identificar la distancia existente entre el desempeño actual de la organización y el nivel requerido para garantizar la confiabilidad, disponibilidad y valor de los activos a lo largo de su ciclo de vida.

A partir de las brechas identificadas se definieron líneas estratégicas de intervención orientadas a evolucionar la gestión de mantenimiento hacia un rol más proactivo y alineado con la gestión de activos. La literatura sobre gestión estratégica del mantenimiento sugiere articular estas líneas alrededor de la definición de objetivos claros, la priorización de iniciativas y la integración del mantenimiento en la planificación del negocio (Murthy, Atrens, & Eccleston, 2002).

Trabajos recientes en mantenimiento y sostenibilidad proponen que las líneas estratégicas no solo aborden disponibilidad y costo, sino también impactos en seguridad, medio ambiente y cultura organizacional (Franciosi, TORTORA, & MIRANDA, 2023).

Los resultados obtenidos en los objetivos anteriores muestran un sistema de mantenimiento funcional en su dimensión operativa, pero con amplias oportunidades de mejora en la estructura estratégica, el soporte técnico, la planificación y la integración organizacional.

Este objetivo busca consolidar dichos hallazgos y analizarlos desde la perspectiva normativa descrita en:

(UNE-EN16646, 2015), que establece el papel del mantenimiento dentro de la gestión de activos.

(UNE-EN17007, 2018), que define los procesos y sus indicadores.

(BS_ISO_55001, 2024), que orienta la gestión de activos hacia el valor, la alineación estratégica, el riesgo y la mejora continua.

La combinación de estos marcos permite construir un diagnóstico sólido de las brechas estructurales, tácticas y operativas que afectan el desempeño del mantenimiento y limitan su madurez.

Metodología para el análisis de brechas

El análisis de brechas se desarrolló en cuatro pasos:

Consolidación de hallazgos previos

Se integraron los resultados del:

- Objetivo 1: Diagnóstico del sistema actual de mantenimiento.
- Objetivo 2: Evaluación de madurez mediante el modelo IAM.
- Objetivo 3: Correspondencia de procesos con la UNE-EN 17007.

Comparación con requisitos normativos

Cada proceso y práctica fue contrastado con los principios, directrices e indicadores establecidos en las normas BS_ISO y UNE.

Clasificación de brechas

Las brechas se clasificaron en:

- Estratégicas.
- Tácticas.
- Operativas.
- Tecnológicas-informativas.

- Culturales y organizacionales.

Evaluación del impacto

Cada brecha se evaluó considerando su efecto potencial sobre:

- Disponibilidad y confiabilidad.
- Seguridad y riesgo.
- Continuidad operativa.
- Sostenibilidad y costos.
- Alineación con la gestión de activos.

Este enfoque metodológico es coherente con lo planteado por Oliveira y Lopes y Errandonea, quienes destacan que la madurez en mantenimiento depende tanto de capacidades técnicas como de estructura organizacional, cultura y liderazgo (Errandonea, 2022); (Oliveira & Lopes, 2020).

Brechas identificadas en la gestión de mantenimiento

A continuación, se presentan las brechas más relevantes detectadas:

Tabla 6

Brechas estratégicas identificadas.

Brecha Estratégica	Descripción	Impacto en la Organización	Norma Relacionada
Ausencia de política formal de mantenimiento	No existe una política institucional que defina el papel del mantenimiento.	Falta de dirección estratégica y alineación corporativa.	ISO 55001:2024 – 5.2; UNE-EN 16646 – 4.2
Inexistencia de estrategia de mantenimiento	No se cuenta con un plan estratégico que proyecte acciones de ciclo de vida.	Decisiones reactivas, baja confiabilidad.	UNE-EN 16646 – 4.3; ISO 55001 – 6.2

Desconexión entre mantenimiento y objetivos corporativos	Los objetivos del mantenimiento no se derivan de la misión y visión.	Mantenimiento opera aislado; bajo retorno estratégico.	ISO 55001 – 5.1; 5.3
--	--	--	----------------------

Nota: Diagnóstico realizado en la empresa (2025). Fuente: Elaboración propia interpretado bajo los criterios de brechas estratégicas en mantenimiento descritos por (Oliveira & Lopes, 2020) y (Errandonea, 2022).

Tabla 7

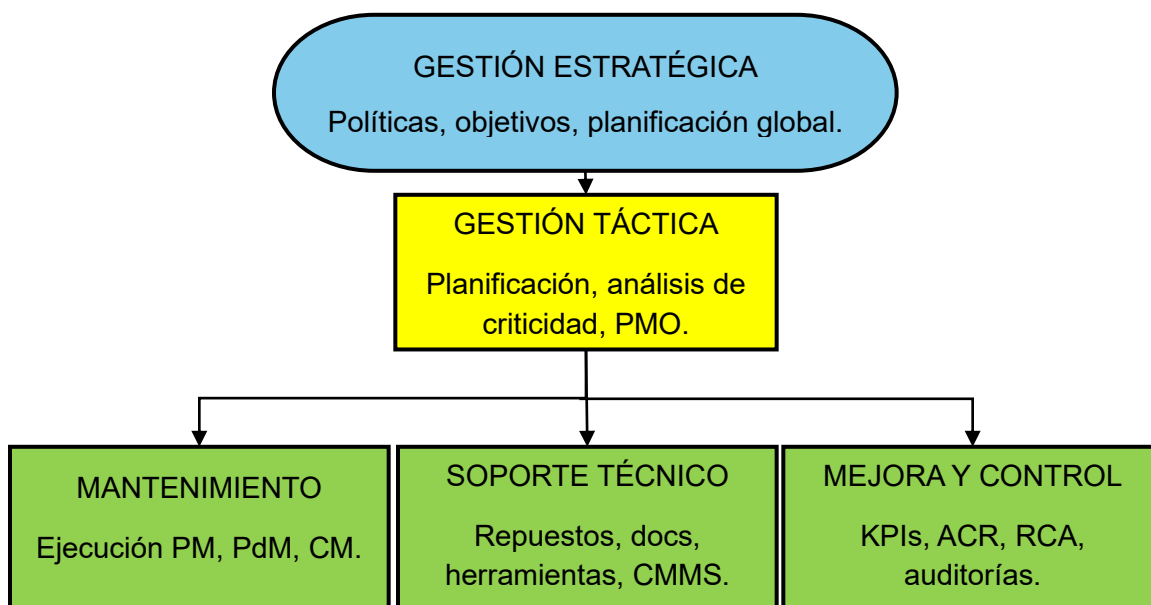
Brechas tácticas identificadas.

Brecha Táctica	Descripción del Problema	Consecuencia Operacional	Norma Relacionada
Planificación débil	Planes sin análisis de criticidad, confiabilidad o riesgo.	Mayor carga correctiva e incertidumbre operativa.	UNE-EN 17007 – Gestión táctica
Priorización no sistemática	Priorización basada en urgencias, no en consecuencias de fallas.	Recursos mal distribuidos y tiempos muertos.	UNE-EN 16646 – 4.4
Gestión de repuestos no formalizada	No existe metodología de repuestos críticos.	Riesgo de paros por falta de materiales.	ISO 55001 – 8.1

Nota: Elaboración propia a partir de las observaciones sobre planificación, priorización y repuestos, en línea con los principios de planificación táctica de mantenimiento presentados por (Ben-Daya, Duffuaa, Raouf, Knezevic, & Ait-Kadi., 2009) y (Dhillon, 2006).

Ilustración 9

Mapa general de procesos de mantenimiento (UNE-EN 17007).



Nota: Mapa de procesos de la organización 2025, Fuente: Elaboración propia tomando como referencia el modelo de procesos de mantenimiento discutido por (Marttonen-Arola & Baglee, 2024) y (Errandonea, 2022).

Tabla 8

Brechas operativas identificadas.

Brecha Operativa	Descripción	Consecuencia	Norma Relacionada
Alta dependencia de correctivos	Gran parte de las tareas provienen de eventos inesperados.	Incremento del MTTR y reducción del MTBF.	UNE-EN 17007 – 7.2
Ausencia de análisis de fallas	No se aplican RCA, FMEA ni métodos avanzados.	Fallas recurrentes y baja confiabilidad.	UNE-EN 16646 – 4.5
Falta de estandarización de procedimientos	Existen instructivos aislados, pero no un sistema completo.	Variabilidad en la calidad del trabajo.	ISO 55001 – 8.2

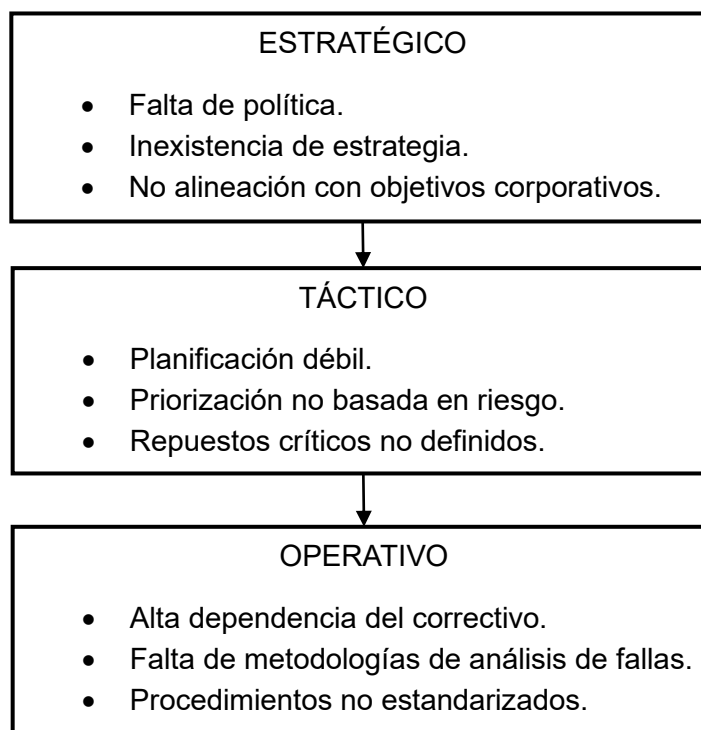
Nota: Brechas principales identificadas con base a los registros de fallas y modos de intervención de la empresa (2025). Fuente: Elaboración propia siguiendo los enfoques de análisis de fallas de (Nowlan & Heap, 1978) y (Moubray, 1997).

Tabla 9

Brechas tecnológicas y de información.

Brecha Tecnológica	Diagnóstico	Impacto	Norma Relacionada
Subutilización del CMMS	El CMMS se usa para registrar, no para analizar.	Baja capacidad predictiva; decisiones reactivas.	ISO 55001 – 7.5
Datos incompletos	Información técnica desestructurada y sin validación.	Indicadores poco robustos y sin trazabilidad.	UNE-EN 17007 – 8.3
Ausencia de analítica industrial	No hay analítica descriptiva, predictiva ni prescriptiva.	No existen modelos de pronóstico ni alertas tempranas.	Mora Gutiérrez (2024)

Nota: Brechas principales identificadas bajo el diagnóstico del uso del CMMS y de la información técnica. Fuente: Elaboración propia en coherencia con las recomendaciones sobre analítica en mantenimiento de (Mora Gutierrez A. , 2024) y (Jasiulewicz-Kaczmarek M. , 2018).

Ilustración 10*Relación entre brechas y capas de gestión*

Nota: Brechas identificadas en la gestión de activos y mantenimiento. Elaboración propia estructurada según los enfoques de madurez organizacional en mantenimiento propuestos por (Oliveira & Lopes, 2020) y (Errandonea, 2022).

Tabla 10*Brechas culturales y organizacionales.*

Brecha Cultural / Organizacional	Descripción	Consecuencias en el Desempeño	Norma Relacionada
Liderazgo limitado en activos	Dirección revisa indicadores, no estrategias de mantenimiento.	Falta de impulso y priorización del mantenimiento.	ISO 55001 – 5
Capacitación insuficiente	Conocimientos prácticos, no metodológicos.	Baja calidad técnica y falta de estandarización.	UNE-EN 16646 – 5

Comunicación interdepartamental débil	No existen canales formales entre mantenimiento, compras y producción.	Tiempos muertos, reprocesos y desalineación.	ISO 55001 – 7.4
---------------------------------------	--	--	-----------------

Nota: Brechas identificadas en base a entrevistas al personal técnico, administrativo y observaciones de la organización (2025). Fuente: Elaboración propia siguiendo los enfoques de cultura, liderazgo y competencias en mantenimiento descritos por (Jasiulewicz-Kaczmarek & Żywica., 2018) y (Amadi-Echendu, Brown, Willett, & Mathew, 2010).

Tabla 11

Brechas priorizadas según su impacto y urgencia.

Brecha	Impacto (1–5)	Urgencia (1–5)	Prioridad	Recomendación Inicial
Planificación débil	5	5	Alta	Crear plan basado en criticidad y riesgos.
Falta de política y estrategia	5	4	Alta	Elaborar política alineada con ISO 55001.
Gestión de repuestos críticos	4	5	Alta	Definir metodología ABC/criticality.
Inexistencia de análisis de fallas	4	4	Media	Implementar ACR y FMEA.
Subutilización del CMMS	3	4	Media	Integrar pronósticos e indicadores.
Brechas culturales	3	3	Baja	Programa de formación en gestión de activos.

Nota: Brechas evaluadas y priorizadas utilizando criterios de riesgos operativos. Fuente: Elaboración propia basada en los lineamientos de análisis de riesgo en mantenimiento propuestos por (Dhillon, 2006) y (Ben-Daya, Duffuaa, Raouf, Knezevic, & Ait-Kadi., 2009).

Análisis integrador de brechas

Los resultados muestran que las brechas técnicas están directamente relacionadas con la madurez de la organización. El nivel de madurez IAM (2,0) coincide con lo que (Oliveira & Lopes, 2020) denominan “madurez básica”, donde:

- La organización depende de experiencia operativa.
- Los procesos no están completamente formalizados.
- La toma de decisiones no se sustenta en modelos predictivos.
- La gestión del riesgo es incipiente.
- La dirección aún no integra plenamente mantenimiento dentro de la estrategia.

Asimismo, (Errandonea, 2022) señalan que en niveles básicos la organización presenta brechas en:

- Digitalización.
- Sistematización de información.
- Planeación a mediano plazo.
- Integración con activos.
- Evaluación del ciclo de vida.

Las brechas identificadas en la empresa en cuestión se alinean con este patrón de madurez, lo que confirma la coherencia del diagnóstico.

Tabla 12

Relación entre Brechas y Categorías de Madurez (IAM).

Categoría IAM	Nivel Actual	Brechas Relacionadas	Implicación
Liderazgo (4.1 – 4.3)	Bajo	Política inexistente, poca alineación.	El mantenimiento no es estratégico.
Información (4.4.6)	Medio	Datos incompletos, CMMS débil.	Decisiones sin soporte analítico.
Gestión del riesgo (4.4.7)	Bajo	No hay matriz ni metodología.	Elevada exposición a fallas críticas.
Evaluación del desempeño (4.6)	Medio	Indicadores sin análisis profundo.	No existe retroalimentación real.

Nota: Resultados del modelo IAM. Elaboración propia interpretada según las categorías de madurez definidas por el Institute of Asset Management (2015) y los análisis comparativos de (Chemweno, Pintelon, Horenbeek, & Muchiri, 2015) y (Errandonea, 2022).

Oportunidades de mejora

Las brechas detectadas abren oportunidades estratégicas para evolucionar hacia un modelo de mantenimiento, integrado, basado en valor, orientado a la confiabilidad, centrado en riesgos y sustentado en información.

Entre las oportunidades se destacan:

- Construir un Sistema de Gestión desde mantenimiento alineado con la gestión de activos con base en UNE-EN 16646 e ISO 55001.
- Fortalecer el proceso de planificación de mantenimiento, integrando criticidad, análisis de riesgo, ciclo de vida y pronósticos.
- Implementar metodologías de análisis de fallas, aplicación de ACR, FMEA, Weibull, entre otras.
- Desarrollar competencias técnicas en el personal, cursos, certificaciones, entrenamientos continuos.
- Integrar el CMMS con indicadores avanzados, usar Mantum como herramienta estratégica y no solo como registro.
- Consolidar procesos de soporte técnico, estandarización documental, gestión de repuestos, roles y autorizaciones.
- Crear una cultura organizacional orientada a la confiabilidad y la mejora continua

Tabla 13*Brechas según su impacto técnico y económico.*

Categoría	Brecha identificada	Impacto técnico (1–5)	Impacto económico (1–5)	Índice de prioridad (=c×d)	Acción de mejora propuesta
Técnica	CMMS Mantum desactualizado y sin integración con inventario	4	4	16	Actualizar taxonomía y conectar CMMS con ERP
Organizacional	Falta de liderazgo y comunicación entre mantenimiento y producción	5	3	15	Establecer comité mixto Mantenimiento–Operaciones, Logística, seguridad.
Gestión	Ausencia de indicadores de desempeño estandarizados	4	5	20	Implementar tablero de KPIs (MTBF, MTTR, Disponibilidad, %PM)
Técnica	Inventario de activos incompleto y sin hoja de vida	3	4	12	Completar registro de activos y asociar hoja de vida técnica
Organizacional	Sin plan de capacitación técnica anual	3	3	9	Crear plan de formación técnica por roles y certificaciones
Gestión	Falta de análisis de criticidad de equipos	4	4	16	Aplicar metodología de criticidad según ISO 14224

Técnica	Ausencia de monitoreo predictivo (vibraciones, termografía)	3	3	9	Implementar pilotos de mantenimiento predictivo (CBM)
Gestión	Sin procedimientos documentados para órdenes de trabajo	5	4	20	Formalizar flujo de solicitud, planificación, ejecución y cierre de OT

Nota: Análisis técnico-económico de las brechas, de acuerdo con los enfoques de evaluación de costo del ciclo de vida y confiabilidad descritos por (Jardine & Tsang, 2013) y (Dhillon, 2006), elaboración propia.

Conclusión general del objetivo

El análisis de brechas confirma que el sistema de mantenimiento de la empresa presenta fortalezas en su capacidad operativa, pero requiere avanzar significativamente en sus dimensiones estratégicas, tácticas, tecnológicas y organizacionales para alinearse con las mejores prácticas internacionales en gestión de activos.

Las brechas detectadas son consistentes con el nivel de madurez identificado en el objetivo 2 y con la correspondencia parcial de procesos identificada en el objetivo 3.

Este diagnóstico constituye la base para el diseño del plan estratégico de mejora que se desarrollará en el Objetivo Específico 5, orientado a fortalecer la fiabilidad, eficiencia y sostenibilidad del sistema de mantenimiento.

El análisis de brechas permite traducir los resultados de los objetivos anteriores en áreas concretas de intervención. Los hallazgos muestran brechas significativas en tres niveles: estratégico, táctico y operativo. En el plano estratégico, se identifica la ausencia de una política formal de mantenimiento, de objetivos claramente formulados y de mecanismos de gobernanza que integren mantenimiento con la planificación del negocio. En el plano táctico, las principales

brechas se relacionan con la falta de análisis de criticidad, una planificación basada en riesgo aún incipiente y un uso limitado de indicadores para evaluar la eficacia de las intervenciones. En el plano operativo y de soporte, destacan oportunidades de mejora en la estandarización de procedimientos, la gestión de repuestos, el uso del CMMS y la calidad de los datos. Estos hallazgos constituyen la base lógica para la formulación del plan estratégico de mejora.

Objetivo Cinco – Plan Estratégico

Diseñar un plan estratégico de mejora para su implementación que incorpore acciones técnicas, organizacionales y de gestión, orientadas a fortalecer la madurez del mantenimiento, optimizar recursos y asegurar la alineación con los principios de gestión de activos definidos en la ISO 55001:2024. **Nivel 5 – Evaluar Escala de Bloom y Gagné.**

El diseño de un plan estratégico de mejora constituye una etapa determinante dentro del proceso de transformación del sistema de mantenimiento de una organización. Después de evaluar el estado actual (Objetivo 1), determinar el nivel de madurez mediante el modelo IAM (Objetivo 2), analizar los procesos según UNE-EN 17007:2017 (Objetivo 3) y caracterizar las brechas críticas (Objetivo 4), resulta necesario integrar esta información en una propuesta estructural y operativa que permita orientar el mantenimiento hacia un nivel superior de desempeño, valor y sostenibilidad.

El plan estratégico de mantenimiento se estructura traduciendo las líneas estratégicas en iniciativas específicas, responsables, plazos, recursos y metas, en coherencia con la forma en que los planes de gestión de activos y de mantenimiento se formulan en organizaciones que utilizan enfoques de ciclo de vida y análisis de brechas (Varma & Proctor, 2020); ((GFMAM), 2021).

La literatura especializada destaca que las mejoras efectivas en la gestión de mantenimiento requieren articular tres dimensiones fundamentales (Mora Gutierrez A. C., 2024); (Oliveira & Lopes, 2020); (Parra, y otros, 2024):

- Dirección estratégica y liderazgo,
- Gestión táctica y procesos,
- Capacidades operativas y tecnológicas

Bajo esta perspectiva, el presente objetivo diseña un plan estratégico que permite a la organización evolucionar desde un sistema de mantenimiento con madurez básica (nivel 2 IAM)

hacia niveles superiores de estandarización, integración y alineación estratégica, en coherencia con los principios de la ISO 55001:2024 y el papel del mantenimiento dentro de la gestión de activos según la (UNE-EN16646, 2015).

Metodología para el diseño del plan estratégico

La construcción del plan estratégico de mejora se basó en una metodología estructurada en cinco etapas:

Priorización de brechas críticas

Usando la Matriz de Impacto y Urgencia desarrollada en el Objetivo 4, se seleccionaron las brechas con mayor influencia sobre la confiabilidad, disponibilidad, calidad de la información, costos y alineación estratégica.

Análisis causa-raíz

A partir de las brechas priorizadas se realizó un análisis interpretativo de causas estructurales:

- falta de metodologías,
- ausencia de procesos,
- debilidades de liderazgo,
- información incompleta,
- falta de visión integral del ciclo de vida.

Definición de líneas estratégicas de intervención

Estas líneas se alinearon con los principios de valor, riesgo y viabilidad operacional de ISO 55001:2024; los procesos de la UNE-EN 17007:2017 y el rol del mantenimiento dentro del sistema de gestión de activos según UNE-EN 16646:2014.

Formulación de acciones de mejora

Se establecieron acciones concretas, medibles y coherentes con la capacidad actual de la empresa.

Indicadores y metas

Se definieron indicadores clave (KPIs) por línea estratégica, incluyendo metas de mediano plazo y criterios de éxito.

Líneas estratégicas del plan de mejora

En función de las brechas identificadas, se definieron cinco líneas estratégicas esenciales para fortalecer la madurez del sistema de mantenimiento:

Tabla 14

Relación entre Líneas Estratégicas, Acciones y Normas Asociadas.

Línea Estratégica	Acciones Propuestas	Norma Relacionada
Gestión Estratégica	Política de mantenimiento, estrategia, comité de mantenimiento	ISO 55001:2024 – 5.2, 5.3; UNE-EN 16646 – 4.2
Planificación Táctica	Criticidad, PMM, priorización, programación	UNE-EN 17007 – Gestión táctica; ISO 55001 – 6.1
Confiabilidad Operativa	RCA, FMEA, POE, PMO, indicadores RAM	UNE-EN 17007 – 7.2; UNE-EN 16646 – 4.5
Gestión Tecnológica	Reconfiguración de Mantum, KPIs, integración	ISO 55001 – 7.5; UNE-EN 17007 – 8.3
Cultura y Competencias	Programa IAM, formación, sostenibilidad	ISO 55001 – 7.2; UNE-EN 16646 – 5

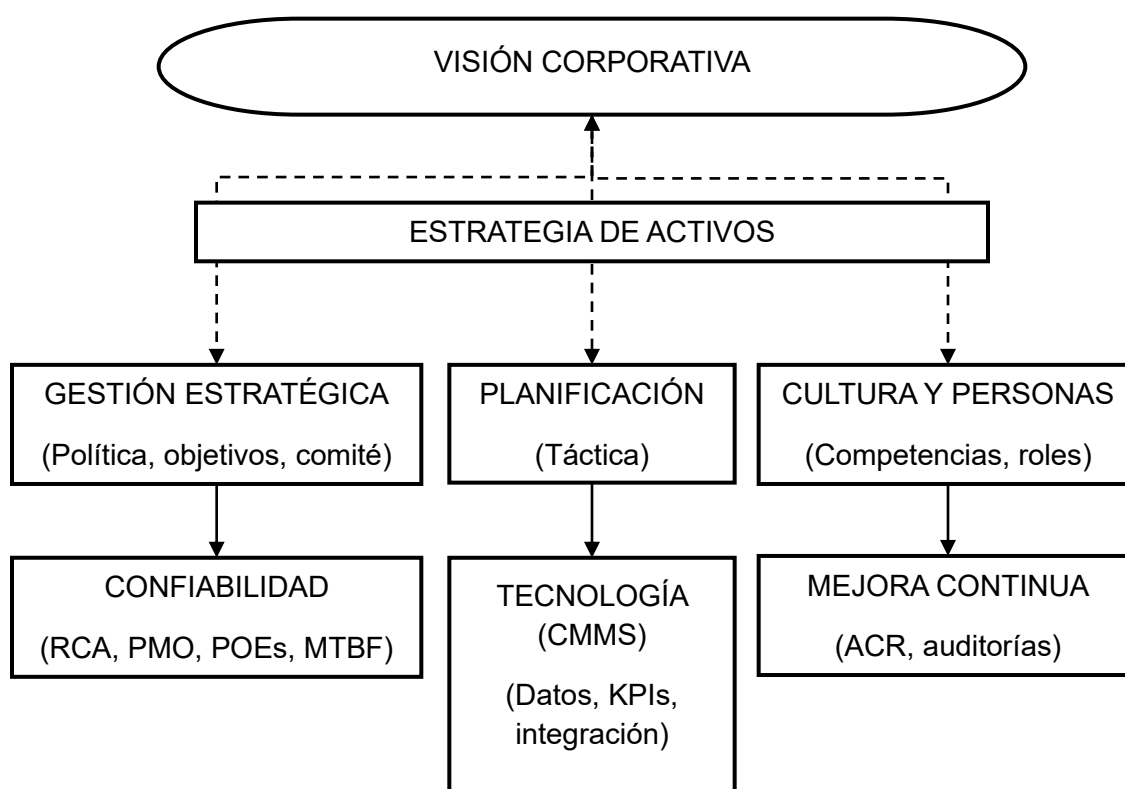
Nota. Relación elaborada a partir del plan estratégico diseñado en este trabajo, en coherencia con los principios de gestión de activos y diseño de estrategias de mantenimiento discutidos por (John Hastings, 2015) y (Amadi-Echendu, Brown, Willett, & Mathew, 2010).

Línea Estratégica 1: Gestión Estratégica del Mantenimiento

Objetivo: Integrar el mantenimiento dentro de la gestión de activos corporativa.

Ilustración 11

Mapa estratégico del mantenimiento



Nota: Mapa elaborado a partir de la estrategia de mantenimiento de la empresa, inspirada en los principios de alineación estratégica y mapas de valor descritos por (John Hastings, 2015) y (Amadi-Echendu, Brown, Willett, & Mathew, 2010).

Acciones:

- Elaborar y aprobar la Política de Mantenimiento alineada con ISO 55001.
- Construir la Estrategia de Mantenimiento, definiendo: objetivos estratégicos, indicadores, roles, riesgos críticos, relación con la misión y visión corporativa.

- Establecer un Comité de Gestión de Activos, con participación de Gerencia, Proyectos, Producción, Mantenimiento, Compras y Seguridad Industrial, que defina y supervise los lineamientos de la gestión de mantenimiento.

Indicadores:

- Existencia de la Política de Mantenimiento (Sí/No).
- Porcentaje de objetivos del mantenimiento vinculados a los objetivos corporativos.

Línea Estratégica 2: Fortalecimiento de la Planificación Táctica

Objetivo: Reestructurar la planificación del mantenimiento bajo un enfoque de gestión del riesgo y confiabilidad de activos.

Acciones:

- Implementar un Análisis de Criticidad de Activos (ABC o Matriz RAMS).
- Elaborar un Plan Maestro de Mantenimiento (PMM) en base a los manuales e historiales de trabajos.
- Definir un proceso formal de priorización (urgencia × impacto × riesgo).
- Actualizar la programación preventiva integrada con operaciones.

Indicadores:

- % de OT preventivas vs correctivas.
- % de OT no ejecutadas por indisponibilidad.
- Cumplimiento del plan preventivo (%).

Línea Estratégica 3: Estandarización Operativa y Confiabilidad

Objetivo: Eliminación de fallas repetitivas y fortalecimiento de la confiabilidad operativa.

Acciones:

- Implementar metodologías FMEA o ACR.
- Establecer procedimientos operativos estándar (POE) para actividades críticas.
- Implementar OGM (Oficina de Gestión de Mantenimiento).
- Desarrollar un programa de lubricación, inspección y vigilancia estandarizado.
- Diseñar indicadores operacionales: MTBF, MTTR, disponibilidad y OEE.

Beneficios esperados:

- Disminución de intervenciones de emergencia
- Incremento en MTBF
- Reducción del MTTR

Línea Estratégica 4: Gestión Tecnológica y del CMMS

Objetivo: Transformar el CMMS en una herramienta estratégica que facilite el análisis de información, el control de la gestión de mantenimiento y la toma de decisiones basada en datos.

Acciones:

- Reconfigurar Mantum para: registrar OT completas, asignar costos, controlar materiales, medir tiempos estándar.
- Crear tableros de control (KPIs) dentro del CMMS.
- Integrar Mantum con producción para capturar datos automáticos.
- Estandarizar catálogos: activos, repuestos, modos de falla, causas.

Indicadores:

- % de órdenes cerradas con información completa
- % de activos con codificación estándar
- Índice de calidad de datos (ICD)

Línea Estratégica 5: Cultura, Competencias y Sostenibilidad

Objetivo: Desarrollar las competencias y la cultura necesarias para sostener la gestión de activos.

Principales acciones:

- Crear un Programa de Formación en Gestión de Activos, basado en IAM para las jefaturas, supervisión y planificadores
- Estructurar un plan de competencias técnicas para mantenedores y operadores.
- Implementar actividades de integración interdepartamental (mantenimiento–operaciones–compras).
- Incorporar principios de sostenibilidad en mantenimiento: repuestos reciclables, reducción de consumos, mantenimiento energético.

Priorización estratégica del plan

Para garantizar su viabilidad, las acciones se clasifican según:

- impacto esperado,
- urgencia,
- costo aproximado,
- esfuerzo organizacional.

La priorización sigue el principio ISO 55001 de valor – riesgo – costo – oportunidad.

Tabla 15

Priorización del Plan Estratégico (Impacto – Esfuerzo).

Acción Estratégica	Impacto (1–5)	Esfuerzo (1–5)	Prioridad Resultante	Justificación
Política y Estrategia	5	3	Alta	Da dirección y alineación corporativa.
Análisis de Criticidad	5	4	Alta	Soporta planificación y priorización.
Implementación RCA/FMEA	4	3	Media–Alta	Reduce fallas recurrentes
Reconfiguración CMMS Mantum	4	4	Media	Mejora datos y control
Programa de Competencias	3	3	Media	Sostiene cultura a largo plazo.

Nota. Esquema elaborado de acciones prioritarias del plan estratégico para su aplicación, con base en la matriz impacto – esfuerzo formulada para la empresa, siguiendo criterios de priorización de iniciativas de mantenimiento planteados por (John Hastings, 2015) y (Parra, y otros, 2024).

Indicadores del plan estratégico

Se propone monitorear el avance mediante los siguientes KPIs:

- Tecnológicos: Calidad de datos del CMMS y % de OT con evidencia digital.
- Operativos: MTTR, MTBF, Disponibilidad promedio y % Preventivo/Correctivo.
- Estratégicos: Cumplimiento del PMM, Nivel de desarrollo de competencias, Nivel de madurez IAM (meta: pasar de 2.0 a 3.0).

Tabla 16

Indicadores Propuestos por Línea Estratégica (KPIs).

Línea Estratégica	Indicador (KPI)	Descripción	Meta
Estrategia	% de objetivos integrados	% de metas corporativas vinculadas al mantenimiento	90%
Planificación	% PM vs CM	Proporción de mantenimiento planificado	> 70% PM
Confiabilidad	MTBF	Confiabilidad promedio por sistema	> 20%
Tecnología	Calidad de datos CMMS	% de OT completas	>95%
Cultura	Índice de competencias IAM	Avance del plan formativo	80% anual

Nota: Indicadores preliminares para la evaluación de cumplimiento de las líneas estratégicas. Elaboración propia a partir de la literatura sobre indicadores de desempeño en mantenimiento y gestión de activos, especialmente (Jardine & Tsang, 2013) y (Jasiulewicz-Kaczmarek M. , 2018).

Ilustración 12

Ciclo de transformación del mantenimiento (ISO 55001).



Nota: Ciclo de mejora continua de la gestión de mantenimiento en la organización de acuerdo con la gestión de activos. Fuente: Elaboración propia adaptando los planteamientos de (John Hastings, 2015) y (Amadi-Echendu, Brown, Willett, & Mathew, 2010) sobre sistemas de gestión de activos.

Ilustración 13

Plan estratégico de mantenimiento

Plan Estratégico de Mantenimiento

Sistema de Gestión de Activos y Mantenimiento, alineado con los estándares internacionales, que permita alcanzar un nivel de madurez óptimo, a la altura de la norma ISO 55001.

Periodo resaltado:															
FASES DEL PLAN	ACTIVIDAD	ENTREGABLE	RESPONSABLE	NORMA	OBJETIVO	COSTOS	INICIO DEL PLAN (SEMANAS)		DURACIÓN DEL PLAN (SEMANAS)		INICIO REAL (SEMANAS)		DURACIÓN REAL (SEMANAS)		PORCENTAJE COMPLETADO
Fase 1	Presentación del diagnóstico y Plan Estratégico	Presentación pptx y xlsx	Planeación y Jefe Mantenimiento	**	Aprobación por dirección y gerencia.	\$	-	1	1		44	1		0%	
Fase 2	Construcción y adecuación infraestructura de mantenimiento	Oficinas y Taller de Mantenimiento	Gerencia	**	Construcción de locación oficial de mantenimiento.	\$	-	1	12					0%	
	Presentación de planos y adecuaciones locativas requeridas (oficinas, almacén, taller, baños y sala de reuniones).	Presentación pptx	Mantenimiento y Planeación	**	Aprobación por dirección y gerencia.	\$	-	1	1					0%	
	Presentar herramientas especiales	Listado de herramientas y artículos xlsx	Mantenimiento y Planeación	**	Aprobación por dirección y gerencia.	\$	-	1	1					0%	
Fase 3	Determinar el alcance del sistema de gestión de activos	Documento docx	Gerencia y Planeación	ISO 55001 (4.3)	Definir el alcance del SGA incluyendo los equipos y áreas que se acogen.	\$	-	1	2					0%	
	Establecer la política, estrategia y objetivos de la gestión de mantenimiento.	Documento docx	Mantenimiento y Gerencia	ISO 55001 (5.2)	Establecer y difundir en la empresa cual es el alcance y foco del área de mantenimiento.	\$	-	1	2					0%	
	Capacitación básica en Gestión de Activos e ISO 55000	Registro de Capacitación	Planeación y RH	ISO 55002 (7.2)	Realizar una capacitación administrativa documentada acerca de las ISO 55000.	\$	-	1	2					0%	
	Creación del Comité de Gestión de Activos (CGA)	Acta de conformación	Gerencia	ISO 55001 (5.3)	Creación de comité de CGA para la toma decisiones.	\$	-	1	1					0%	
Fase 4	Definir la jerarquía de activos físicos: Desde la cartera, sistemas y activos físicos individuales.	Documento xlsx	Gerencia, Planeación y Mantenimiento	UNE-EN 16646	Definir la jerarquía de los activos Incluyendo planta de copacabana.	\$	-	1	14					0%	
	Levantamiento físico de todos los activos (plantas, equipos, líneas)	Documento xlsx	Planeación y Mantenimiento	ISO 14224 / UNE-EN 16646	Realizar el levantamiento físico de todos lo equipos de la planta y verificar su codificación.	\$	-	1	4					0%	
	Actualización de Taxonomía y elaboración de matriz de criticidad (Con su respectiva codificación)	Documento xlsx	Planeación y Mantenimiento	ISO 14224 / UNE-EN 16647 / ISO 55001 (6.1)	Elaborar matriz de criticidad partiendo de la mantenibilidad e impacto en el proceso.	\$	-	5	2					0%	
	Creación de hojas de vida técnicas	Documento xlsx (Plantilla por equipo)	Planeación y Mantenimiento	ISO 14224 (7.4)	Definir un formato, información del documento y frecuencia de actualización.	\$	-	7	4					0%	

Nota: Propuesta de Gantt del Plan estratégico de mantenimiento para la organización de acuerdo con fases, objetivos y fechas de ejecución.
Fuente: Elaboración propia en coherencia con las recomendaciones de planificación estratégica de mantenimiento descritas por (Parra, y otros, 2024) y (Oliveira & Lopes, 2020).

Fase 5	Definir los procesos de mantenimiento (Gestión, Realización y Soporte)	Mapa de Procesos	Planeación	UNE-EN 17007	Formalización y estándares de la gestión de mantenimiento.	\$	-	15	12	0%
	Elaborar procedimiento de planificación y programación	Documento docx	Planeación	UNE-EN 17007 / ISO 55001 (8.1)	Proceso formalizado.	\$	-	15	2	0%
	Elaborar procedimiento de ejecución del mantenimiento	Documento docx	Mantenimiento	UNE-EN 17007 / 16646	Estandarización de ejecución.	\$	-	15	31	0%
	Elaborar procedimiento de gestión de repuestos y materiales	Documento docx	Planeación / compras / almacén	ISO 55001 (8.1)	Mejorar la comunicación con el área de compras y almacén para evitar reprocesos.	\$	-	17	3	0%
	Elaborar procedimiento de cierre técnico y retroalimentación	Documento docx	Planeación	ISO 14224 (7.5)	Definir procedimientos y responsables para el almacenamiento de la información.	\$	-	20	2	0%
	Procedimiento de análisis de fallas y RCA	Documento docx	Planeación y Mantenimiento	ISO 14224 (Annex B)	Definir metodología para el análisis estructurado de causas.	\$	-	22	3	0%
	Establecer control documental (Lista maestra de documentos)	Documento docx	Planeación	ISO 55001 (7.5)	Índice de documentos.	\$	-	25	1	0%
Fase 6	Realizar capacitación de sistema Mantum CMMS	Registro de Capacitación	Planeación	ISO 55002	Formación del área administrativa y técnica del uso del aplicativo	\$	-	26	8	0%
	Elaborar procedimiento de almacenamiento de datos y suministro de información en Mantum CMMS	Registro de Capacitación	Planeación	ISO 55002	Definir procedimientos y responsables para el almacenamiento de la información.	\$	-	26	1	0%
	Realizar capacitación de implementación de buenas practicas de RCM	Registro de Capacitación	Planeación	RCM	Plan de formación.	\$	-	27	1	0%
	Realizar capacitación de implementación de buenas practicas de TPM	Registro de Capacitación	Planeación	TPM	Plan de formación.	\$	-	28	1	0%
	Realizar capacitación de implementación de buenas practicas de CBM	Registro de Capacitación	Planeación	CBM	Plan de formación.	\$	-	29	1	0%
	Realizar capacitación de implementación de buenas practicas de PMO	Registro de Capacitación	Planeación	PMO	Plan de formación.	\$	-	30	1	0%
	Realizar capacitación, seguimiento e implementación de buenas practicas de las 5s	Registro de Capacitación	Planeación	5S	Plan de formación.	\$	-	1	52	0%
	Evaluar los existentes y actualizar indicadores clave (KPI)	Tablero de KPIs	Planeación	ISO 55002 (9.1)	Evaluar el impacto para la toma de decisiones de los KPI actuales.	\$	-	31	4	0%
	Diseñar reportes mensuales y semanales de desempeño	Presentación pptx y xlsx	Planeación	ISO 55002	Seguimiento periódico de indicadores.	\$	-	35	4	0%
	Evaluar la implementación de sistema Scada para monitoreo de parámetros para mantenimiento	Documento docx	Planeación	ISO 55001 (7.1)	Información en tiempo real del comportamiento de parámetros.	\$	-	39	1	0%
Fase 7	Elaborar Manual de Gestión de Activos	Documento docx	Planeación	ISO 55001 / 55002	Implementar estructura de SGAM formal	\$	-	40	4	0%
	Alinear mantenimiento con estrategia empresarial	Matriz de alineación	Gerencia y Planeación	ISO 55000 (Cl. 2)	Definir metodología para alinear mantenimiento con los objetivos de la organización	\$	-	40	4	0%
	Establecer control de riesgos asociados a activos	Matriz de riesgos	Gerencia y Planeación	ISO 55001 (6.1)	Definir metodología para el análisis de riesgo de los activos	\$	-	40	2	0%
	Definir plan de gestión de competencias	Plan anual de capacitación	Planeación y RH	ISO 55001 (7.2)	Plan de formación.	\$	-	42	2	0%
	Estandarizar revisiones de desempeño	Formato de revisión gerencial	CGA	ISO 55001 (9.3)	Definir revisiones periódicas para el conocimiento de comportamiento de activos	\$	-	44	2	0%
Fase 8	Auditoría interna al sistema de mantenimiento	Informe de auditoría	Planeación / Calidad	ISO 55001 (9.2)	Evaluación de avance	\$	-	46	2	0%
	Revisión por la dirección	Acta de revisión	Gerencia	ISO 55001 (9.3)	Evaluación de avance	\$	-	48	2	0%
	Actualizar plan de mejora	Plan ajustado	Planeación	ISO 55002 (10.2)	Evaluación de avance	\$	-	50	2	0%

Tabla 17*Metas e indicadores asociados a los objetivos de cada fase del plan*

Fase	Objetivo de la Fase	Meta Cuantificable (SMART)	Indicador Propuesto	Frecuencia de Medición	Fuente de Datos	Norma Aplicable	Meta Objetivo (Año 1)	Responsable
Fase 1	Lograr aprobación formal del diagnóstico y Plan Estratégico	Aprobación escrita de diagnóstico en máximo 2 semanas	% documentos diagnósticos aprobados	Semanal	Actas de dirección	ISO 55001 (5.1)	100%	Planeación y Dirección
		Aprobación escrita del Plan Estratégico en máximo 4 semanas	% componentes del plan aprobados	Semanal	Acta formal de aprobación	ISO 55001 (5.1)	100%	Planeación y Dirección
		100% de dirección capacitada en semana 1	Nº sesiones de capacitación realizadas	Una vez	Registros de asistencia	ISO 55001 (7.2)	100%	Planeación y RH
Fase 2	Disponer de infraestructura física y recursos básicos	Completar 100% adecuaciones locativas en 12 semanas	% avance físico de obras	Quincenal	Informes de obra	ISO 55001 (7.1)	100%	Gerencia y Contratista
		Adquirir 100% herramientas críticas en 6 semanas	% herramientas críticas disponibles	Semanal	Actas de recibo	ISO 55001 (7.1)	100%	Mantenimiento y Almacén
		Instalar 100% equipos de seguridad en 8 semanas	% equipos de seguridad operativos	Semanal	Actas de inspección	ISO 55001 (6.1)	100%	Mantenimiento y Seguridad
		Asegurar acceso 24/7 en semana 10	Nº horas de acceso a infraestructura	Quincenal	Registros de acceso	ISO 55001 (7.1)	100%	Facilities
Fase 3	Definir alcance del SGA, política y comité de	Publicar política del SGA en máximo 4 semanas	% capítulos de política documentados	Quincenal	Manual del SGA	ISO 55001 (5.2)	100%	Planeación y Gerencia
		Documentar alcance en máximo 6 semanas	Nº de páginas del alcance documentadas	Quincenal	Documento de alcance	ISO 55001 (4.3)	100%	Planeación y Gerencia

	gestión de activos	Establecer objetivos alineados en máximo 6 semanas	% objetivos SMART alineados	Una vez	Matriz de alineación	ISO 55000 (2)	100%	Planeación y Gerencia
		Constituir CGA y realizar 1ª reunión en semana 2	% miembros CGA presentes en 1ª sesión	Una vez	Acta de CGA	ISO 55001 (5.3)	100%	Gerencia
		Capacitar CGA en ISO 55001 en semana 4	Nº certificados ISO 55001 generados	Una vez	Certificados	ISO 55002 (7.2)	100%	Planeación y RH
Fase 4	Contar con jerarquía de activos, criticidad y hojas de vida técnicas	Registrar 100% activos en jerarquía	% activos registrados en jerarquía	Mensual	CMMS	UNE-EN 16646	100%	Planeación y Mantenimiento
		Completar levantamiento físico 100% en 8 semanas	% levantamiento físico completado	Semanal	Reportes de levantamiento	ISO 14224	100%	Planeación y Mantenimiento
		Desarrollar matriz de criticidad 100%	% equipos clasificados por criticidad	Mensual	Matriz de criticidad	UNE-EN 16647	100%	Planeación y Mantenimiento
		Elaborar hojas de vida 100% equipos críticos	% equipos críticos con hoja de vida	Mensual	Hojas de vida	ISO 14224 (7.4)	100%	Planeación y Mantenimiento
		Cargar datos ISO 14224 en 95% equipos	% datos ISO 14224 recolectados	Mensual	Base de datos ISO 14224	ISO 14224	95%	Planeación y Mantenimiento
		Actualizar taxonomía en semana 11	% cambios en taxonomía validados	Una vez	CMMS	UNE-EN 16646	100%	Planeación y Mantenimiento
Fase 5	Formalizar procesos y Análisis de fallas	Emitir procedimiento de planificación en semana 4	% procedimiento de planificación completado	Una vez	Repositorio documental	UNE-EN 17007	100%	Planeación
		Emitir procedimiento de ejecución en semana 20	% procedimiento de ejecución implementado	Una vez	Repositorio documental	UNE-EN 17007	100%	Mantenimiento
		Emitir procedimiento de repuestos en semana 8	% procedimiento de repuestos operativo	Una vez	Repositorio documental	ISO 55001 (8.1)	100%	Planeación y Compras

Fase 6		Emitir procedimiento de cierre técnico en semana 12	% procedimientos críticos emitidos	Mensual	Repositorio documental	UNE-EN 17007	100%	Planeación
		Aplicar RCA al 100% fallas críticas en aproximadamente 30 días	Tasa de RCA aplicadas	Mensual	Registros de RCA	ISO 14224	100%	Planeación y Mantenimiento
		Documentar causas raíz con mínimo 3 niveles	Profundidad promedio de análisis RCA	Mensual	Informes de RCA	ISO 14224	≥3 niveles	Planeación y Mantenimiento
		Implementar acciones correctivas de RCA en 95%	% acciones correctivas RCA cerradas	Mensual	Plan de acciones	ISO 55001 (8.1)	95%	Mantenimiento
		Reducir recurrencia de fallas en 30% a año 1	% reducción de recurrencia	Trimestral	Análisis de fallas	ISO 14224	≥30%	Planeación
	Asegurar uso eficaz del CMMS y formación	Capacitar 100% personal en el uso del sistema Mantum en 4 semanas	% personal capacitado en CMMS	Una vez	Registros de capacitación	ISO 55002 (7.2)	100%	Planeación y RH
		Capacitar 100% en RCM, TPM, CBM, PMO y 5S	% certificados de formación en metodologías	Mensual	Registros de capacitación	ISO 55002 (7.2)	100%	Planeación y RH
		Registrar 95% OT en CMMS desde inicio	% OT registradas en CMMS	Diaria	CMMS	ISO 14224	95%	Planeación y Mantenimiento
		Registrar 100% tiempos en CMMS diariamente	% tiempos laborales registrados	Diaria	CMMS	ISO 14224	100%	Mantenimiento
		Alcanzar 90% cumplimiento PM mes 1	% PM cumplidas a tiempo	Semanal	CMMS	ISO 55001 (8.1)	≥90%	Planeación
	Diseñar tablero de KPI	Definir tablero con 15 KPI principales	Nº de KPI documentados	Una vez	Tablero de KPI	ISO 55002 (9.1)	15 KPI	Planeación
		Emitir reportes mensuales 100% a plazo	% reportes mensuales a tiempo	Mensual	Reportes mensuales	ISO 55002 (9.1)	100%	Planeación

		Emitir reportes semanales de seguimiento	% reportes semanales a tiempo	Semanal	Cronogram a semanal	ISO 55002 (9.1)	100%	Planeación
Fase 7	Implementar Sistema de Gestión de Activos	Aprobar Manual de Gestión en 4 meses	% capítulos Manual SGA completados	Una vez	Manual SGA	ISO 55001	100%	Planeación y Gerencia
		Identificar y evaluar riesgos 100% en 6 meses	Nº riesgos de activos con tratamiento	Mensual	Matriz de riesgos	ISO 55001 (6.1)	100%	Planeación y Gerencia
		Alcanzar nivel de madurez 3 en año 3	Puntuación de madurez ISO 55001	Anual	Autoevaluación ISO 55001	ISO 55001	Nivel 2-3	Planeación y Gerencia
		Diseñar plan de competencias 100%	% brechas de competencias cerradas	Una vez	Plan de competencias	ISO 55001 (7.2)	≥80%	Planeación y RH
	Gestionar competencias y revisiones	Ejecutar 2 revisiones gerenciales anuales	Nº revisiones gerenciales realizadas	Semestral	Actas de revisión	ISO 55001 (9.3)	≥2	Gerencia
		Realizar auditoría interna anual	Nº auditorías internas completadas	Anual	Informe de auditoría	ISO 55001 (9.2)	≥1	Planeación y Calidad
Fase 8	Evaluar desempeño del sistema	Cerrar 90% hallazgos en plazo	% hallazgos cerrados en plazo	Anual	Plan de acciones	ISO 55002 (10.2)	≥90%	Planeación
		Actualizar plan de mejora 2 veces/año	Nº acciones de mejora implementadas	Anual	Plan de mejora	ISO 55002 (10.2)	≥80%	Planeación
		Demostrar mejora en 80% KPI anuales	Tendencia mensual de KPI clave	Trimestral	Tablero de KPI	ISO 55001 (9.1)	≥80%	Planeación
		Documentar lecciones aprendidas del plan	Nº de lecciones documentadas	Al final	Documento de lecciones	ISO 55001	100%	Planeación

Nota: Metas establecidas para alcanzar los objetivos del plan estratégico de mantenimiento propuesto, alineado con los enfoques de sistemas de gestión de activos y mejora continua descritos por (John Hastings, 2015), (Amadi-Echendu, Brown, Willett, & Mathew, 2010) y (Jardine & Tsang, 2013).

Conclusiones del Objetivo 5

El plan estratégico formulado proporciona una hoja de ruta clara, estructurada y realista para la evolución del mantenimiento dentro de la organización. Este plan articula acciones de corto, mediano y largo plazo, integrando enfoques estratégicos, tácticos, operativos, tecnológicos y culturales.

Su implementación permitirá a la empresa mejorar significativamente su confiabilidad operacional, optimizar recursos, reducir costos no planificados, fortalecer la toma de decisiones basada en datos y consolidar un sistema de mantenimiento alineado con los principios de la gestión de activos.

Con este plan se sientan las bases para que la organización avance hacia un modelo maduro, sostenible y generador de valor.

Los hallazgos derivados del diseño del plan estratégico de mantenimiento muestran que es posible estructurar una hoja de ruta realista y coherente con la situación actual de la empresa, utilizando como ejes la gobernanza, la planificación basada en riesgo, la confiabilidad, la gestión de la información y el desarrollo de competencias. El plan recoge las brechas identificadas y las traduce en acciones, metas e indicadores que permiten orientar y monitorear la transformación de la gestión de mantenimiento. Un hallazgo relevante es que muchas de las mejoras propuestas no requieren necesariamente grandes inversiones tecnológicas, sino mayor claridad en los procesos, disciplina en el uso de la información y alineación entre las áreas involucradas. El éxito del plan dependerá, en gran medida, del compromiso de la dirección y de la capacidad de la organización para sostener en el tiempo las acciones definidas.

Objetivo Seis – Conclusiones

Presentar los principales hallazgos y resultados del trabajo de profundización.

El propósito de este objetivo es sintetizar los hallazgos obtenidos en el desarrollo de los cinco objetivos anteriores, integrando los resultados del diagnóstico inicial, la evaluación de madurez, el análisis de procesos, la identificación de brechas y la formulación del plan estratégico de mejora. Esta integración permite consolidar una visión global y ordenada del estado actual de la gestión de mantenimiento de la empresa, así como de las oportunidades que permitirán fortalecer su alineación con los principios de la gestión de activos.

Para asegurar la trazabilidad de la implementación del plan, se define un conjunto de indicadores de desempeño de mantenimiento y de gestión de activos, donde se toma como referencia marcos de medición propuestos en la literatura. (Muchiri, Pintelon, Gelders, & Martin, 2011) plantean que un sistema de indicadores de mantenimiento debe cubrir dimensiones como eficacia, eficiencia, organización y aprendizaje, integrando tanto indicadores técnicos (disponibilidad, MTBF, MTTR) como indicadores financieros y de procesos.

Se consideran los aportes de modelos de madurez de mantenimiento que subrayan la importancia de indicadores relacionados con la calidad de la información, el grado de estandarización de procesos y la adopción de enfoques predictivos y prescriptivos (Franciosi, TORTORA, & MIRANDA, 2023); (Engineering, 2025).

La importancia de este objetivo radica en que proporciona el puente entre la fase diagnóstica y la fase propositiva, permitiendo validar los hallazgos mediante una lectura transversal y coherente con los marcos normativos utilizados durante la investigación: ISO 55001:2024, UNE-EN 16646:2014 y UNE-EN 17007:2017. Asimismo, sirve de fundamento para las conclusiones generales del proyecto, al evidenciar la relación entre el nivel de madurez de la organización y los desafíos presentes en la operación minera y productiva.

Síntesis de hallazgos por dimensión analizada

Para facilitar la comprensión, los hallazgos se presentan en cinco dimensiones analíticas principales, cada una correspondiente a los objetivos desarrollados previamente.

Hallazgos del diagnóstico inicial (Objetivo 1)

El diagnóstico permitió identificar el estado actual de la gestión de mantenimiento dentro de la empresa, mostrando:

- Un sistema de mantenimiento funcional a nivel operativo, pero sin estructura estratégica ni táctica formal.
- Procesos documentales mínimos y ausencia de normativas internas que regulen roles, responsabilidades o estándares.
- Información de activos limitada: 95% de los equipos carecen de fichas técnicas completas, documentación de ciclos de vida o manuales consolidados.
- Indicadores operacionales contruidos parcialmente, sin consistencia histórica ni trazabilidad adecuada.
- Gestión de mantenimiento reactiva, con un porcentaje significativo de órdenes correctivas y sistemáticas.
- Cultura técnica basada en la experiencia, pero sin metodologías formales ni enfoque basado en confiabilidad.
- Este panorama confirmó la necesidad de avanzar hacia un modelo más integrado y maduro de gestión del mantenimiento.

Hallazgos de la evaluación de madurez IAM (Objetivo 2)

La aplicación del modelo IAM determinó que la organización se encuentra en un nivel de madurez 2, considerado como:

- Básico,
- Parcialmente estructurado,
- Con predominio de prácticas empíricas,
- Y dependencia de experiencia operativa.

Los puntajes más bajos se encontraron en:

- Liderazgo y alineación estratégica,
- Gestión del riesgo,
- Información y toma de decisiones,
- Estructura del proceso de gestión de activos.

Los niveles más altos se observaron en:

- Gestión operativa y respuesta a eventos,
- Capacidad del personal para resolver fallas,
- Gestión mínima de indicadores operativos.

Este resultado evidenció que el mantenimiento opera, pero no gestiona valor, lo cual es una limitación crítica considerando las exigencias de la ISO 55001.

Hallazgos del análisis de procesos UNE-EN 17007 (Objetivo 3)

El análisis de procesos permitió evaluar la correspondencia entre las actividades de mantenimiento reales y los procesos definidos en la UNE-EN 17007. Se identificó que:

- Los procesos operativos están parcialmente implementados, aunque sin estandarización.

- Los procesos tácticos presentan brechas en planificación, criticidad, priorización e integración con compras y producción.
- Los procesos estratégicos no existen formalmente.
- Los procesos de soporte técnico son débiles (repuestos, catálogos de activos, gestión documental, manuales, CMMS).
- Los procesos de mejora (indicadores avanzados, auditorías, RCA) se realizan de manera ocasional y no sistemática.

El análisis permitió ubicar el sistema real de mantenimiento dentro de un modelo de procesos aún inmaduro y con estructuras incompletas.

Hallazgos del análisis de brechas (Objetivo 4)

El análisis de brechas confirmó:

Brechas estratégicas:

- No existe política ni estrategia de mantenimiento.
- Mantenimiento no se integra con la planeación corporativa.

Brechas tácticas:

- Falta de análisis de criticidad.
- Planificación débil.
- Priorización empírica.
- Repuestos críticos no definidos.

Brechas operativas:

- Alta dependencia de correctivos.
- Falta de metodologías RCA/FMEA.
- Procedimientos inexistentes o parciales.

Brechas tecnológicas:

- CMMS subutilizado.
- Información técnica incompleta.
- Sin analítica industrial aplicada.

Brechas culturales:

- Necesidad de fortalecer competencias.
- Comunicación interdepartamental débil.
- Liderazgo limitado en activos.

Estas brechas justificaron la formulación de un plan estratégico de mejora robusto en el Objetivo 5.

Hallazgos del plan estratégico (Objetivo 5)

En respuesta a las brechas identificadas, se diseñó un plan de mejora articulado en cinco líneas estratégicas fundamentales:

- Gestión estratégica del mantenimiento
- Fortalecimiento de la planificación táctica
- Estandarización operativa y confiabilidad
- Gestión tecnológica y del CMMS
- Cultura, competencias y sostenibilidad

Este plan constituye la hoja de ruta para llevar a la empresa hacia un nivel superior de madurez, estableciendo metas claras, indicadores y prioridades de implementación.

Integración global de los resultados

Al observar el conjunto de hallazgos, se identifica un patrón común:

La empresa posee fortaleza operativa, pero presenta debilidades en:

- Información

- Estrategia
- Procesos
- Liderazgo
- Tecnología
- Gestión documental

Este patrón coincide con lo documentado por:

- Errandonea et al. (2022) sobre madurez M³
- Oliveira y Lopes (2019) sobre brechas estructurales
- Marttonen-Arola (2021) sobre valor de los datos
- UNE-EN 16646 sobre papel estratégico del mantenimiento
- ISO 55001 sobre liderazgo, riesgo, valor y alineación

La conclusión transversal es que el mantenimiento funciona, pero no está gestionado como un activo estratégico, lo cual limita su contribución a la continuidad productiva y la competitividad organizacional.

Conclusión del objetivo

Este objetivo permitió consolidar y presentar los principales hallazgos del proyecto, demostrando que la organización cuenta con capacidades operativas significativas, pero requiere avanzar hacia un modelo de mantenimiento maduro, estandarizado y alineado con la gestión de activos.

La síntesis presentada constituye el fundamento para las conclusiones generales de la tesis y respalda la pertinencia del plan estratégico diseñado, evidenciando una ruta clara hacia la excelencia operacional y la sostenibilidad.

La síntesis de los resultados obtenidos en los objetivos anteriores evidencia que la empresa se encuentra en una fase de transición: posee una operación consolidada y un

conocimiento práctico significativo, pero requiere fortalecer de manera decidida su gestión de mantenimiento para alinearla con la gestión de activos y con las normas de referencia. Los hallazgos muestran que el diagnóstico de madurez, el análisis de procesos y la identificación de brechas son coherentes entre sí y respaldan la pertinencia del plan estratégico propuesto. En términos técnicos, organizacionales y sectoriales, el trabajo aporta una estructura metodológica que la empresa puede utilizar como guía para su evolución futura; en términos académicos, demuestra la aplicabilidad de los marcos UNE-EN 16646, UNE-EN 17007 y ISO 55001 en el contexto de una empresa minera productora de carbonato de calcio.

Descripción De Como Se Alcanzan Los Objetivos

La secuencia metodológica adoptada en el trabajo parte de la caracterización del contexto, diagnóstico de madurez, análisis de brechas, formulación de líneas estratégicas, diseño del plan y definición de indicadores, que es consistente con los enfoques recomendados en la literatura para proyectos de mejora de la gestión de mantenimiento alineados con la gestión de activos. Diferentes autores plantean que el punto de partida debe ser un diagnóstico estructurado, usualmente mediante modelos de madurez, seguido de un proceso de análisis de brechas y construcción de una hoja de ruta con acciones priorizadas (Chemweno, Pintelon, Horenbeek, & Muchiri, 2015); (Oliveira, Andrade, Santos, Amaral, & Cintra, 2022); (Franciosi, TORTORA, & MIRANDA, 2023).

La incorporación de indicadores desde la fase de diseño del plan responde a la recomendación de integrar la medición de desempeño como parte del propio sistema de gestión de mantenimiento, de forma que los avances puedan verificarse y el plan se ajuste de manera iterativa (Muchiri, Pintelon, Gelders, & Martin, 2011); (Varma & Proctor, 2020). Esta lógica metodológica permite demostrar explícitamente en el trabajo de profundización cómo cada uno de los objetivos planteados se alcanza a través de actividades soportadas en marcos conceptuales y empíricos reconocidos.

Objetivo Específico 1

“Identificar el sistema actual de gestión de mantenimiento de la empresa, identificando sus políticas, procesos y prácticas operativas, para establecer una línea base de desempeño organizacional alineado a la Norma ISO 55001:2024, numeral 4.1”.

Cómo se alcanza el logro

El logro del primer objetivo se obtiene a través de una caracterización integral del sistema de mantenimiento, realizada mediante:

Revisión documental interna:

Se analiza toda la información proporcionada por la empresa, incluyendo:

- documentos del Sistema Integrado de Gestión,
- procedimientos existentes,
- reportes técnicos,
- información de orden de trabajo,
- manuales y registros disponibles.

Aplicación del marco ISO 55001:2024 (numeral 4.1):

Este numeral exige comprender el contexto interno y externo, así como partes interesadas y requisitos organizacionales.

Se evalúan:

- estructura organizacional,
- roles y responsabilidades,
- necesidades de partes interesadas,
- expectativas operativas.

Análisis de indicadores operacionales (aportados por la empresa):

Se estudian las curvas y tendencias de:

- carga excavada,
- eficiencia de planta,
- disponibilidad operativa,
- indicadores de producción.

Entrevistas semiestructuradas con personal técnico y operativo:

Permiten identificar prácticas reales de mantenimiento, decisiones operativas, coordinación interdepartamental y problemas frecuentes.

Identificación del grado de documentación técnica de los activos:

El diagnóstico evidencia que aproximadamente el 95% de los activos no cuenta con información técnica organizada, lo cual permite establecer la línea base del sistema.

Resultado alcanzado

El objetivo se cumple porque se obtiene un panorama claro, documentado y verificable del estado actual del mantenimiento, identificando prácticas reales, brechas operativas y capacidades instaladas, tal como exige la ISO 55001 para iniciar un sistema de gestión de activos.

Objetivo Específico 2

“Interpretar el nivel de madurez del sistema de mantenimiento mediante la aplicación de un modelo diagnóstico estructurado conforme a los requisitos de la norma UNE-EN 16646:2014”.

Cómo se alcanza el logro

El logro se obtiene mediante un proceso sistemático:

Aplicación del instrumento del IAM (Institute of Asset Management):

Se usa la herramienta digital proporcionada por el profesor para evaluar:

- liderazgo,
- contexto,
- planificación,
- ciclo de vida,
- gestión del riesgo,
- información,
- evaluación del desempeño.

Calificación de las respuestas:

La herramienta arroja valores numéricos que sitúan el nivel de la organización en una escala de 1 a 5.

Interpretación bajo la UNE-EN 16646:

Esta norma establece el papel del mantenimiento dentro de la gestión de activos.

De acuerdo con ella:

- el nivel 2 encontrado refleja un sistema básico,
- sin integración con la estrategia corporativa,
- con alta dependencia de experiencia operativa,
- con carencias en estructura, documentación y procesos.

Comparación con el diagnóstico del Objetivo 1:

Se correlacionan los resultados del modelo IAM con los hallazgos previos, lo cual confirma coherencia y validez.

Resultado alcanzado

El objetivo se cumple porque se obtiene un diagnóstico cuantitativo y cualitativo del nivel de madurez, fundamentado en un modelo internacional y validado con evidencia real de la empresa.

Objetivo Específico 3

“Emplear los procesos de mantenimiento definidos en la UNE-EN 17007:2017 para verificar su correspondencia con los procesos ejecutados por la empresa”.

Cómo se alcanza el logro**Desglose de los procesos de la UNE-EN 17007:**

Se identifican los cinco grupos de procesos:

- estratégicos,
- tácticos,
- operativos,
- soporte técnico,
- mejora continua.

Mapeo de procesos actual vs. normativo:

Se compara:

- cómo opera realmente la empresa,
- contra cómo deberían operar sus procesos según la norma.

Identificación de correspondencia y desviaciones:

Se evidencia que:

- los procesos operativos existen, pero sin estandarización,
- los procesos tácticos están incompletos,
- los procesos estratégicos no están establecidos,
- los procesos de soporte y mejora continua son débiles o inexistentes.

Validación con información del CMMS MANTUM:

Los registros de órdenes, fallos, tipos de mantenimiento y frecuencia de ejecución confirman las brechas detectadas.

Resultado alcanzado

El objetivo se cumple porque se establece claramente el grado de alineación (o falta de alineación) entre los procesos reales y los definidos por la norma europea, aportando la base para el análisis de brechas.

Objetivo Específico 4

“Analizar las brechas y oportunidades de mejora que limiten la efectividad, eficiencia y sostenibilidad del mantenimiento”.

Cómo se alcanza el logro**Categorización de brechas:**

Se hace un análisis en cinco niveles:

- estratégico,
- táctico,
- operativo,
- tecnológico,
- cultural.

Integración de hallazgos de objetivos 1, 2 y 3:

Cada brecha se sustenta con:

- datos reales del diagnóstico,
- resultados del modelo IAM,
- comparación normativa con UNE-EN 17007,
- revisión documental y entrevistas.

Priorización mediante matriz impacto–urgencia:

Permite definir cuáles brechas afectan más la continuidad operativa y por tanto deben intervenir primero.

Relación brecha - proceso - norma:

Cada brecha se relaciona con una exigencia normativa específica, demostrando un análisis sólido.

Resultado alcanzado

El objetivo se cumple porque se obtiene un mapa integral de brechas con evidencia, priorización, implicaciones y relación normativa, lo cual sustenta la formulación del plan estratégico.

Objetivo Específico 5

“Diseñar un plan estratégico de mejora orientado a fortalecer la madurez del mantenimiento y su alineación con la gestión de activos”.

Cómo se alcanza el logro**Definición de cinco líneas estratégicas:**

- Estrategia,
- planificación,
- confiabilidad,
- tecnología y CMMS,
- cultura y competencias.

Formulación de acciones específicas:

Cada acción responde directamente a una brecha detectada.

Alineación con normas:

Se relacionan acciones con:

- ISO 55001:2024 (liderazgo, riesgo, información, valor),
- UNE-EN 16646 (papel del mantenimiento),
- UNE-EN 17007 (procesos).

Establecimiento de indicadores y metas:

Se definen KPIs estratégicos, tácticos y operativos.

Elaboración del plan de mantenimiento a 12 meses:

Ordena la implementación en fases:

- Fase 1: estratégica
- Fase 2: táctica
- Fase 3: operativa
- Fase 4: tecnológica

- Fase 5: cultural

Resultado alcanzado

El objetivo se cumple porque se obtiene un plan estratégico funcional, basado en evidencia, completo y aplicable para elevar la madurez del mantenimiento.

Objetivo Específico 6

“Presentar los principales hallazgos y resultados del trabajo de profundización”.

Cómo se alcanza el logro**Integración transversal de resultados:**

Se sintetiza la información de los cinco objetivos anteriores.

Identificación de patrones comunes:

- ausencia de alineación estratégica,
- debilidad documental,
- insuficiencia tecnológica,
- gestión reactiva,
- capacidades operativas sólidas, pero no estructuradas.

Relación con normas internacionales:

Se demuestra cómo cada hallazgo se interpreta bajo:

- ISO 55001,
- UNE-EN 17007,
- UNE-EN 16646.

Construcción de narrativa integradora:

Se conecta:

- diagnóstico → madurez → procesos → brechas → estrategia

Resultado alcanzado

El objetivo se cumple porque se presenta una síntesis clara, ordenada y coherente del estudio, sirviendo como base para conclusiones y recomendaciones finales.

Resultados más relevantes

La investigación realizada permite obtener resultados significativos que aportan valor desde diferentes perspectivas técnicas, sectoriales, científicas, académicas e industriales. En primer lugar, desde el punto de vista técnico, el estudio muestra que la empresa presenta un sistema de mantenimiento funcional en su dimensión operativa, pero limitado en sus capacidades estratégicas, tácticas y tecnológicas. La evaluación del estado actual revela que no existe una política formal de mantenimiento, las actividades no están organizadas en procesos estandarizados y la documentación técnica de los activos es insuficiente. Aproximadamente el 95% de los equipos carece de información completa sobre su ciclo de vida, manuales, fichas técnicas y registros estructurados, lo cual afecta la planificación, la gestión de repuestos y la capacidad de análisis de confiabilidad.

Los resultados obtenidos en el diagnóstico de madurez y en la formulación del plan estratégico se alinean con lo reportado en estudios de caso de industrias de proceso, donde se observa que muchas organizaciones se encuentran en niveles intermedios de madurez, con una fuerte presencia de prácticas reactivas y un uso limitado de información para la toma de decisiones (Oliveira, Andrade, Santos, Amaral, & Cintra, 2022) (Engineering, 2025).

En estos contextos, la aplicación de modelos de madurez ha permitido visibilizar las brechas y desarrollar planes de acción que conducen gradualmente hacia estrategias más preventivas, predictivas y alineadas con los objetivos del negocio.

De forma similar, la literatura indica que, cuando se vincula el diagnóstico de madurez con la formulación de acciones estratégicas y con la definición de indicadores, las organizaciones logran avances en disponibilidad, reducción de costos y aumento de la conciencia sobre el rol del mantenimiento en la sostenibilidad del sistema productivo (Chemweno, Pintelon, Horenbeek, & Muchiri, 2015); (Franciosi, TORTORA, & MIRANDA, 2023); (Tortora, Pasquale, Luisi, Ferretti, & Iannone, 2025).

Además, se observa una alta dependencia del mantenimiento correctivo y sistemático, lo cual evidencia un enfoque reactivo que incrementa el riesgo de fallas repetitivas y limita la eficiencia operativa. El análisis de la información disponible demuestra brechas significativas en la gestión tecnológica: el CMMS Mantum se emplea principalmente como un repositorio de órdenes de trabajo, sin explotación analítica ni integración con procesos de toma de decisiones. La ausencia de metodologías formales como RCA, FMEA, análisis de criticidad, o indicadores RAM, limita la capacidad de la organización para identificar causas raíz, evaluar la confiabilidad de los equipos o anticipar fallas futuras. Estos resultados técnicos confirman la necesidad de evolucionar hacia un modelo de mantenimiento basado en análisis, datos y confiabilidad.

Desde la perspectiva sectorial, el estudio permite comprender la dinámica en la que operan las pequeñas empresas mineras dedicadas a la producción de carbonato de calcio. Este sector experimenta un crecimiento acelerado impulsado por la demanda industrial, agrícola y manufacturera. Sin embargo, este crecimiento no siempre viene acompañado de procesos técnicos robustos, lo cual refleja un comportamiento común dentro del sector: baja madurez organizacional, escasa estandarización de procesos, dependencia del conocimiento empírico y resistencia a formalizar sistemas de gestión de activos. Los resultados obtenidos permiten concluir que los desafíos identificados en la empresa evaluada representan, en realidad, una problemática recurrente en el sector minero no metálico, donde las decisiones de mantenimiento suelen centrarse en la operación diaria y no en criterios de riesgo, confiabilidad o ciclo de vida.

El estudio también aporta resultados de orden científico al validar la aplicación simultánea de modelos y normas internacionales de gestión de activos y mantenimiento. La integración de la ISO 55001:2024, la UNE-EN 16646:2014 y la UNE-EN 17007:2017 con el modelo de madurez del Institute of Asset Management (IAM) permitió construir un enfoque metodológico robusto, replicable y basado en evidencia. La combinación de estos marcos no es común en investigaciones aplicadas a pequeñas operaciones mineras, por lo cual el proyecto

constituye una contribución científica al demostrar que es posible evaluar la madurez organizacional desde una perspectiva técnica, estratégica, cultural y tecnológica al mismo tiempo. Los resultados obtenidos coinciden con los hallazgos presentados por (Errandonea, 2022); (Oliveira & Lopes, 2020); (Marttonen-Arola & Baglee, 2024), quienes afirman que las organizaciones con bajo nivel de madurez tienden a presentar debilidades estructurales en liderazgo, información, gestión del riesgo y toma de decisiones. Lo observado en la empresa reafirma esta tendencia global.

En el ámbito académico, la investigación evidencia la aplicación rigurosa de metodologías de diagnóstico, evaluación y diseño estratégico dentro del marco de una maestría en gestión de activos y mantenimiento. El estudio demuestra la capacidad de integrar teoría y práctica, al aplicar instrumentos de evaluación de madurez, análisis normativo, procesos de diagnóstico organizacional, análisis de brechas y formulación estratégica. El trabajo representa un aporte académico porque construye un modelo práctico que puede ser replicado en organizaciones similares, al demostrar cómo la información técnica, los procesos reales y los requerimientos normativos pueden articularse para guiar una transformación del mantenimiento. La investigación fortalece además las competencias profesionales en análisis de activos, confiabilidad, gestión del riesgo, gestión documental, estructuración de procesos y toma de decisiones basada en evidencia.

Finalmente, los resultados industriales muestran impactos directos para la organización. El proyecto permitió identificar una hoja de ruta clara para la transformación del mantenimiento, estableciendo prioridades, fases de implementación, indicadores clave y líneas estratégicas alineadas con los estándares internacionales. Este plan estratégico representa una oportunidad para mejorar la confiabilidad, la disponibilidad, la eficiencia económica, la trazabilidad de la información y el control técnico de los activos. La empresa gana una visión más clara sobre cómo integrar mantenimiento con su estrategia corporativa, cómo desarrollar competencias técnicas en su personal y cómo adoptar prácticas que mejoren la continuidad operacional,

reduzcan costos no planificados y fortalezcan la productividad. A nivel industrial, la empresa se posiciona para avanzar hacia modelos de mantenimiento más modernos, apoyados en analítica, gestión de datos, procesos estandarizados y principios de gestión de activos.

En conjunto, los resultados evidencian que la empresa posee fortalezas operativas importantes, pero enfrenta limitaciones estratégicas, tecnológicas, culturales y organizacionales que restringen su madurez. La investigación permite identificar estas brechas, estructurarlas, priorizarlas y transformarlas en acciones estratégicas concretas que impulsen la competitividad, la sostenibilidad y el valor generado por el mantenimiento en la operación minera.

Referencias

- (GFMAM), T. G. (2021, 02 01). *The Maintenance Framework*. (GFMAM, Ed.) Retrieved 11 30, 2025, from chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gfmam.org/sites/default/files/2021-02/GFMAM%20Maintenance%20Framework%20-%202nd%20Edition%20Final.pdf: https://gfmam.org/publications/maintenance-framework-second-edition-english
- Amadi-Echendu, J., Brown, K., Willett, R., & Mathew, J. (2010). *Definitions, Concepts and Scope of Engineering Asset Management* (1ª edición ed., Vol. Vol. 1). (S. London, Ed., & English, Trans.) London, London, United Kingdom: Springer-Verlag London 2010. doi:https://doi.org/10.1007/978-1-84996-178-3
- Andrew K. S. Jardine, A. H. (2021). *Maintenance, replacement, and reliability : theory and applications* (3rd edition (3ª edición) ed., Vol. 1). (C. PRESS, Ed.) Boca Raton, Boca Raton, United States: CRC PRESS. Retrieved 11 30, 2025, from https://www.routledge.com/Maintenance-Replacement-and-Reliability/Jardine-Tsang/p/book/9780367076054
- Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., Raouf, A., Knezevic, J., & Ait-Kadi., D. (2009). *Handbook of Maintenance Management and Engineering* (1 ed., Vol. 1). (M. Ben-Daya, Ed.) London, London, United Kingdom: Springer London. doi:https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0
- Blanchard, B. S. (1995). *Ingeniería Logística* (6 ed., Vol. 1). (Isdefe, Ed., & A. C. Uldall, Trans.) Upper Saddle River, NEW Jersey, United States: Prentice Hall. Retrieved 11 30, 2025, from https://www.pearson.com
- Blanchard, B., & Fabrycky, W. J. (2011). *Systems Engineering and Analysis* (5 ed., Vol. 1). (Pearson, Ed.) Upper Saddle River, New Jersey, United States: Pearson Education, Inc. Retrieved 11 30, 2025, from chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781292038391_A24619687/preview-9781292038391_A24619687.pdf
- BS_ISO_55001. (2024). *Asset management — Asset management System - Requirements*. (B. S. Publication, Ed.) Geneva, Geneva, Switzerland: ISO (International Organization for Standardization). Retrieved 11 30, 2025, from https://www.iso.org/standard/55088.html
- Chemweno, P., Pintelon, L., Horenbeek, A. V., & Muchiri, P. N. (2015). Asset maintenance maturity model: structured guide to maintenance process maturity. *International Journal of Strategic Engineering Asset Management*(2), 119. doi:10.1504/IJSEAM.2015.070621

- Comes, J., Islamovic, E., Lizandara-Pueyo, C., & Seto, J. (2024). Improvements in the utilization of calcium carbonate in promoting sustainability and environmental health. *Frontiers in Chemistry*, 12(22962646). doi:10.3389/FCHEM.2024.1472284/FULL
- Dhillon, B. (2006). *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers* (1 ed., Vol. 1). CRC Press / Taylor & Francis Group. doi:<https://doi.org/10.1201/9781420006780>
- Engineering, P. (2025, 03 18). *Closing the gap: a practical guide to maintenance maturity*, 1. (C. Strachan, Editor, & C. Strachan, Producer) Retrieved 03 18, 2025, from <https://www.plantengineering.com/closing-the-gap-a-practical-guide-to-maintenance-maturity/>: <https://www.plantengineering.com/closing-the-gap-a-practical-guide-to-maintenance-maturity/>
- Erdogan, N., & EKEN, H. A. (2016, 02 09). PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE PRODUCTION, SYNTHESIS AND PROPERTIES. *Aksaray University, Department of Mining Engineering, Aksaray, Turkey*, 53(1), 12. doi:<http://dx.doi.org/10.5277/ppmp170105>
- Errandonea, I. U. (2022). A Maturity Model Proposal for Industrial Maintenance and Its Application to the Railway Sector. *MDPI*, 12(8229), 17. doi:<https://doi.org/10.3390/app12168229>
- Franciosi, C., TORTORA, A. M., & MIRANDA, S. (2023, 01 17). A Maintenance Maturity and Sustainability Assessment Model for Manufacturing Systems. *JOURNALS.PAN*, 14(1), 137–155. doi:10.24425/mper.2023.145372
- González-Vega, J. C., & Stein, H. H. (2014). Calcium digestibility and metabolism in pigs (Invited review). *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27(1), 1-9. doi:<https://doi.org/10.5713/ajas.2014.r01>
- Jardine, A. K., & Tsang, A. H. (2013). *Maintenance, replacement, and reliability: Theory and applications* (2.^a ed.). (T. & Group, Ed.) Boca Ratón, Florida, Estados Unidos: CRC Press. doi:<https://doi.org/10.1201/b14937>
- Jasiulewicz-Kaczmarek, M. (2018). Identification of maintenance factors influencing the development of sustainable production processes – a pilot study. *IOP Publishing Ltd*, 400(6). doi:10.1088/1757-899X/400/6/062014
- Jasiulewicz-Kaczmarek, M., & Żywica., P. (2018). The concept of maintenance sustainability performance assessment by integrating balanced scorecard with non-additive fuzzy integral. *Journal Systems*(1507-2711), 12. doi:<https://doi.org/10.17531/ein.2018.4.16>

- Joe E. Amadi-Echendu, K. B. (2010). *Definitions, Concepts and Scope of Engineering Asset Management* (Vol. 1). Springer-Verlag London. doi:<https://doi.org/10.1007/978-1-84996-178-3>
- John Hastings, N. A. (2015). *Physical Asset Management*. Springer, London. doi:https://doi.org/10.1007/978-1-84882-751-6_22
- Lee, J., Kao, H.-A., & Yang, S. (2014). Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment. *ELSEVIER*, 16, 3-8. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.001>
- Mabe, K., Grobbelaar, S., & Peach, R. (2024). ASSESSING MAINTENANCE 4.0 MATURITY: A CASE STUDY OF A SOUTH AFRICAN MINING COMPANY. *Engineering (SAIIE)*, 119. doi:10.52202/078172-0005
- Mabe, K., Grobbelaar, S., & Peach, R. (2025). ASSESSING MAINTENANCE 4.0 MATURITY: A CASE STUDY OF A SOUTH AFRICAN MINING COMPANY. *Illuminate*, 115-129. doi:10.52202/078172-0005
- Macchi, M., Pozzi, R., & Fumagalli. (2020). Data-driven maintenance: A conceptual framework. *Procedia Manufacturing*, 42, 219–226.
- Marttonen-Arola, S., & Baglee, D. (2024, 01 22). A maturity model for valuable maintenance data management. (A. m. management, Ed.) *International Journal of Strategic Engineering Asset Management*, 4(1), 1-25. doi:<https://doi.org/10.1504/IJSEAM.2023.136184>
- Mattila, H.-P., & Zevenhoven, R. (2014). Chapter Ten - Production of Precipitated Calcium Carbonate from Steel Converter Slag and Other Calcium-Containing Industrial Wastes and Residues. *Elsevier Inc*, 66, 347-384. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420221-4.00010-X>
- Matuszewski, A., Łukasiewicz, M., Niemiec, J., Kamaszewski, M., Jaworski, S., Domino, M., . . . Sawosz, E. (2021). Calcium carbonate nanoparticles—Toxicity and effect of in ovo inoculation on chicken embryo development, broiler performance and bone status. *Animals*, 11(4), 932. doi:<https://doi.org/10.3390/ani11040932>
- Mora Gutierrez, A. (2024). *Analytics Aplicada A Mantenimiento Y Gestion De Activos* (1 ed., Vol. 1). (S. C. Hernández, & C. Vega, Eds.) Bogotá, Distrito Capital, Colombia: Alpha Editorial S.A. doi:<https://www.alpha-editorial.com/Papel/9789587789812/Analytics+Aplicada+A+Mantenimiento+Y+Gesti%C3%B3n+De+Activos>

- Mora Gutierrez, A. C. (2024). *Analytics aplicada a mantenimiento y gestión de activos* (1 ed., Vol. 1). (S. C. Hernández, & C. Vega, Eds.) Bogotá, Distrito Capital, Colombia: Alpha Editorial S. A. Retrieved 09 24, 2024, from <https://www.alpha-editorial.com/Papel/9789587789812/Analytics+Aplicada+A+Mantenimiento+Y+Gesti%C3%B3n+De+Activos>
- Moubray, J. (1997). Reliability-centered Maintenance. *Industrial Press Inc*(0831131462), 448. doi:9780831131463
- Muchiri, P., Pintelon, L., Gelders, L., & Martin, H. (2011, 05 01). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. (ELSEVIER, Ed.) *International Journal of Production Economics*, 131(1), 295-302. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.039>
- Murthy. (2025). Plant Engineering. *Plant Engineering*.
- Murthy, D., Atrens, A., & Eccleston, J. (2002, 12 01). Strategic maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 8(4), 287–305. doi:<https://doi.org/10.1108/13552510210448504>
- Normalización, O. I. (2016). *Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment (ISO 14224:2016)*. Ginebra: ISO.
- Nowlan, F. S., & Heap, H. F. (1978). Reliability Centered Maintenance . *department of commerce*(AD/A066 579), 476. doi:chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://reliabilitywebfiles.s3.amazonaws.com/Reliability+Centered+Maintenance+by+Nowlan+and+Heap.pdf>
- Odeyar, P., Apel, D. B., Hall, R. Z., & & Skrzypkowski, K. (2022). A Review of Reliability and Fault Analysis Methods for Heavy Equipment and Their Components Used in Mining. *Energies*, 2(6263), 17. doi:<https://doi.org/10.3390/en15176263>
- Oliveira, M. A., & Lopes, I. (2020). Evaluation and improvement of maintenance management performance using a maturity model. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 69(3), 559-581. doi:10.1108/IJPPM-07-2018-0247
- Oliveira, M. A., Andrade, W., Santos, I. d., Amaral, M., & Cintra, G. (2022, 09 22). EVALUATION OF MAINTENANCE MANAGEMENT OF A THERMOPLASTIC INDUSTRY USING A MAINTENANCE MATURITY MODEL: A CASE IN MANAUS INDUSTRIAL POLE. *Proceedings on Engineering Sciences*, 4(4), 543-550. doi:10.24874/PES04.04.014

- Parra Márquez, C. A., & Crespo Márquez, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos* (1 ed.). Sevilla, España: Universidad de Sevilla / Escuela Técnica Superior de Ingeniería. doi:978-84-95499-67-7
- Parra, C., Morán, C., Pizarro, F., Duque, P., Aránguiz, A., González-Prida, V., & Parra, J. (2024). Implementation of the Asset Management, Operational Reliability and Maintenance Survey in Recycled Beverage Container Manufacturing Lines. *MDPI*, 15, 33. doi:10.3390/info15120784
- ScienceDirect. (Elsevier). Calcium Carbonate – an overview. *ScienceDirect*. doi:https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/calcium-carbonate?utm_source=chatgpt.com
- Smith, A. M., & Hinchcliffe, G. R. (2004). *RCM : gateway to world class maintenance*. ELSEVIER. doi:9780080474137
- Tocto Ninabanda, S. P., & Guilcamaigua Masapanta, K. M. (2022). Diseño de procesos de mantenimiento e indicadores según la Norma UNE-EN 17007-2018 en la microempresa de fabricación de accesorios PVC DISMAFER. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. *Repositorio ESPOCH*, 1(1), 117. doi:http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17263
- Tortora, A. M., & Di Pasquale, V. (2022). A Maintenance Maturity Model for Assessing Information Management Practices for Small and Medium Enterprises (M3AIN4SME). *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(20763417). doi:10.3390/APP12189282
- Tortora, A. M., Pasquale, V. D., Luisi, G., Ferretti, M., & Iannone, R. (2025, 04 18). An assessment procedure to measure and improve the maintenance management information practices maturity: a case study. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 31(5), 43-67. doi:https://doi.org/10.1108/JQME-02-2024-0018
- UNE-EN16646. (2015). *Mantenimiento en la gestión de los activos físicos*. AENOR.
- UNE-EN17007. (2018). *Mantenimiento en la gestión de los activos físicos*. AENOR.
- Varma, S., & Proctor, G. (2020, 05 01). Asset Management Practices and Benefits - Case Study 1. *Federal Highway Administration*, 1(1), 24. doi:FHWA-HIF-20-088
- Waeyenbergh, G., & Pintelon, L. (2002). A framework for maintenance concept development. *International Journal of Production Economics*, 3(77), 299–313. doi:https://doi.org/10.1016/S0925-5273(01)00156-6

- Wu, B., Wang, H., Li, C., Gong, Y., & Wang, Y. (2023, 06 15). Progress in the Preparation of Calcium Carbonate by Indirect Mineralization of Industrial By-Product Gypsum. (Y. Yang, Ed.) *Sustainability*, 15(12), 14. doi:<https://doi.org/10.3390/su15129629>
- Yu-Qin Niu, a. J.-H.-H. (2022). Calcium carbonate: controlled synthesis, surface functionalization, and nanostructured materials. *Royal Society of Chemistry*, 1, 61. doi:<https://doi.org/10.1039/D1CS00519G>