

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE JOSÉ MIGUEL CARRERA

**APLICACIÓN HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO INTEGRAL AL
PROCESO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN PLANTA
CONCENTRADORA MINA EL SOLDADO**

Trabajo de Titulación para optar al Título
profesional de INGENIERO EN
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, CON
LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA

Alumno:

Sr. Francisco Fernando Martinez Rivera

Profesor guía:

Mg. Ing. Carlos Alberto Parra Márquez



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

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

Título del trabajo: **APLICACIÓN HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO INTEGRAL AL PROCESO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN PLANTA CONCENTRADORA MINA EL SOLDADO**

Nombre del candidato(a): **Francisco Fernando Martinez Rivera**

Carrera / Grado: **Ingeniería en Mantenimiento Industrial Licenciatura en ciencias de la ingeniería**

Campus: **Viña del Mar** Departamento: **Mecánica**

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

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

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

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

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

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

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

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

4.- FIRMAS

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

Fecha: **5-12-2025** Firma: _____

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: **5-12-2025** Firma: _____

DEDICATORIA

Al único Dios (Yahweh) por darme la vida, la fortaleza y la sabiduría para alcanzar esta meta. Por acompañarme en cada paso del camino, especialmente en los momentos de mayor incertidumbre.

A mi esposa por su amor, paciencia, comprensión y apoyo constante. Gracias por estar siempre a mi lado alentándome a seguir adelante incluso en momentos más difíciles.

A mis hijas quienes son mi mayor fuente de inspiración y el motor que me impulsa a ser mejor cada día.

A mis profesores por compartir sus conocimientos y por guiarme con exigencia y compromiso en este proceso formativo.

Y mis colegas del trabajo, especialmente a quienes participaron activamente en las encuestas y entrevistas, por su valiosa disposición, confianza y colaboración, fundamental para el desarrollo de este trabajo de titulación.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE: Gestión de mantenimiento, Auditoría AMORMS, Planta de chancado, Indicadores de desempeño, mejora continua

El presente proyecto de título desarrolla la aplicación de la herramienta de diagnóstico AMORMS (Asset Management, Operational Reliability & Maintenance Survey) para la evaluación de los procesos de mantenimiento, la confiabilidad operativa y el desempeño de los activos físicos, en la sección de chancado de la Planta Concentradora Mina El Soldado, bajo la dirección de Anglo American Chile en la comuna de Nogales, Región de Valparaíso.

El principal motivo de este trabajo es la obtención de resultados por medio de esta herramienta con el propósito de identificar debilidades, analizar el nivel de madurez de la gestión del mantenimiento, y también, en el establecimiento de posibles acciones enfocadas en la mejora de las operaciones, siguiendo las pautas recomendadas del Modelo de Gestión de mantenimiento (MGM) y la norma ISO 55000 referidas a la gestión de activos.

La metodología empleada se basa en la aplicación de una encuesta de 150 preguntas donde los participantes del área de Mantenimiento respondían, evaluando con una calificación del 1 al 5, sobre distintos temas relacionados con la gestión de mantenimiento, la reducción de fallas, la disponibilidad de los equipos, entre otros.

Los resultados generados por la encuesta muestran una calificación media de un 3,06, que corresponde un proceso estándar promedio. También, se aprecian que los apartados de “Gestión de activos y KPI”, “Planificación y programación” y “Jerarquización de activos” son los que poseen altas calificaciones. Mientras que se identificaron oportunidades de mejora en los apartados de “Análisis de costo de ciclo de vida”, “Mejora continua” y “Soporte logístico e informático”.

A partir de estos hallazgos, se diseñaron recomendaciones y planes de acción específicos para cada subproceso con bajo desempeño, los cuales fueron evaluados técnica y económicamente. De esta manera, la utilización de la herramienta AMORMS, junto con una estructura organizacional centrada en la mejora continua, permiten consolidar una gestión de mantenimiento más proactiva y asegurar la eficiencia operativa de los equipos mineros estudiados.

ÍNDICE

RESUMEN

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

INTRODUCCIÓN..... 1

 OBJETIVO GENERAL 2

 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....2

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES GENERALES..... 3

1. ANTECEDENTES GENERALES..... 4

 1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA 4

 1.1.1. Ubicación operación el soldado..... 6

 1.1.2. Reservas y producción..... 6

 1.1.3. Métodos de extracción..... 7

 1.1.4. Procesamiento de mineral 7

 1.1.5. Continuidad operacional 8

 1.1.6. Modelo de operación AOM en Anglo American Chile 9

 1.1.7. Estructura de la gerencia de mantención 10

 1.1.8. Justificación caso de estudio 13

 1 2. MARCO TEÓRICO MODELO GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE 8 FASES MGM.....14

 1.2.1. Modelo de gestión del mantenimiento (MGM)..... 14

 1.2.2. Proceso de Gestión de mantenimiento 15

 1.3. MARCO TEÓRICO HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO AMORMS..... 17

CAPÍTULO 2: APLICACIÓN HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO AMORMS EN PLANTA CONCENTRADORA ÁREA CHANCADO MINA EL SOLDADO .20

2. APLICACIÓN HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO AMORMS EN PLANTA CONCENTRADORA CHANCADO MINA EL SOLDADO 21

 2.1. DESCRIPCIÓN CASO DE ESTUDIO EN PLANTA CONCENTRADORA ÁREA CHANCADO MINA EL SOLDADO..... 22

 Área de chancado primario 23

 Características técnicas chancador primario..... 23

 Objetivos chancado primario..... 24

 2.2. REUNIÓN INICIAL 26

 Selección de personal a encuestar..... 26

 Entrevista con personal a encuestar 27

 2.3. RESULTADOS GENERALES HERRAMIENTA AMORMS 27

 2.4. RESULTADOS ESPECÍFICOS E IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS..... 29

 2.4.1. Fase 1: Categoría Gestión de Activos, Objetivos del Negocio (KPIS) y Organización de Soporte..... 30

 2.4 2. Fase 2: Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (Críticidad de Activos)33

 2.4.3. Fase 3: Proceso de Análisis de Problemas (Análisis de Causa Raíz)..... 34

2.4.4.	Fase 4: Procesos de planificación, programación y optimización de planes de mantenimiento.....	35
2.4.5.	Fase 5: Procesos de asignación de recursos, soporte informático y soporte logístico a los procesos de Mantenimiento y Confiabilidad	36
2.4.6.	Fase 6: Procesos de control y análisis de indicadores técnicos del negocio (RAM)	37
2.4.7.	Fase 7: Proceso de Análisis de Costos de ciclo de vida	38
2.4.8.	Fase 8: Proceso de revisión y mejora continua	39
2.4.9.	Resumen de brechas encontradas con AMORMS.....	41
2.5.	ANÁLISIS FODA.....	42
CAPÍTULO 3: RECOMENDACIONES Y EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA.		45
3. RECOMENDACIONES Y EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA.....		46
3.1.	RECOMENDACIONES POR SUBPROCESO PEOR EVALUADO EN CADA FASE.46	
3.1.1.	Gestión de Activos, Objetivos del Negocios (KPIS) y organización de soporte 47	
3.1.2.	Procesos de planificación y programación	48
3.1.3.	Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos).....	49
3.1.4.	Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM.....	54
3.1.5.	Análisis de problemas (manejo de fallas).....	55
3.1.6.	Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico.....	57
3.1.7.	Procesos de revisión y mejora continua	58
3.1.8.	Proceso de análisis de costos de ciclo de vida	60
3.1.9.	USO DE INDICADORES FINANCIEROS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS PLANES DE ACCIÓN PROPUESTOS	62
3.2.	EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA PLANES DE ACCIÓN PROPUESTOS EN PLANTA DE CHANCADO	66
3.2.1.	Cálculo de indicadores propuestos en Planta Chancado.....	67
3.2.2.	Frecuencia de falla presupuestado después de implementar planes de acción 68	
3.2.3.	Interpretación de los resultados para un escenario favorable (35%).....	72
3.2.4.	Análisis del Peor Escenario (5 %)	74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES		76
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN.....		79
ANEXOS		82
ANEXO A: STANDARD SHE WAY.....		83
ANEXO B: 11 PILARES DEL ASSET MANAGEMENT ANGLO.....		84
ANEXO C: CRITERIOS HERRAMIENTA AMORMS.....		85
ANEXO D: CRONOGRAMA IMPLEMENTACIÓN DE LOS 10 PLANES DE ACCIÓN EN DÍAS EL AÑO INICIAL.....		87
ANEXO E: RESULTADO GENERAL APLICACIÓN DE 150 PREGUNTAS DE CUESTIONARIO		89

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1-1 Proceso productivo de la operación El Soldado.....	7
Diagrama 1-2 Enfoque de mantenimiento Anglo American.....	12
Diagrama 1-3 Modelo de Operación Anglo American AOM.....	10
Diagrama 1-4 Organigrama Gerencia mantención Planta Concentradora.....	11
Diagrama 1-5 Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM).....	15
Diagrama 1-6 Modelo para la definición de la estrategia de mantenimiento	16
Diagrama 1-7 Procedimiento de implementación de una auditoria	17
Diagrama 2-1 Procedimiento de aplicación herramienta de diagnóstico AMORMS en Planta Chancado Mina El Soldado.....	22
Diagrama 2-2 Flowsheet proceso Chancado primario, secundario, terciario	24
Diagrama 2-3 Modelo de Gestión de Activos Anglo American	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Ubicación geográfica Operación El Soldado.....	6
---	---

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1 Resultados generales aplicación herramienta AMORMS.....	28
Gráfico 2-2 Nivel de madurez en % procesos evaluados con AMORMS.....	28
Gráfico 2-3 Resultados fase 1 Gestión de Activos, Objetivos del negocio (KPIS)y organización de soporte	31
Gráfico 2-4 Resultados fase 2 Modelo de Jerarquización basados en Riesgo (Criticidad de Activos)	33
Gráfico 2-5 Resultados fase 3 Proceso de Análisis de Problemas (Análisis de Causa Raíz)	35
Gráfico 2-6 Resultados fase 4 Procesos de planificación, programación y optimización de planes de mantenimiento, inspección de operaciones	36
Gráfico 2-7 Resultados fase 5 Procesos de asignación de recursos, soporte informático y soporte logístico a los procesos de mantenimiento y confiabilidad	37
Gráfico 2-8 Procesos de control y análisis de indicadores técnicos del negocio (RAM) 38	

Gráfico 2-9 Proceso Análisis de Costos de Ciclo de Vida..... 39

Gráfico 2-10 Proceso de revisión y mejora continua 40

Gráfico 3-1 Comparación indicadores técnicos y económicos..... 61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Operaciones mineras informe ESG 2023.....5

Tabla 1-2 Indicadores financieros Anglo American Chile..... 5

Tabla 1-3 Objetivos organizacionales.....9

Tabla 2-1 Perfil de cargos encuestados en Planta Concentradora 26

Tabla 2-2 Resumen de la aplicación por categorías de la herramienta AMORMS en la
planta concentradora de la mina El Soldado..... 27

Tabla 3-1 Orden de presentación recomendaciones 46

Tabla 3-2 Cuadro de mando integral de mantenimiento Planta de chancado 47

Tabla 3-3 criterio 1 Salud y seguridad y escala de puntaje..... 50

Tabla 3-4 Criterio 2 Medio ambiente y escala de puntaje 50

Tabla 3-5 Criterio 3 Impacto en la producción y escala de puntaje 51

Tabla 3-6 Criterio 4 Impacto en el mantenimiento y escala de puntaje..... 52

Tabla 3-7 Criterio de confiabilidad y escala de puntaje 52

Tabla 3-8 Tabla ejemplo de una Matriz de criticidad de riesgo 53

Tabla 3-9 Indicadores desempeño propuestos Talleres externos..... 55

Tabla 3-10 Indicadores de desempeño Bodegas e inventarios..... 58

Tabla 3-11 Indicadores de desempeño Plan desarrollo personal..... 59

Tabla 3-12 Tabla planes de acción propuestos 65

Tabla 3-13 Matriz RACI..... 66

Tabla 3-14 Tabla resumen evaluación económica 71

Tabla 3 15 Escenarios probables implementación planes de acción 72

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

SIGLAS

AMORMS	:	Asset Management, Operational Reliability & Maintenance Survey
AOM	:	Modelo operacional Anglo American
BP	:	Best Practices
ERP	:	Planificación de recursos empresariales
ESG	:	Ambientales, sociales y de gobernanza
GMAO	:	Gestión de mantenimiento asistido por ordenador
IoT	:	Internet de las cosas
ISO	:	Organización internacional de normalización
KPI	:	Key Performance Indicators
MGM	:	Modelo de gestión de mantenimiento
PDCA	:	Plan, Do, Check y Act.
RCA	:	Análisis causa raíz
RCM	:	Mantenimiento centrado en confiabilidad
SAE	:	Sociedad de ingenieros automotrices
SHE	:	Seguridad, higiene y medio ambiente
UNE-EN	:	Norma Española adoptada a nivel europeo
AMEF	:	Análisis modo efectos de falla
BSC	:	Balance score card
CIF	:	Costo indisponibilidad por falla
CONAF	:	Corporación nacional forestal
CCT	:	Costo de Confiabilidad Total
DET	:	Documento específico de trabajo
DGA	:	Dirección general de aguas
EBITDA	:	Earnings before interest, taxes, depreciation, and amortization
FF	:	Frecuencia de falla
HDS	:	Apilamiento hidráulico deshidratado
INGEMAN	:	Asociación para el desarrollo de la ingeniería de mantenimiento
LCCA	:	Life cycle cost analysis
MTTF	:	Tiempo medio hasta la falla
OT	:	Orden de trabajo
RAM	:	Reliability, availability, and maintainability
SAG	:	Molienda Semiautógena

SAP	:	Systems, applications, products in data processing
SAP PM	:	Plant maintenance
SEA	:	Servicio de evaluación ambiental
SLA	:	Service level agreement
TMS	:	Tonelada métrica seca
TPFS	:	Tiempo promedio fuera de servicio

SIGLAS

\$	:	Peso
%	:	Porcentaje
hp	:	Caballos de fuerza
hr	:	Horas
kg	:	Kilogramo
kW	:	Kilo watt
mm	:	Milímetro
Ton	:	Tonelada
US	:	dólar
Volt	:	Tensión eléctrica

INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de la industria minera, caracterizado por una creciente exigencia en materia de seguridad, sostenibilidad, eficiencia operacional y gestión de activos, las organizaciones enfrentan el desafío de optimizar sus procesos de mantenimiento para garantizar la confiabilidad, disponibilidad y continuidad operativa de sus instalaciones productivas. En este escenario la Planta de Chancado en Mina El Soldado, perteneciente a Anglo American Chile, ha orientado sus esfuerzos hacia la excelencia operacional mediante el AOM (Modelo operacional Anglo American) estandarizado en SHE WAY, el cual busca optimizar la forma en que se planifica, ejecuta y controla el trabajo en todas sus operaciones, promoviendo la excelencia operacional, la mejora continua y la creación de valor sostenible [1].

Con el propósito de diagnosticar el nivel de madurez y desempeño del proceso de gestión de mantenimiento, se aplicó la herramienta AMORMS (Asset Management, Operational, Reability and Maintenance Survey) ,la cual permite evaluar de manera estructurada las áreas claves de la gestión de mantenimiento, identificando fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora [2].Esta herramienta se fundamenta en los principios del Modelo de Gestión de Mantenimiento (MGM) ,el cual promueve la alineación entre la gestión de los activos, la planificación estratégica y los objetivos corporativos de la organización.

La aplicación de la herramienta AMORMS en la Planta de Chancado tiene como finalidad determinar el nivel de cumplimiento respecto a las mejores prácticas internacionales ,identificar brechas en los procesos y establecer planes de acción orientados a la optimización del mantenimiento, fortaleciendo así la toma de decisiones basadas en indicadores técnicos, económicos y de confiabilidad .Este diagnóstico contribuye directamente al cumplimiento de los compromisos de sostenibilidad y mejora continua establecidos por Anglo American.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la gestión de mantenimiento en el área de Chancado de la Planta Concentradora Mina El Soldado mediante la herramienta de diagnóstico AMORMS, con el propósito de identificar brechas y proponer planes de acción que optimicen la disponibilidad y eficiencia operativa de los activos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir el contexto operacional de la empresa Anglo American Chile y el marco teórico referencial de la herramienta AMORMS.
- Aplicar la herramienta AMORMS en el área de Chancado Mina El Soldado, con el fin de evaluar el nivel de madurez de los procesos de gestión de mantenimiento e identificar brechas que representen oportunidades de mejora.
- Proponer planes de acción y una evaluación técnico-económica que permitan cuantificar los beneficios y costos de las mejoras sugeridas en la gestión de mantenimiento del área de Chancado, con el fin de optimizar la disponibilidad y eficiencia operativa.

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES GENERALES

1. ANTECEDENTES GENERALES

En este primer capítulo se describe el contexto operacional de la empresa a nivel global, en Chile y de forma puntual en la Mina El Soldado donde se explica la necesidad de la aplicación de la herramienta de diagnóstico AMORMS a la gestión de mantenimiento en el área de chancado y se finaliza con el marco teórico de la herramienta AMORMS alienado al modelo MGM propuesto por el profesor Parra y Crespo.

1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

Anglo American plc es una compañía minera multinacional de origen británico, fundada en 1917 por Sir Ernest Oppenheimer en Johannesburgo, Sudáfrica, con capitales provenientes del Reino Unido y de Estados Unidos. Desde su creación, la organización ha mantenido un liderazgo sostenido en la industria minera global, especializándose en la explotación, extracción, procesamiento y comercialización de recursos minerales estratégicos entre ellos cobre, hierro, níquel, platino, carbón, diamantes y fertilizantes [3]

Durante las primeras décadas del siglo XX, la empresa centró sus operaciones en la minería aurífera y diamantífera, consolidando su posición tras adquirir en 1926 una participación mayoritaria en De Beers. Posteriormente, diversificó su cartera incorporando negocios en los sectores de carbón, acero y celulosa y expandió su presencia hacia América, Europa y Asia. En 1999, la organización se reestructuró mediante la fusión de Minorco, creando la actual Anglo American plc, con sede en Londres y cotización bursátil en las bolsas de Londres y Johannesburgo.

En América del Sur, la compañía inició su presencia en Chile a inicios del siglo XXI, tras adquirir la empresa Disputada de las Condes a ExxonMobile. Actualmente, Anglo American opera en el país desde el año 2002 mediante activos estratégicos como Los Bronces, Collahuasi y El Soldado, bajo un sistema de gestión integrado denominado SHE Way (Ver Anexo A), que promueve la excelencia operativa en seguridad, salud, medio ambiente y sostenibilidad, en concordancia con los estándares internacionales ISO 45001:2018 e ISO 14001:2015.

Tabla 1-1 Operaciones mineras informe ESG 2023

Operaciones Anglo American Chile	
Oficina Central 1 Chile	Dirección: Isidora Goyenechea 2800, Edificio Titanium, piso 46. Los condes, Santiago.
Doña Inés de Collahuasi	Ubicada en la región de Tarapacá a 4.400 msnm, tipo Rajo abierto producción 2023, 252.200 toneladas de cobre fino y 2.004 toneladas de molibdeno, propiedad de Anglo American 44%.
Los Bronces	Ubicada en la región Metropolitana a 3.500 msnm, tipo rajo abierto producción 2023, 215.536 toneladas de cobre fino y 2.630 toneladas de molibdeno, propiedad de Anglo American 50.1%.
El Soldado	Ubicada en la región de Valparaíso a 600 msnm, tipo rajo abierto producción 2023, 39.505 toneladas de cobre fino, propiedad de Anglo American 50.1%.
Chagres	Ubicada en la región de Valparaíso a 400 msnm, tipo rajo abierto producción 2023, 110.102 toneladas de ánodos de cobre y 436.160 toneladas de ácido sulfúrico, propiedad de Anglo American 50.1%.

Fuente: Elaboración propia en base a “Operaciones mineras Informe ESG 2023”.

En la figura 1-1 Las operaciones de Anglo American en Chile son de gran importancia debido a su significativa contribución económica mediante la producción de cobre y molibdeno, vitales para la economía local y global. Estas operaciones crean empleo y promueven el desarrollo regional, respaldando la infraestructura local y mejorando las comunidades cercanas.

Tabla 1-2 Indicadores financieros Anglo American Chile

Indicadores Financieros 2023	
Cobre producido	507,2 mil toneladas
Ingresos Totales	US 4.550 millones
Inversión social	US 17 millones
Inversión ambiental	US 25 millones
Impuestos totales	US 608 millones
EBITDA	US 1.537 millones
Total Utilidades	US 736 millones

Fuente: Elaboración propia en base a “informe ESG 2023”.

La tabla 1-2 muestra que se produjo un total de 507,2 mil toneladas de cobre, con ingresos de US 4.550 millones. Las inversiones sociales y ambientales alcanzaron US 17 millones y US 25 millones respectivamente, mientras que los impuestos pagados sumaron US 608 millones. El EBITDA fue de US 1.537 millones y las utilidades totales llegaron

a US 736 millones. En resumen, refleja un desempeño financiero sólido con un compromiso significativo en áreas sociales y ambientales.

1.1.1. Ubicación operación el soldado

La mina el soldado, una operación de cobre a cielo abierto, está ubicada en la región de Valparaíso, cómo se muestra la figura 1-3. Se encuentra en la comuna de Nogales aproximadamente a 132 km al norte de Santiago y 35 km al este de Quintero está ubicación es estratégica no solo por mostrar avances en el transporte de los minerales, sino también, impulsando el desarrollo y la infraestructura local.



Fuente: Ubicación geográfica Mina El Soldado (Anglo, 2024).

Figura 1-1 Ubicación geográfica Operación El Soldado

1.1.2. Reservas y producción

La mina cuenta con reservas confirmadas y estimadas de cobré de alrededor de 50 millones de toneladas de mineral con una pureza media de 0.96 %. En el 2024 se produjeron aproximadamente 48 mil 200 toneladas de cobre fino, contribuyendo significativamente a la producción total de Anglo American en Chile.

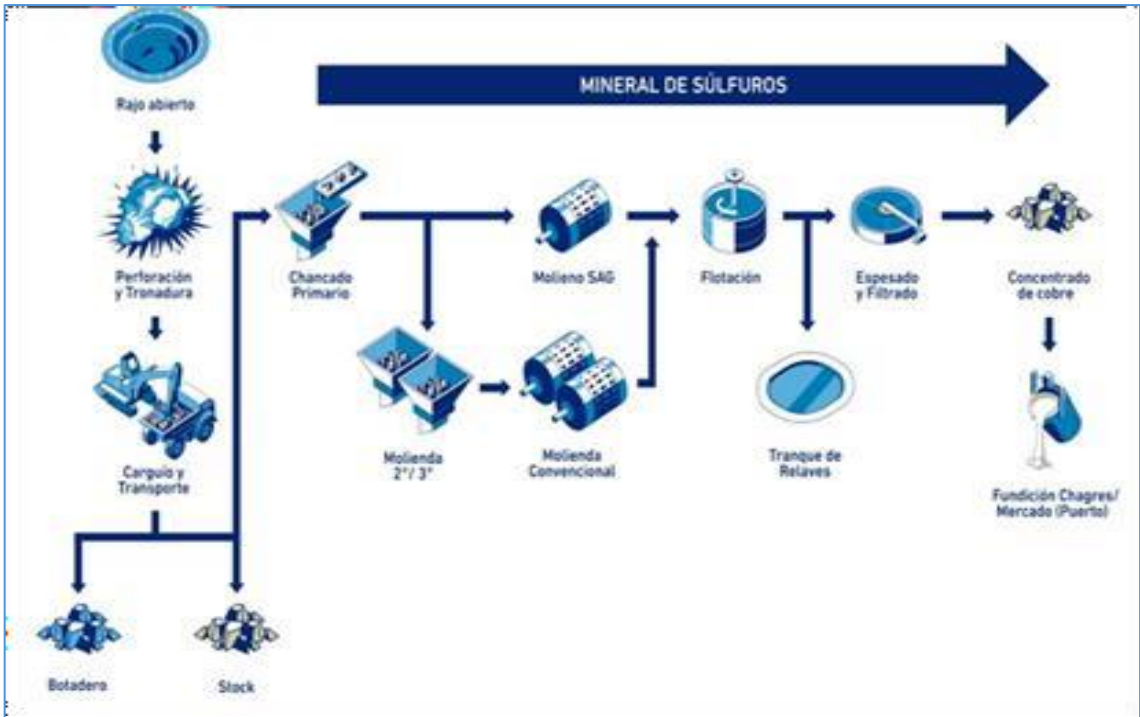
1.1.3. Métodos de extracción

El Soldado emplea principalmente un tipo de minería que se describe como minería a cielo abierto, esto implica eliminar grandes volúmenes de material estéril para llegar a los depósitos de mineral, los recursos más utilizados incluyendo voladura y perforación, así como la carga y transporte de mineral a la planta de procesamiento.

1.1.4. Procesamiento de mineral

Luego de extraer el mineral de cobre, este es llevado a la planta concentradora, donde pasa por diversos procesos como chancado el cual es la parte importante del estudio luego la molienda, flotación, espesamiento y filtrado. El proceso de concentrado es de cobre de alta pureza, que finalmente se envía a la fundición Chagres para su refinación.

Este complejo proceso mostrado en la Figura 1-2 asegura que el cobre alcance los estándares de pureza necesarios para su uso en diversas industrias, desde la manufactura de componentes electrónicos hasta la construcción de infraestructura. El proceso en Chagres es fundamental en la transformación y los derivados del cobre todo en pro de la calidad comercial, aumentando la fiabilidad de ventas de un buen producto.



Fuente: Formato suministrado por la empresa Angloamericana Chile “Mapa de procesos Minería 2024”.

Diagrama 1-1 Proceso productivo de la operación El Soldado

1.1.5. Continuidad operacional

La continuidad operacional de la Mina El Soldado está limitada hasta el año 2028 cuando se cumpla la capacidad de almacenamiento de relaves 235 millones TMS en el Tranque El Torito de acuerdo con los permisos de construcción, operación y cierre de parte de SERNAGEOMIN, SEA, DGA, CONAF, Seremi Salud, en cumplimiento de ley 20.551 Cierre de faenas e instalaciones mineras y Decreto Supremo n°41 de 2012.

La compañía está desarrollando un proyecto de continuidad operacional mirando hacia el futuro, aplicando tecnologías innovadoras y sostenibles en la nueva forma de procesar y gestionar los relaves, está en operación en el sector de antiguo Tranque 4, una planta piloto HDS Apilamiento hidráulico deshidratado, que busca transformar los relaves a un estado seco con sistemas de drenajes y recuperación de aguas.

1.1.6. Modelo de operación AOM en Anglo American Chile

La empresa ha gestionado el modelo AOM implementado en el año 2015, este indica el cumplimiento de las expectativas de modelo operacional y va en conjunto con SAP ERP, en la Figura 1-6 podemos observar el resumen de los procesos de operación.

Posteriormente se fijan objetivos de desempeño y se desarrollan estrategias tanto de producción como de servicio, véase en la tabla 1-3, Estos objetivos son relevantes proporcionando una visión clara de cómo se desarrollan los proyectos dentro de áreas administrativas de la empresa asegurando un cumplimiento de los objetivos de desempeño, implementando mejora continua.

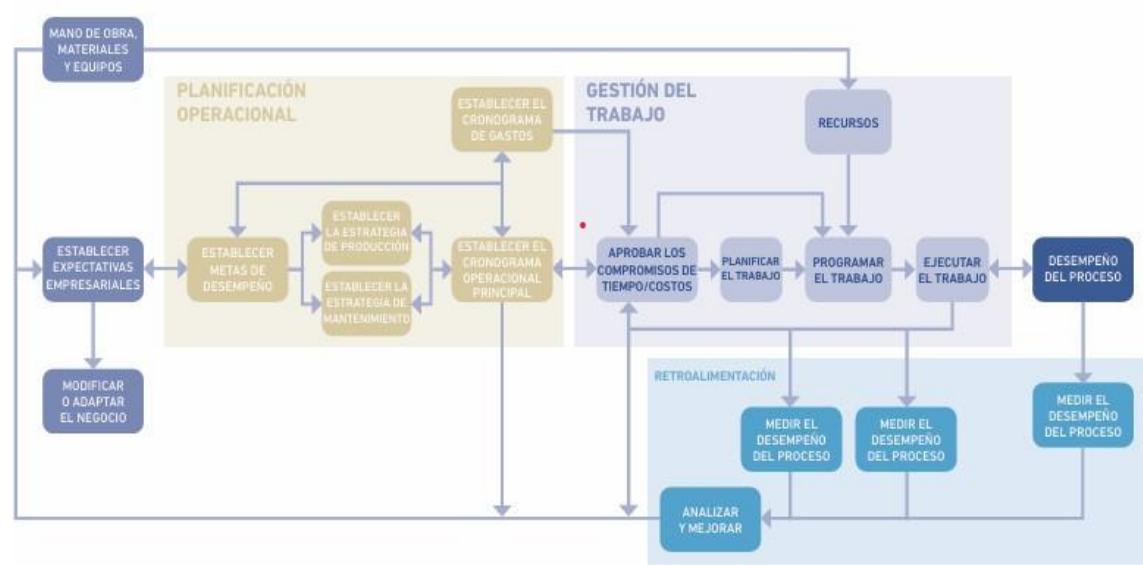
Si el trabajo se planifica y los recursos se programan de manera correcta antes de ejecutarse, el resultado final será más uniforme y económico, de este modo una fuerza laboral comprometida sería aún más productiva.

Propósito: Establecer los criterios necesarios para alcanzar el éxito, maximizando el potencial de los activos de manera eficiente, efectiva y sostenible.

Tabla 1-3 Objetivos organizacionales.

Planificación operacional	Gestión de trabajo	Retroalimentación
Objetivo: Especificar la manera más efectiva y económica de operar el negocio.	Objetivo: Entregar el trabajo correcto de manera confiable.	Objetivo: Indicar cuando se puede requerir una intervención en el proceso.

Fuente: Elaboración propia Objetivos Organizacionales



Fuente: Documento Estándar Sistema gestión SHE Way, ítem elemento de Planificación.

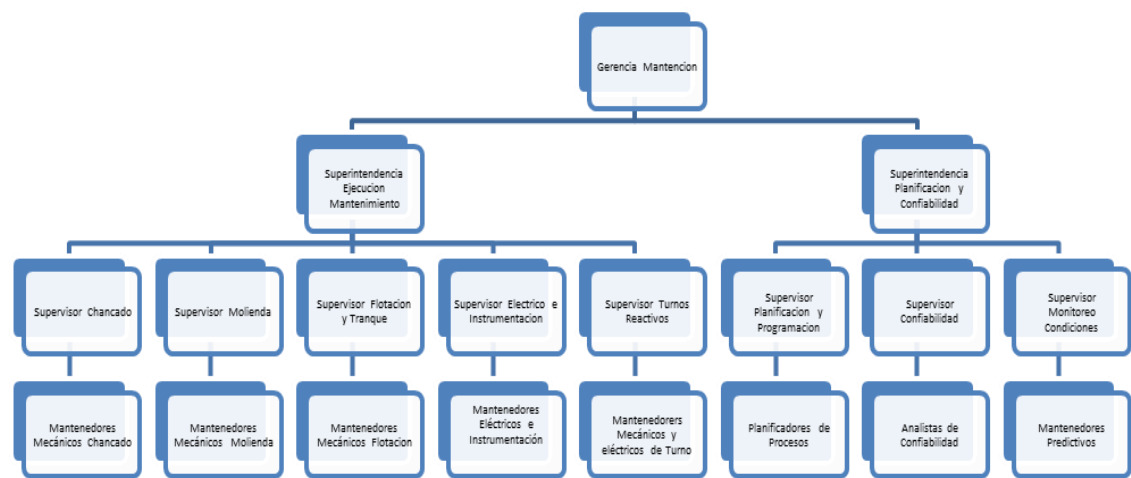
Diagrama 1-2 Modelo de Operación Anglo American AOM

Como se observa en la figura 1-4 la estructura detallada un modelo que proporciona una estructura clara y definida para la gestión de operaciones, lo que facilita la planificación y ejecución de las actividades en la empresa.

1.1.7. Estructura de la gerencia de mantención

La estructura de la planta concentradora, en su primera etapa mencionando las Superintendencias, planificación, confiabilidad y ejecución, ofrece muchos beneficios y desafíos. (Diagrama 1-4)

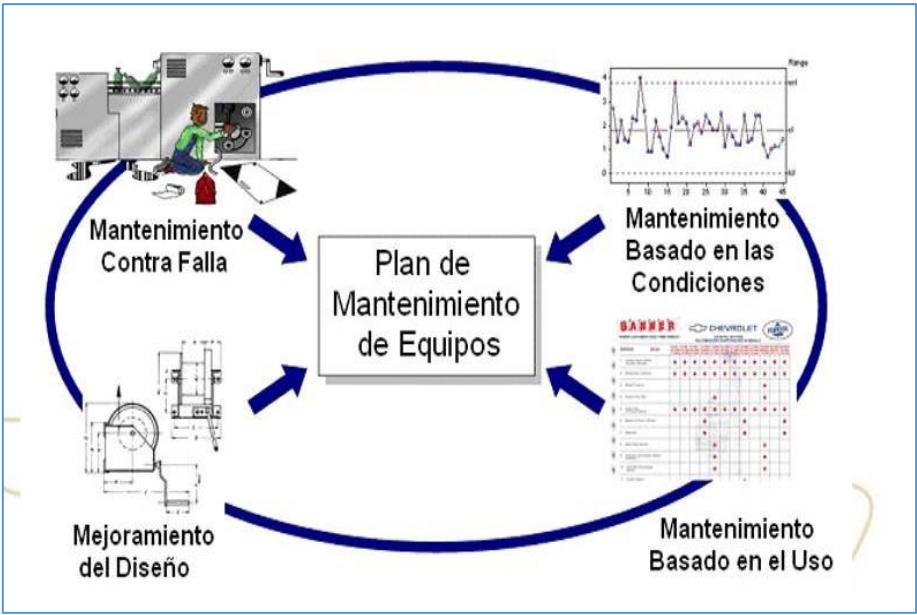
Por un lado, este enfoque garantiza una gestión altamente especializada y coordinada, permitiendo ser más precisos con la eficiencia de los equipos. La presencia de planificadores asegura que cada una de las etapas del proceso este adecuadamente supervisada y optimizada. Además, el equipo de especialistas en termografía y ultrasonido contribuyen significativamente a la prevención de fallos y al mantenimiento predictivo. En resumen, aunque esta estructura proporciona una gestión detallada y eficiente, requiere un alto grado de coordinación y capacitación continua para mantener altos índices de efectividad.



Fuente: Elaboración propia Organigrama gerencial.

Diagrama 1-3 Organigrama Gerencia mantención Planta Concentradora

La empresa gestiona sus activos según varias legislaciones en este caso la propuesta de norma Pas 55, que menciona los requisitos para un sistema de gestión de activos físicos, esta norma define las actividades prácticas de sistematización para administrar sistemas de activos. En la siguiente figura se indica la base de la estrategia de mantenimiento según el estándar de Anglo American. (Véase Anexo B:11Pilares Asset Management Anglo American)



Fuente: Formato suministrado por la empresa “Integración de mantenimiento en la gestión de activos (ASSET MANAGEMENT ANGLO).

Diagrama 1-4 Estrategia de mantenimiento Anglo American

1.1.8. Justificación caso de estudio

La organización de gestión Anglo American está fundamentada por el ciclo PDCA en este proceso está incluido en el sistema de gestión integrado SHE Way, el cual establece los lineamientos para una planificación, ejecución y control de las operaciones y actividades de mantenimiento a través de su modelo operacional (AOM) que tiene por objetivo asegurar la disponibilidad, confiabilidad y optimizar el desempeño de los activos durante su ciclo de vida. esto facilita la identificación de los puntos clave de integración y análisis comunes.

“Anglo American decide implementar un modelo de operación (AOM) que otorgue prácticas de gestión secuenciales que permitan llegar a la máxima efectividad por medio de la estabilización de procesos y la reducción de su variabilidad” [4]

Debido a una escasa aplicación de herramientas de evaluación del desempeño en el proceso de gestión de mantenimiento en la Planta concentradora Mina El Soldado se propone desarrollar un programa de “Auditoría interna” conforme a los lineamientos de la norma ISO 55001, ISO 19001, se aplicará en el área de Chancado la herramienta AMORMS, (Asset management Operational Reliability maintenance survey) donde se evalúan las 8 fases claves del Modelo de gestión de mantenimiento MGM propuesto por el profesor Carlos Parra y Adolfo Crespo [5] aplicado al contexto operativo de la mina El Soldado, orientado a realizar un diagnóstico inicial, identificar desviaciones y realizar recomendaciones que ayuden a tomar decisiones informadas que promuevan lograr la eficiencia, eficacia y la mejora continua en la gestión de mantenimiento.

1.2. MARCO TEÓRICO MODELO GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE 8 FASES MGM

Este modelo busca alinear el mantenimiento con los objetivos de la organización, promoviendo una cultura de mejora continua y toma de decisiones basadas en datos. El MGM se toma como guía integral de la herramienta de diagnóstico AMORMS la cual evaluara el estado de madurez de la gestión de mantenimiento en la Planta de chancado.

1.2.1. Modelo de gestión del mantenimiento (MGM)

A continuación, se observa una aplicación práctica de los conceptos en la propuesta gestión del mantenimiento MGM desarrollado por INGEMAN.

El modelo consta de 8 bloques véase figura 1-10, la cual identifica y detalla acciones específicas siguiendo cada una de las etapas del proceso de gestión del mantenimiento, el ejemplo es un modelo dinámico, secuencial y en bucle cerrado, desarrollado para monitorear con precisión las actividades y acciones que se ejecutan en cada uno de los procesos para garantizar su eficiencia, mejora continua y eficacia.



Fuente: Modelo de gestión del mantenimiento (MGM) integrado a la ISO 55001 (Parra & Crespo, 2015).

Diagrama 1-1 Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM)

De acuerdo con la figura 1-8 del MGM, en los primeros tres puntos se determina la efectividad de los procesos de gestión, en los demás bloques se generaliza la eficiencia con mejora continua. En los puntos cuatro y cinco se menciona planificar y programar el mantenimiento, mencionando la capacidad en cada uno de los departamentos de mantenimiento.

Los últimos tres bloques determinan los procesos de evaluación, control y acciones para asegurar la mejora continua de la gestión [5].

1.2.2. Proceso de Gestión de mantenimiento

La gestión moderna del mantenimiento abarca todas las actividades de administración que establecen los objetivos y prioridades “definidos como las metas asignadas y aceptadas por la dirección del departamento de mantenimiento”, las estrategias están definidas como métodos de gestión desarrollados para medir esas metas y objetivos. Además, de las responsabilidades de gestión.

Es importante, en el día a día implementar estas estrategias planificando, programando y controlando la ejecución del mantenimiento para su realización y mejora,

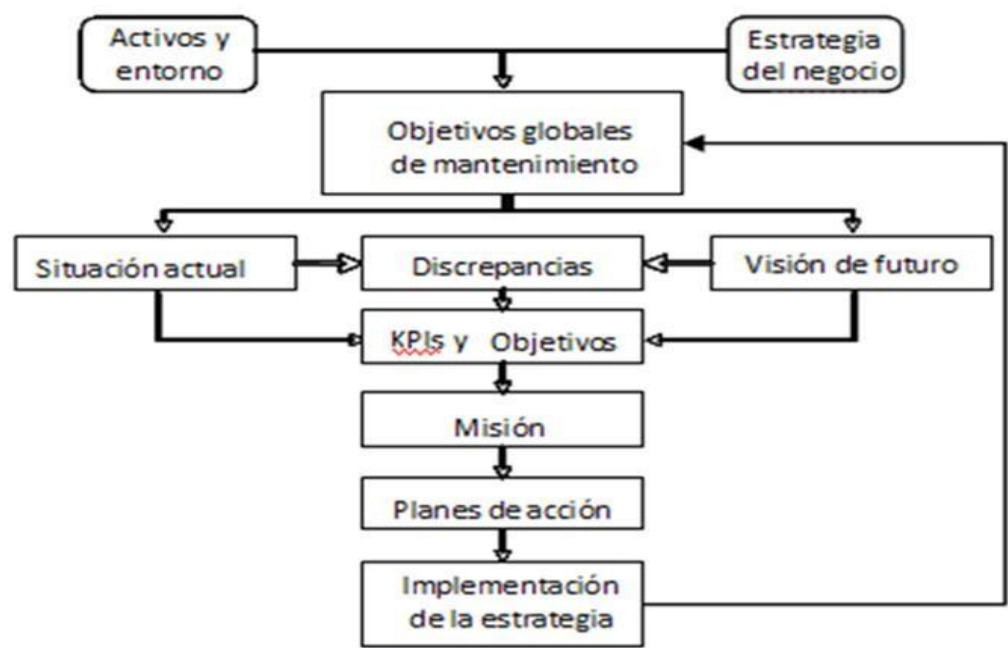
teniendo siempre en cuenta aquellos aspectos económicos relevantes para la organización [6].

Para implementar un modelo de gestión de mantenimiento, es necesario seguir una serie de pasos, basándose en herramientas que constituyen una estructura básica para su apoyo, esto permitirá gestionar de manera eficiente todos los aspectos técnicos, administrativos y económicos siguiendo la línea de objetivos de la empresa, Según el modelo [6] para que la gestión sea eficaz y eficiente es importante seguir la guía de los puntos siguiente:

- a) La definición de la estrategia del mantenimiento.
- b) La implementación de la estrategia del mantenimiento.

En la primera etapa, define la estrategia de mantenimiento, necesita como punto de partida la identificación de los objetivos de mantenimiento. Estos provienen directamente del plan de negocio de la organización, siendo esencial al momento de diseñar estrategias de mantenimiento que se alineen con los planes de negocio en este caso con la empresa Anglo American Chile.

La segunda fase contempla el proceso de estrategia el cual tiene una importancia diferente y está muy relacionada con la capacidad de garantizar niveles adecuados de capacitación del personal, la selección de herramientas adecuadas para realizar diversas tareas, la preparación de trabajos, un ejemplo de esto sería la ejecución oportuna de cualquiera de los programas de mantenimiento.



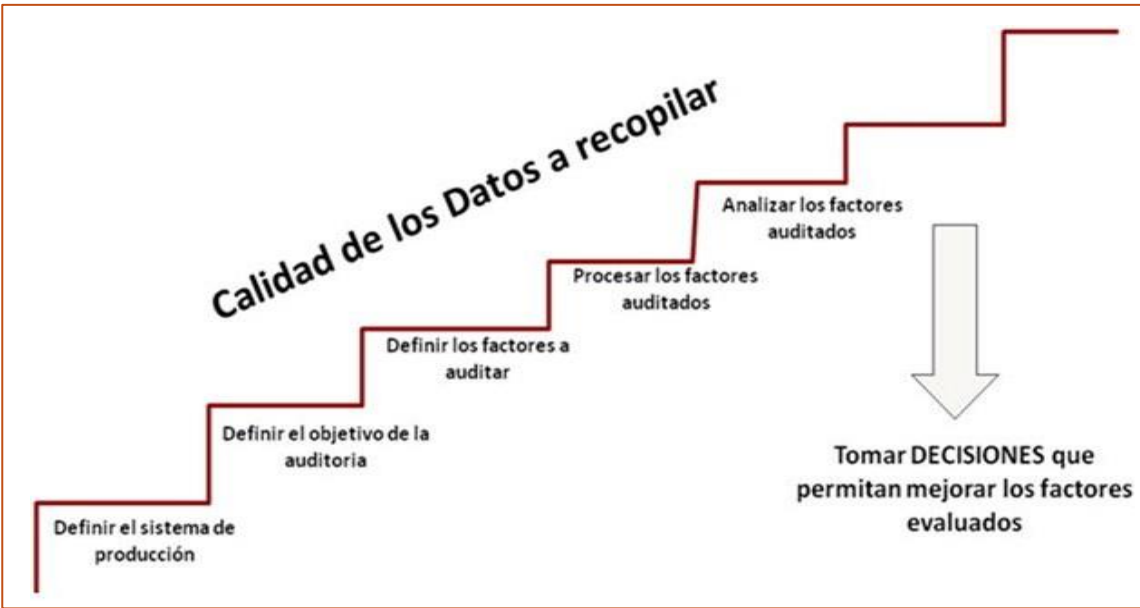
Fuente: Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos (Carlos & Crespo Márquez, 2019).

Diagrama 1-2 Modelo para la definición de la estrategia de mantenimiento

1.3. MARCO TEÓRICO HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO AMORMS

La herramienta de diagnóstico que se aplicara a la gestión de mantenimiento se denomina auditoria, que puede definirse como una “revisión sistemática de una actividad o de una situación para evaluar el cumplimiento de las reglas o criterios objetivos a que aquellas deben someterse. [7]

El proceso de implementación de una auditoría debe pasar por un conjunto de etapas siguiendo un orden lógico específico, en la Figura 1.11, se presenta un procedimiento básico de implementación de una auditoría [5]Es importante señalar, que no hay fórmulas simples para "medir" el mantenimiento, tampoco hay reglas fijas o inmutables con validez para siempre y en todos los casos. Los resultados de las técnicas de auditorías aplicadas al diagnóstico de la efectividad del mantenimiento deben ayudar a mejorar la rentabilidad del sistema de producción y a disminuir la incertidumbre en la toma de decisiones del proceso de gestión del mantenimiento.[8]



Fuente: Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos (Carlos & Crespo Márquez, 2019).

Diagrama 1-3 Procedimiento de implementación de una auditoria

Las auditorías de mantenimiento deben tener como objetivo principal evaluar los procesos más importantes de la gestión de mantenimiento, de tal forma que uno de los aspectos de mayor relevancia en el desarrollo de una auditoría de mantenimiento, está relacionado con la definición de los objetivos clave a ser auditados. A continuación, se citan, como ejemplo, algunos de los objetivos clave más comunes del área de mantenimiento [8]:

Garantizar valores aceptables de riesgo operacional de los activos de producción, reduciendo la probabilidad de presencia de fallos, mejorando la confiabilidad y minimizando las consecuencias de los fallos sobre las operaciones, la seguridad y el medio ambiente.

Recuperar de forma rápida y eficiente la tolerabilidad de los sistemas, una vez que se ha producido la interrupción de la función, mejorando la mantenibilidad.

Optimizar la continuidad operacional, mejorando la disponibilidad, con el objetivo de maximizar el desempeño económico de los activos a lo largo de su ciclo de vida útil, mejorando el nivel de costos.

Según Parra y Crespo [5,8], la auditoría denominada AMORMS: ASSET MANAGEMENT, OPERATIONAL RELIABILITY & MAINTENANCE SURVEY, permite evaluar las 8 fases del modelo de Gestión de Mantenimiento, las cuales se mencionan a continuación. (Véase Anexo C: subprocesos)

- I. Gestión de Activos, Objetivos del Negocios (KPIs) y organización de soporte
- II. Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos)
- III. Análisis de problemas (manejo de fallas)
- IV. Procesos de programación y planificación
- V. Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico
- VI. Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM
- VII. Proceso de análisis de costos de ciclo de vida
- VIII. Procesos de revisión y mejora continua

Según Parra y Crespo [5] el proceso de aplicación de esta herramienta de auditoría se debe hacer a partir la línea de supervisión hacia arriba, esto quiere decir desde el nivel de supervisores, ingenieros, superintendentes y gerentes de la unidad operativa seleccionada a un mínimo de 8 personas. El proceso de análisis de las 8 áreas seleccionadas a diagnosticar se realiza a partir de un cuestionario guía de 150 preguntas.

Cada participante evaluará a cada una de las preguntas propuestas, asignando puntuaciones que irán desde el 1 hasta el 5, en función de la siguiente escala:

- 0-1. Proceso muy deficiente
- 1-2. Proceso debajo del promedio
- 2-3. Proceso estándar promedio
- 3-4. Proceso con muy buenas prácticas
- 4-5. Proceso a nivel de Clase Mundial

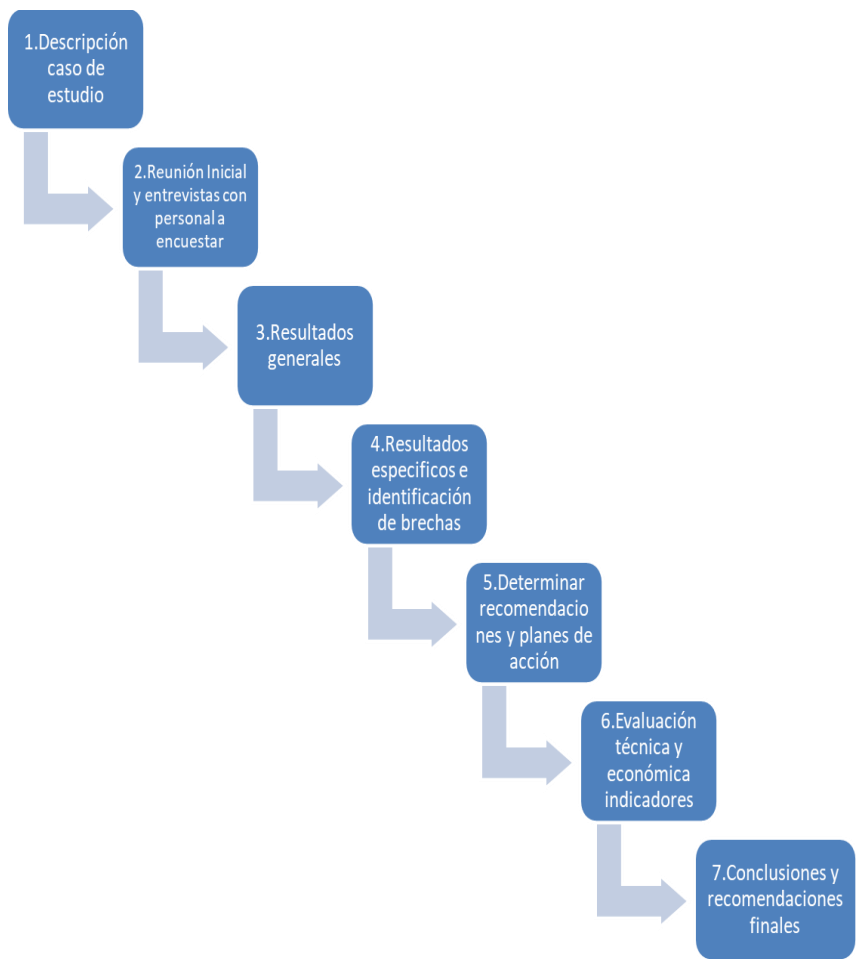
CAPÍTULO 2: APLICACIÓN HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO AMORMS
EN PLANTA CONCENTRADORA ÁREA CHANCADO MINA EL SOLDADO

2. **APLICACIÓN HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO AMORMS EN PLANTA CONCENTRADORA CHANCADO MINA EL SOLDADO**

El caso de estudio se realizará en el área de Chancado de la planta concentradora Mina El Soldado donde se aplicará la herramienta AMORMS la cual nos permite realizar un diagnóstico integral en las áreas claves de la gestión de mantenimiento del proceso productivo minero, el objetivo es determinar el nivel de madurez del proceso de gestión de mantenimiento en el área de chancado, identificar brechas para determinar las oportunidades de mejora. Además, se plantea un procedimiento de aplicación de la herramienta de diagnóstico AMORMS y luego un análisis de resultados general y específicos por cada fase.

Procedimiento de aplicación herramienta de diagnóstico AMORMS en Planta de Chancado

La aplicación de la herramienta de diagnóstico AMORMS seguirá un procedimiento estructurado que permitirá evaluar de forma objetiva el cumplimiento de los criterios definidos en el MGM. El procedimiento en general incluye las siguientes etapas:



Fuente: Elaboración propia

Diagrama 2-1 Procedimiento de aplicación herramienta de diagnóstico AMORMS en Planta concentradora área Chancado Mina El Soldado.

2.1. DESCRIPCIÓN CASO DE ESTUDIO EN PLANTA CONCENTRADORA ÁREA CHANCADO MINA EL SOLDADO

La capacidad de tratamiento de la planta es de 8 millones de toneladas cada año, produciendo alrededor de 50 mil toneladas de cobre fino anualmente, este proceso de sulfuros de cobre inicia en el proceso de chancador primario que alimenta tanto la molienda SAG como la molienda convencional. Luego, el mineral molido pasa por flotación Rougher para optimizar la recuperación de cobre en este punto se remuele liberando más partículas y se limpia, logrando un estado de pureza de 27% a 31%.

Otro proceso con el que cuenta la planta es el relave que genera limpieza durante un circuito de agotamiento con flotación columnar, el proceso de relaves Rouguer y

Scavenger se combinan para formar el relave de sulfuros, que se envía a la planta de flotación de arenas para su clasificación en estas son devueltas al sistema de transporte de relaves y las arenas son reprocesadas. Al final del relave el proceso envía al tranque para su disposición y recuperación de agua.

Los concentrados se combinan, espesan y filtran antes de ser enviados a la fundición Chagres para la producir ánodos de cobre.

Área de chancado primario

El circuito de chancado primario incluye un chancador, alimentadores, un distribuidor y correas transportadoras. El mineral producido por la chancadora primaria se debe al movimiento excéntrico realizado por el eje principal dentro de la cámara de chancado. [9]

En el transporte a gran escala, es esencial mantener un flujo continuo de remoción de material secundario, de modo que la gestión de la empresa se encargara de la demanda de cada mineral procesado, asegurándose de no comprometer la calidad del producto.

Características técnicas chancador primario

El primer paso del proceso es la reducción de la roca, en este proceso se utiliza el chancador primario, está básicamente recibe las rocas de mayor tamaño y las reduce para que queden guardadas en la tolva de compensación.[10]

La estructura del Chancado primero es un giratorio marca Allis Chalmers, su modelo es Superior Gyratory con tamaño de alimentación de 42 por 65 pulgadas, esta estructura incluye un casco superior e inferior, y una cámara de chancado con forma de cono invertido. Está equipado con un motor de 400 hp ,4160 volt y tiene una capacidad de procesamiento de 1000 tonelada/hora y disponibilidad mecánica requerida 90%.

La sección superior del casco está cubierta con revestimientos que resisten el desgaste y los impactos. Además, el motor está apoyado y maneja una polea motriz que transmite potencia a través de correas trapezoidales, haciéndola girar la polea conducida conectada al eje piñón proporcionando sobre este eje un movimiento oscilante en el eje principal, que atraviesa el cuerpo del chancador de manera vertical, el manto recubre el eje como una capa sirviendo como superficie de contacto para el área de Chancado.

Chancador terciario en circuito cerrado, junto con cuatro harneros clasificados, mostrando un producto final, de 4 a 4.5 mm de P80 como último destino la molienda convencional.

En este proceso el tamaño del mineral es reducido generalmente desde 7 u 8 pulgadas a un tamaño menor o igual a ½ pulgada, este es el chancado secundario y cuando la roca pasa a un tamaño menor o igual a ½ pulgada se denomina chancado terciario [12].

Equipos principales

- Un Chancador primario Allis Chalmers MK1 Super gyratory 42 x 65 Dos Chancador secundario Symons
- Dos Chancador terciario Sandvik
H7800 Un Martillo Pica rocas
Sandvik
- Cuatro Harnero vibratorio
Sandvik
- Seis Cintas transportadoras
Alimentadores
- Veinticuatro Cintas transportadoras

Fallas críticas del último periodo

1. Fuga de aceite reten pistón hidrosset Chancador primario. MTTR 30 horas.
2. Fuga de aceite reten contra eje Chancador primario. MTTR 30 horas.
3. Rotura eje contra eje Chancador terciario Sandvik. MTTR 30 horas.
4. Soltura de revestimientos eje principal Chancador secundario Symons. MTTR 24 horas.
5. Fisura critica estructura Topshell por impacto inchancables Chancador terciario Sandvik. MTTR 24 horas.
6. Rotura de vástago cilindros brazo de Pica rocas. MTTR 12 horas.
7. Rotura de cinta transportadora CT 1001 por fierros inchancables. MTTR 24horas.

Principales causas

- a. Baja confiabilidad componentes reparados.
- b. Obsolescencia equipos de retención inchancables, electroimán.
- c. Uso de martillo y brazo para acomodar rocas en abertura de Chancador primario con tamaño alimentación fuera de estándar.

2.2. REUNIÓN INICIAL

Se solicita reunirse formalmente con el Gerente de mantención de la planta para la autorización de aplicar la herramienta AMORMS, se indica el alcance, los objetivos y los beneficios de la evaluación del desempeño que ayude a mejorar la eficiencia y eficacia del proceso de gestión de mantenimiento.

Selección de personal a encuestar

La selección del personal se realiza hablando previamente con cada profesional sobre su disposición a participar en la evaluación, donde 11 personas aceptaron para luego coordinar una entrevista con cada uno donde se le entrega la encuesta, las indicaciones y los objetivos de la aplicación de la herramienta. A continuación, se muestra tabla con perfil de cargos y profesión del personal encuestado

Tabla 2-1 Perfil de cargos encuestados en Planta Concentradora

Cargo	Profesión
Gerente Mantención Mina y Planta	Ingeniero Civil Mecánico
Superintendente Planificación y Confiabilidad	Ingeniero Civil Mecánico
Supervisor de Confiabilidad	Ingeniero Civil Mecánico
Supervisor de monitoreo de condiciones	Ingeniero Eléctrico
Supervisor de Chancado	Ingeniero Civil Mecánico
Supervisor jefe de turno emergencias	Ingeniero Civil Mecánico
Supervisor eléctrico e instrumentación	Ingeniero Civil Eléctrico
Planificador de Chancado	Ingeniero Industrial
Analista de Confiabilidad 1	Ingeniero en Mantenimiento Industrial
Analista de Confiabilidad 2	Técnico Universitario Mecánico Industrial
Líder Mantenedor Chancado	Técnico Mecánico

Fuente: Elaboración propia

Entrevista con personal a encuestar

Se realiza entrevista con el personal seleccionado previa coordinación donde se entregan encuestas, indicaciones, se explica el procedimiento de aplicación, se indican los plazos para realizar la evaluación de las 150 preguntas, el cual fue de 4 meses desde septiembre a diciembre 2024. (Véase Anexo E: Promedios resultados cuestionarios)

2.3. **RESULTADOS GENERALES HERRAMIENTA AMORMS**

A continuación, se presenta los resultados generales de la aplicación de la auditoría AMORMS donde se aprecia una puntuación promedio general de 3,06 para la gestión de mantenimiento en la Planta Concentradora Mina El Soldado de Anglo American, se determina como un proceso estándar promedio según se indica en Tabla resumen 2-2.

La tabla incorpora la desviación estándar para complementar la interpretación de las puntuaciones promedio. Valores bajos indican alta coherencia entre los evaluadores, mientras que desviaciones más elevadas revelan mayor dispersión en las percepciones. Esta relación permite identificar procesos no solo por su nivel de desempeño, sino también por el grado de consistencia interna, facilitando la priorización en áreas que requieren mejoras específicas.

Tabla 2-2 Resumen de la aplicación por categorías de la herramienta AMORMS en la planta concentradora de la mina El Soldado.

Ítem	Categorías	Puntuación	Desviación Estándar
1	1.Gestión de Activos, Objetivos del Negocios (KPIS) y organización de soporte	3,52	0,90
2	2.Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos)	3,37	1,07
3	3. Análisis de problemas (manejo de fallas)	3,02	0,95
4	4.Procesos de programación y planificación	3,40	1,04
5	5.Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico	2,86	1,04
6	6.Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM	3,06	1,02
7	7.Proceso de análisis de costos de ciclo de vida	2,50	0,97
8	8.Procesos de revisión y mejora continua	2,74	0,85
	Promedio general	3,06	0,35

En el grafico radial 2-1 Se aprecia un 37,5% de los procesos auditado con muy buenas prácticas la categoría con puntuación más alta 3,53 corresponde a la fase 1 Gestión de Activos, Objetivos del Negocio (KPIS)y organización de soporte lo sigue fase 4, Procesos de planificación y programación con puntuación de 3,40 y fase 2, Modelos de jerarquización basados en riesgo (criticidad de equipos) con puntuación de 3,37.

El 62,5 % restante de los procesos auditados corresponde una calificación estándar promedio, la fase 7 de Análisis de costos de ciclo de vida obtuvo la puntuación más baja con 2,50 le sigue fase 8 Proceso de revisión y mejora continua con 2,74, luego Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico con 2,86, Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM con 3,06 y Análisis de problemas (manejo de fallas) con 3,02 de puntuación.

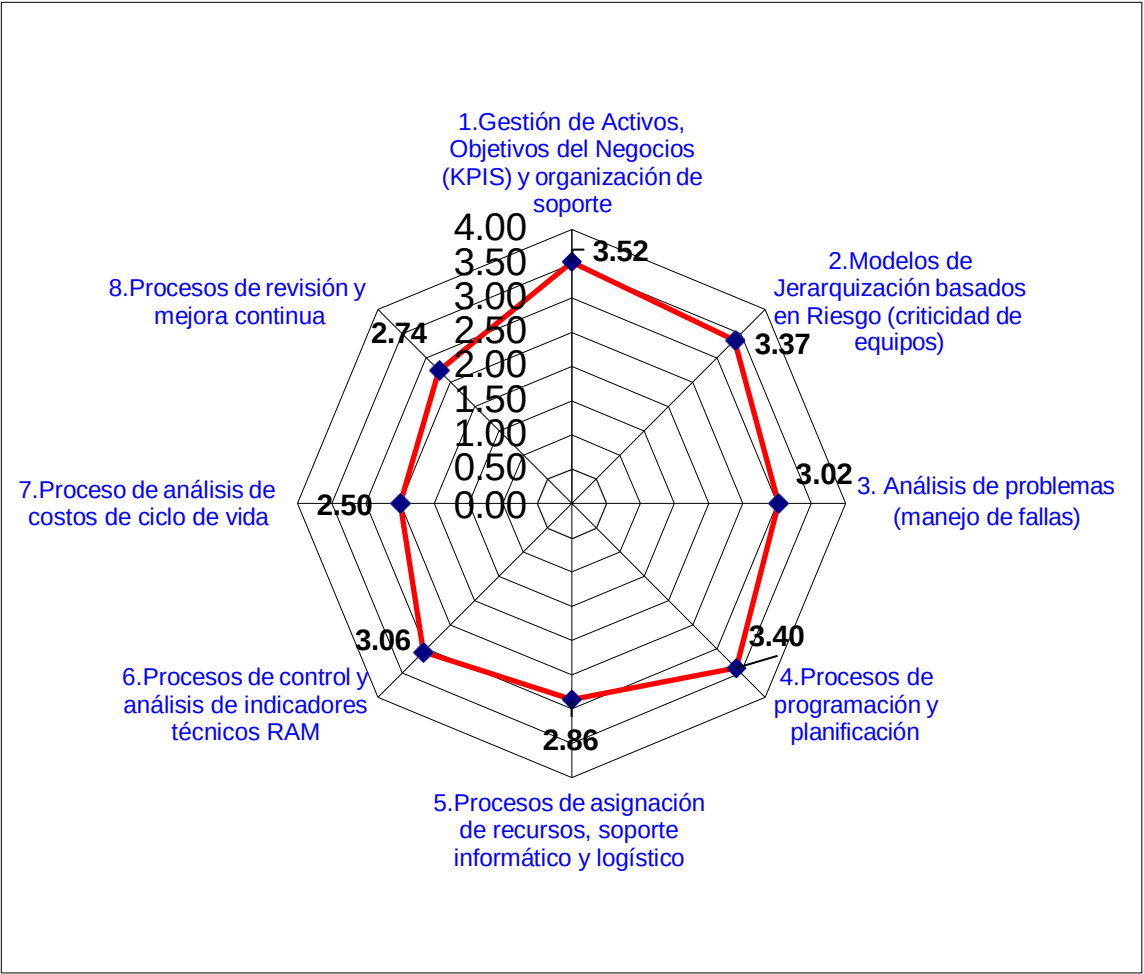


Gráfico 2-1 Resultados generales aplicación herramienta AMORMS

Fuente: Auditoria AMORMS (Parra y Crespo 2024)

El grafico 2-2 evidencia que la mayor proporción de los procesos 62,5% se mantiene en un estándar promedio, lo que implica que la organización cumple con los requerimientos mínimos de gestión, pero requiere fortalecer sus procedimientos y metodologías para alcanzar un mayor grado de madurez. Por otro lado, el 37,5 % de los procesos está orientado hacia buenas prácticas, lo cual es un indicador positivo, ya que muestra que existe una base sólida de procesos que pueden servir como referencia para elevar el nivel del resto.



Gráfico 2-2 Nivel de madurez en % procesos evaluados con AMORMS

Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos herramienta AMORMS

2.4. **RESULTADOS ESPECÍFICOS E IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS**

El análisis de los resultados específicos de cada fase del Modelo de Gestión de Mantenimiento (MGM) se efectuó mediante una validación en terreno, la cual incluyó la revisión detallada de documentos técnicos, estándares y procedimientos establecidos por la empresa, junto con la recopilación y análisis de datos históricos operacionales provenientes de la Planta de Chancado. Esta metodología permitió asegurar la consistencia y fiabilidad de los hallazgos obtenidos.

2.4.1. Fase 1: Categoría Gestión de Activos, Objetivos del Negocio (KPIS) y Organización de Soporte

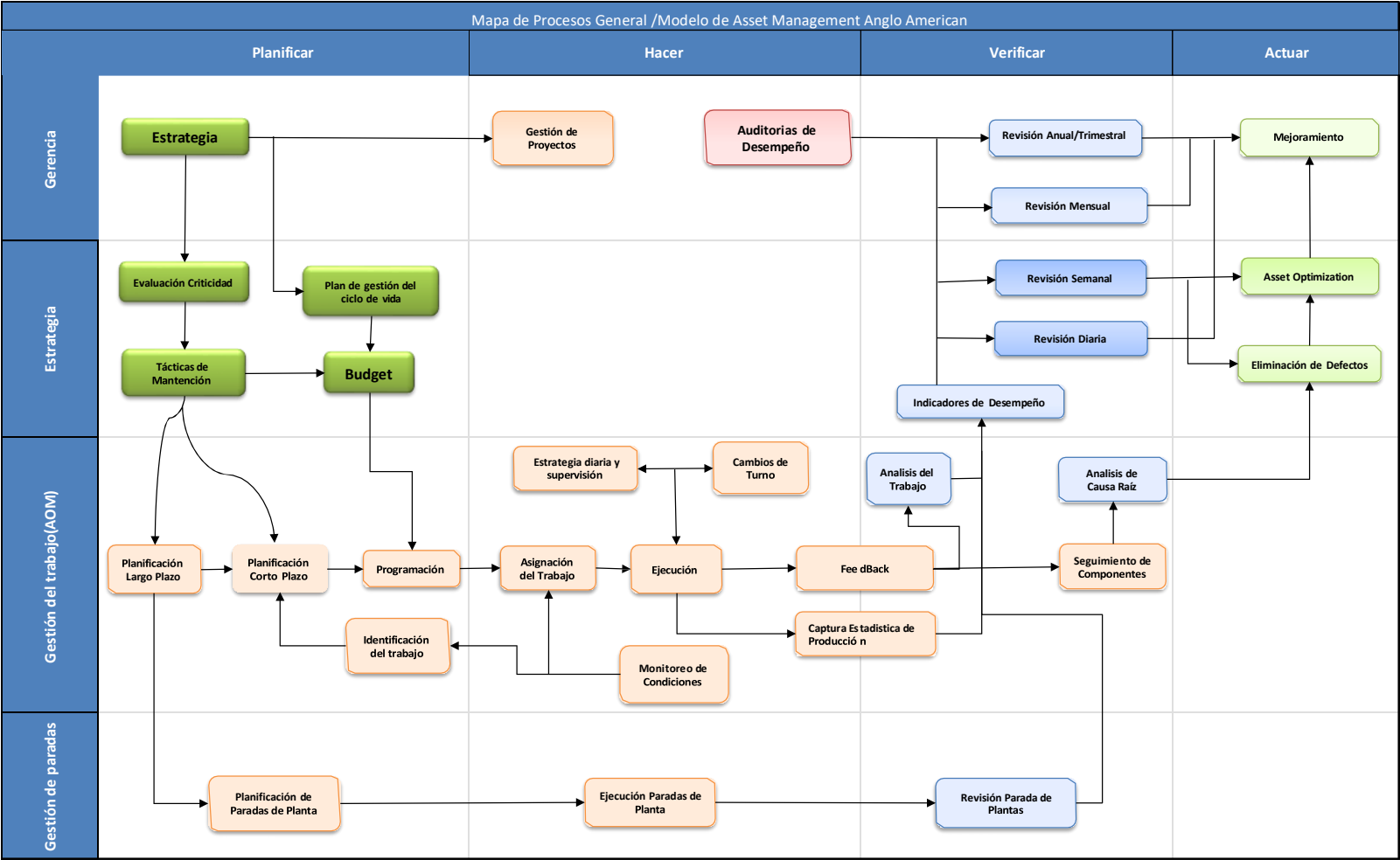
Se obtiene la mejor evaluación en esta fase con una puntuación promedio de 3,5 y los subprocesos con puntuación más baja, fueron “Control financiero (KPIS claves del negocio)” y “Estructura organizacional” con 3,4 puntos, en general se visualiza en todos los subprocesos con muy buenas prácticas. Para cumplir sus metas la empresa integra el ciclo de Deming de mejora continua y ha tomado como referencia la propuesta de norma PAS 55 , para gestionar sus activos mediante un modelo corporativo que aplica a toda la organización ASSET MANAGEMENT ANGLO que lo define como la administración sobre la adquisición, mantención y utilización de los activos físicos, se realiza la medición de los desempeños asociados, riesgos y gastos durante el ciclo de vida de estos con el fin de alcanzar el plan estratégico de la organización. Los objetivos del modelo de Gestión de Activos Anglo son maximizar la confiabilidad y desempeño de los activos, establecer un manejo integrado a través del Modelo Operacional AOM teniendo como base la planificación de las actividades entre producción, mantención, abastecimiento y las otras disciplinas, apoyar los objetivos de Anglo American de defender y extender el núcleo del negocio.

Se observa una política global de Gestión de activos junto a una estructura organizacional definida con sus áreas y funciones con un permanente revisiones del rendimiento y costos, pero no está integrado en su totalidad en Mina El Soldado por restricciones presupuestarias. Existen auditorias cada 2 años para alcanzar una mejora continua y revisión del estado de madurez del modelo de Gestión de Activos, solo se realiza de forma global del negocio y no por cada activo minero.



Gráfico 2-3 Resultados fase 1 Gestión de Activos, Objetivos del negocio (KPIS)y organización de soporte

Fuente: Auditoria AMORMS (Parra y Crespo 2024)



Fuente: Elaboración propia basado en Mapa de Proceso general Asset Management ubicado en Taller de Mantenimiento Planta

Diagrama 2-3 Modelo de Gestión de Activos Anglo American

2.4.2. Fase 2: Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (Críticidad de Activos)

Este proceso obtuvo una puntuación promedio de 3,3 de muy buenas prácticas, se analizaron los subprocesos y se identifica el subproceso con puntuación más baja 3,1 fue “Gestión de riesgos” La empresa aplica la taxonomía de activos según ISO 14224 se visualiza la estructura de activos en la ERP SAP desde el primer nivel Industria hasta el componente o pieza además la criticidad de equipos se realiza de forma general en la planta y se definen las estrategias de mantenimiento, se encuentran falencias en la aplicación de herramientas para gestión de riesgo y criticidad de activos y repuestos, el cual se debería considerar un plan de mejora en el subproceso de gestión de riesgo y priorización de equipos con 3,3 puntos los cuales obtuvieron los puntajes más bajos en esta fase.

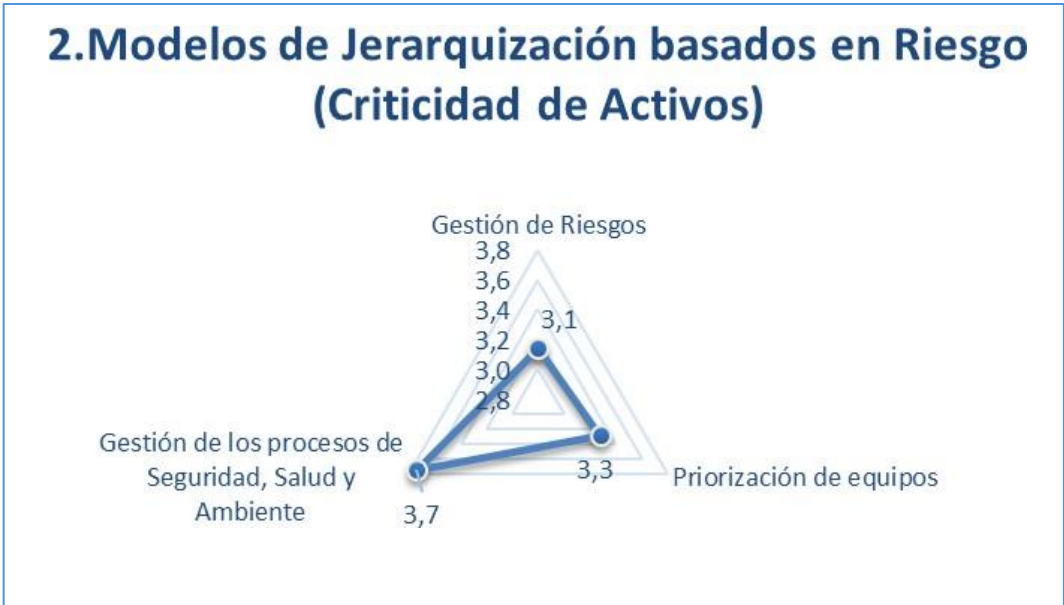


Gráfico 2-4 Resultados fase 2 Modelo de Jerarquización basados en Riesgo (Críticidad de Activos)

Fuente: Auditoria AMORMS (Parra y Crespo 2024)

2.4.3. Fase 3: Proceso de Análisis de Problemas (Análisis de Causa Raíz)

Se obtiene una puntuación promedio de 3,0 calificado como proceso estándar promedio, los subprocesos con oportunidad de mejora fueron “Gestión de las fallas” y “Métodos de análisis de fallas” con puntuación 2,9 los más bajos de esta fase.

El análisis de problemas en el manejo de fallas constituye un pilar esencial para garantizar la confiabilidad y eficiencia de la operación en la Planta Concentradora Mina El Soldado. Este proceso se centra en la identificación, diagnóstico y solución de las fallas a través de técnicas de análisis de causa raíz, como los “5 porqués” y la elaboración de líneas de tiempo. Actualmente, la detección y registro de fallas se efectúa utilizando datos operativos en tiempo real disponibles por medio del sistema PI Systems, mientras que la documentación de incidencias se realiza de forma manual mediante planillas Excel por cada turno de operaciones. Aunque se cuenta con la participación de equipos multidisciplinarios –integrando jefes de proceso, operaciones, analistas de confiabilidad y supervisores de mantenimiento–, se ha identificado una deficiencia importante en la integración y participación sistemática del personal técnico especializado durante el proceso de análisis de fallas.

El diagnóstico revela que, pese a que se aplican ocasionalmente metodologías básicas de análisis de fallas, no existe un método estandarizado y formal que permita la sistematización de la información y la comparación de resultados a lo largo del tiempo. Esta falta de estandarización impacta negativamente en la visibilidad de los costos asociados a cada falla y en la evaluación de la efectividad de las acciones correctivas implementadas, ya que no se realizan de manera regular reuniones de seguimiento ni se evalúa de forma rigurosa el impacto de las medidas adoptadas. Además, la ausencia de un protocolo detallado dificulta que se establezcan acciones preventivas y correctivas consistentes, lo que puede traducirse en un manejo reactivo de los problemas en lugar de una estrategia proactiva y planificada.

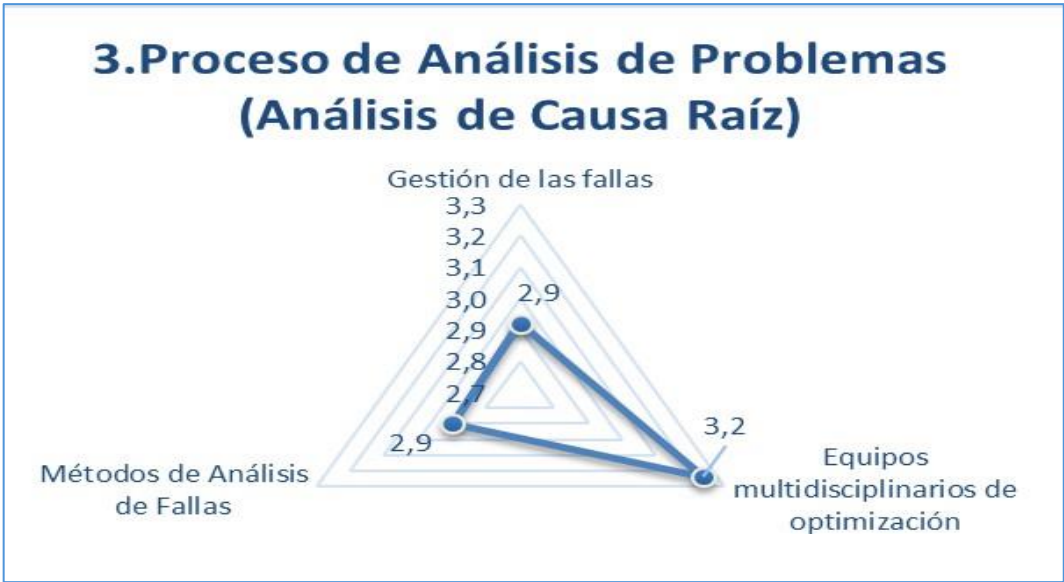


Gráfico 2-5 Resultados fase 3 Proceso de Análisis de Problemas (Análisis de Causa Raíz)

Fuente: Auditoria AMORMS (Parra y Crespo 2024)

2.4.4. Fase 4: Procesos de planificación, programación y optimización de planes de mantenimiento

Se obtiene una evaluación promedio de 3,4 que corresponde a un proceso con muy buenas prácticas, los puntajes más bajos fueron “Técnicas de optimización en las áreas de confiabilidad, mantenimiento y operaciones” y “Procedimientos e instructivos de trabajo” con 3,0 puntos ubicándose dentro del estándar promedio. La empresa a través de SAP PM gestiona las actividades de mantenimiento preventivas, por condición, inspecciones y solicitudes de reparaciones, se está trabajando en mejorar los procedimientos e instructivos en las ordenes de trabajo incluyendo el DET (Documento específico de trabajo). El subproceso Técnicas de optimización en las áreas de confiabilidad, mantenimiento y operaciones cumple el estándar, pero falta una revisión y actualización de las técnicas utilizadas que incluya el entrenamiento del personal, con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa de la planta.

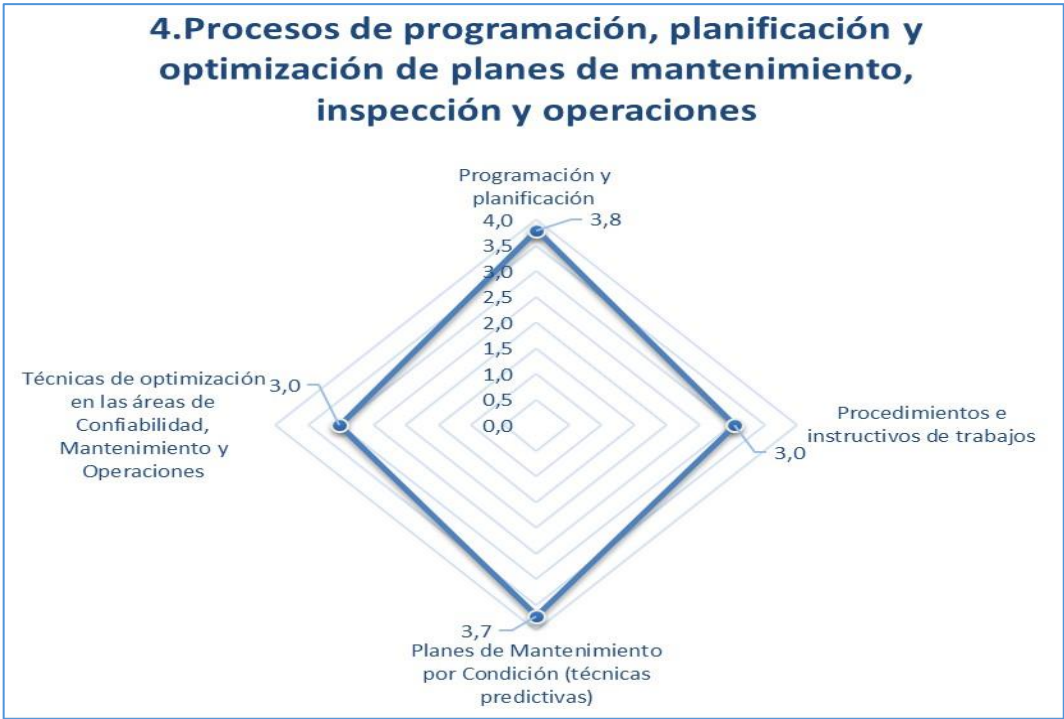


Gráfico 2-6 Resultados fase 4 Procesos de planificación, programación y optimización de planes de mantenimiento, inspección de operaciones.

Fuente: Auditoria AMORMS (Parra y Crespo 2024)

2.4.5. Fase 5: Procesos de asignación de recursos, soporte informático y soporte logístico a los procesos de Mantenimiento y Confiabilidad

Es un componente esencial en la gestión de mantenimiento de la Planta Concentradora de Mina El Soldado, ya que garantiza que los recursos necesarios para las intervenciones, tanto en términos de información como de materiales y logística, estén disponibles de manera oportuna y coordinada. Se obtiene una puntuación de 2,8 evaluado como proceso estándar promedio, la subcategoría sistema de soporte informático de mantenimiento fue la mejor evaluada 3,3 ya que existe experiencia y muy buenas prácticas en la gestión a través de SAP PM, aunque genera algunos KPIS falta implementar análisis y reportes automáticos para la toma de decisiones. El sistema de control de documentos evaluado como estándar promedio 2,7 lo cual está implementado, pero poco difundido y utilizado por el personal técnico por restricciones en el acceso a la información. Manejo de repuestos y materiales evaluado como estándar promedio 2,8 existe un proceso definido

en el modelo operacional AOM, se debe mejorar tiempo de respuesta repuestos críticos, faltan indicadores que permitan optimizar el proceso de abastecimiento y planificación de materiales, la puntuación más baja fue “Procesos de administración de la bodega de inventarios “con 2,7 lo que evidencia la necesidad de optimizar algunos de sus subprocesos críticos.



Gráfico 2-7 Resultados fase 5 Procesos de asignación de recursos, soporte informático y soporte logístico a los procesos de mantenimiento y confiabilidad

Fuente: Auditoria AMORMS (Parra y Crespo 2024)

2.4.6. Fase 6: Procesos de control y análisis de indicadores técnicos del negocio (RAM)

Se obtiene una puntuación de 3,0 corresponde a una evaluación estándar promedio. Existen buenas prácticas en el registro y análisis de la información para la generación de reportes técnicos de la disponibilidad de equipos y cumplimiento del Budget requerido por la operación. Programa de revisión de planes de mantenimiento cumple como estándar promedio, se realizan los análisis y recomendaciones y se auditan las acciones de mejora en un tiempo determinado. Procesos de control de las operaciones obtiene una evaluación con muy buenas prácticas los procedimientos están detallados y actualizados en los manuales de operación de la planta y anualmente se realiza la planificación operacional junto con las actividades de mantenimiento vinculando el cumplimiento de las metas de producción. El control de contratistas cumple como estándar promedio, se tienen modelos de contratos establecidos alineados a los objetivos de la empresa, pero no se evalúa el

desempeño real de los contratistas. “Gestión de talleres” obtiene la puntuación más baja 2,5 este proceso, pero cumple el estándar promedio, existe un taller propio en planta, pero generalmente se externaliza, no existe un proceso de evaluación del desempeño del servicio realizado por los talleres.

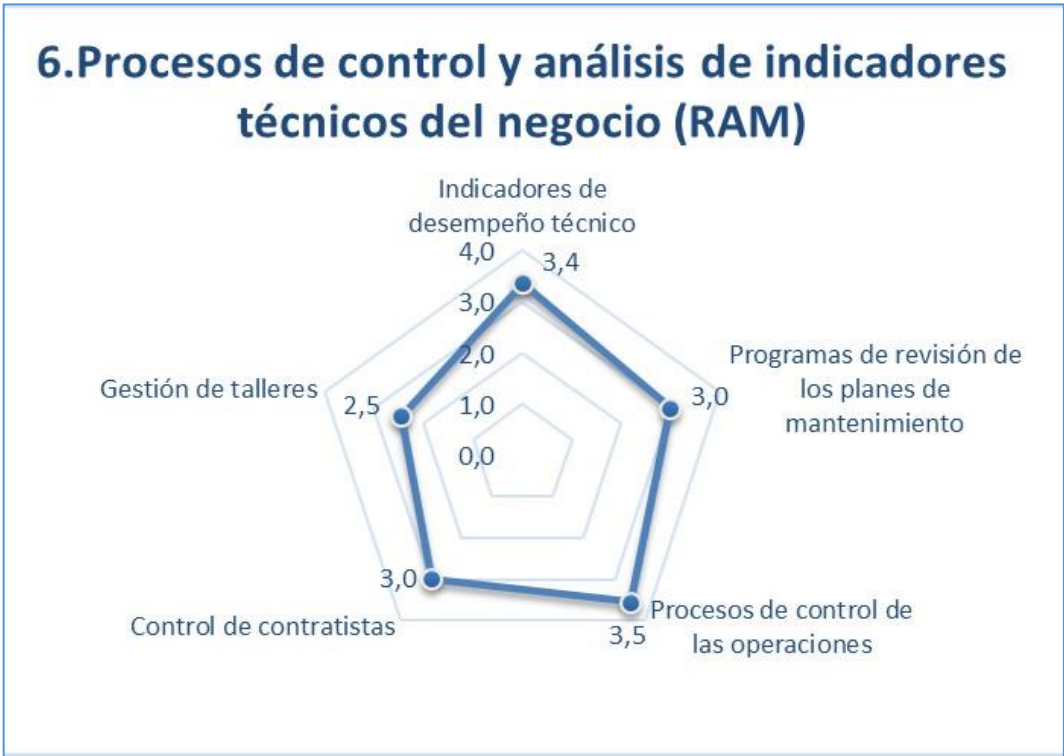


Gráfico 2-8 Nivel de madurez en % procesos evaluados con AMORMS Procesos de control y análisis de indicadores técnicos del negocio (RAM)

Fuente: Auditoria AMORMS (Parra y Crespo 2024)

2.4.7. Fase 7: Proceso de Análisis de Costos de ciclo de vida

El proceso de Análisis de Costos de Ciclo de Vida en la gestión de mantenimiento planta chancado de la mina El Soldado fue diagnosticado como el más deficiente con 2,5 puntos y bajo el promedio con 1,9 puntos fue la subcategoría “Gestión de costos del ciclo de vida de los activos”. Existe un procedimiento global de la organización que no ha sido adaptado en El Soldado, también por la falta de aplicación de técnicas y herramientas para determinar el impacto económico de la confiabilidad en el ciclo de vida de los activos. Una de las causas más importantes es la falta de equipos multidisciplinarios y la formación intensiva del personal en esta área que permita determinar la depreciación de los equipos a lo largo de su tiempo de vida útil de diseño por el fabricante. Las aplicaciones de mantenimientos preventivos y proactivos a todos los activos de la planta de chancado

pueden ayudar a elevar la esperanza de vida. Por otro lado, si hay deficiencias en la planificación de mantenimiento las intervenciones a los equipos caen en el régimen de solamente mantenimientos correctivos, donde los costos aumentan y la esperanza de vida de los equipos disminuye drástica y posiblemente ni siquiera se pueda llegar a los tiempos de vida útil de los equipos recomendados por los fabricantes.

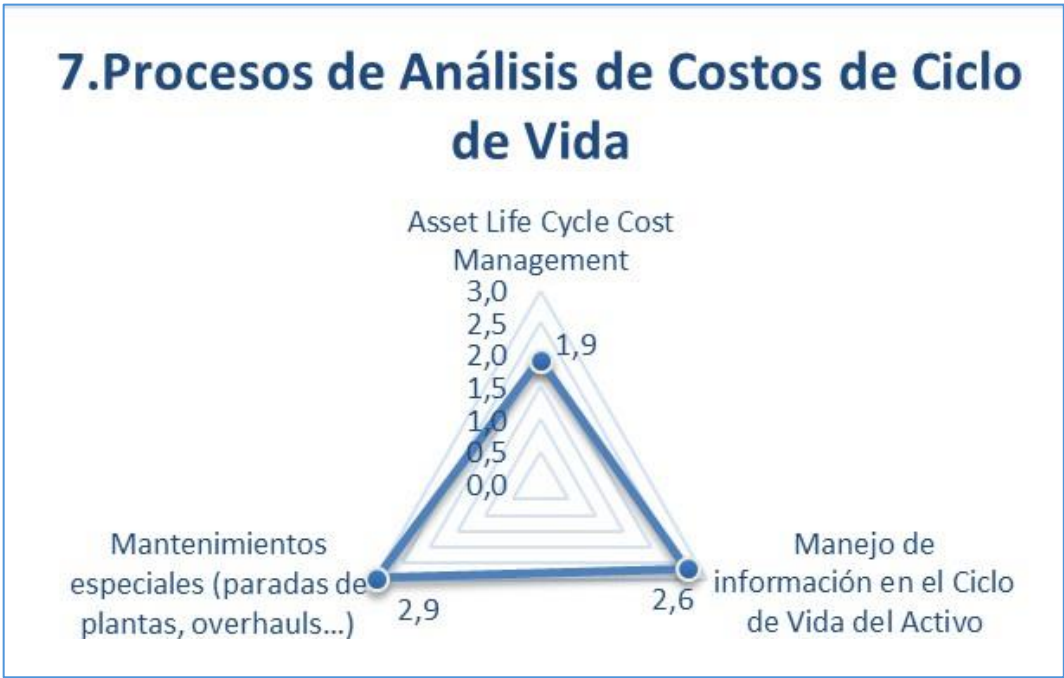


Gráfico 2-9 Proceso Análisis de Costos de Ciclo de Vida

Fuente: Auditoria AMORMS (Parra y Crespo 2024)

2.4.8. Fase 8: Proceso de revisión y mejora continua

Fue diagnosticado como el segundo más deficiente con puntuación de 2,7 dentro del estándar promedio, no existe un modelo de control de la calidad dentro de la gestión de mantenimiento, pero si existe el conocimiento de la importancia en el desempeño lo cual se refleja en el resultado de los trabajos. La empresa no se encuentra acreditada a normas relacionadas con la calidad. El proceso de mejora continua está incluido en el estándar de gestión de activos de la organización y existe seguimiento a nivel corporativo de los procesos de mantenimiento y confiabilidad. El subproceso con puntuación más baja fue “Programas de desarrollo personal” con 2,4 puntos. Existe un proceso de adiestramiento del personal que está definido de acuerdo con su función y solo para

requerimientos específicos se capacita en técnicas modernas de mantenimiento, confiabilidad y gestión de activos. Falta implementar evaluación de la efectividad del plan de adiestramiento durante el ciclo de vida del trabajador.

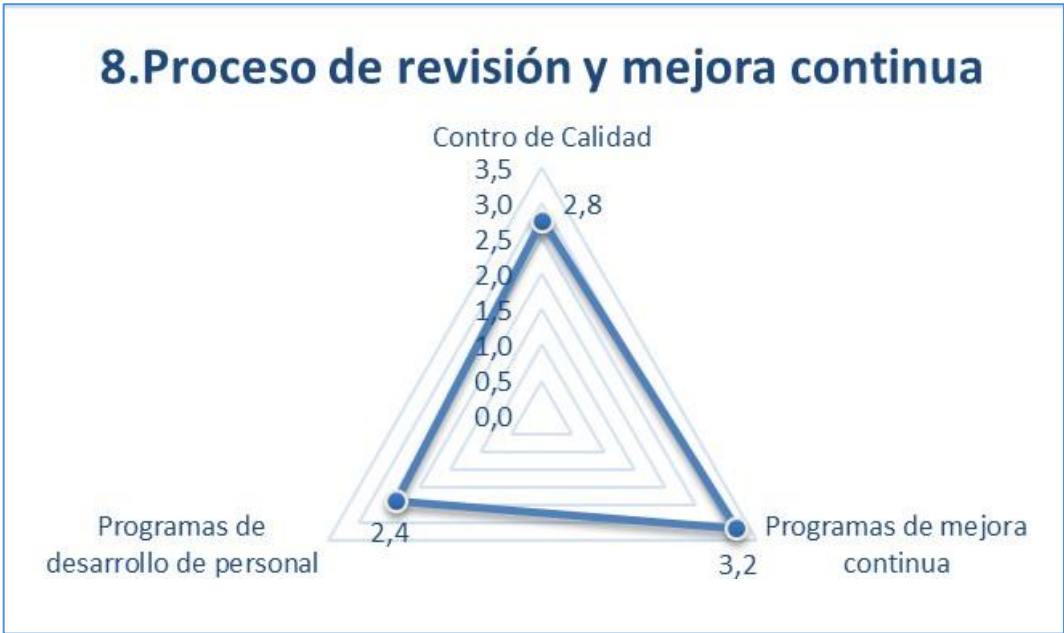


Gráfico 2-10 Proceso de revisión y mejora continua

Fuente: Auditoria AMORMS (Parra y Crespo 2024)

La herramienta AMORMS aplicada en la planta de chancado tuvo como finalidad evaluar el nivel de madurez del proceso de gestión de mantenimiento ubicado dentro del estándar promedio con 3,06 puntos. Además, permitió identificar brechas con respecto a las mejores prácticas, en los subprocesos de puntuación más baja se realizarán las recomendaciones, planes de acción y evaluación técnica económica de las posibles mejoras de indicadores y rendimiento de los activos de la planta en el siguiente capítulo.

2.4.9. Resumen de brechas encontradas con AMORMS

Subprocesos peor evaluados puntuación menor a 3:

- I. Gestión de talleres 2.5
- II. Gestión de las fallas 2.9
- III. Métodos de análisis de fallas 2.9
- IV. Manejo de repuestos, materiales (logística) 2.8
- V. Procesos de administración de la bodega e inventarios 2.7
- VI. Sistema de control de documentos 2.7
- VII. Control de calidad 2.8
- VIII. Programas de desarrollo de personal 2.4
- IX. Mantenimientos especiales (paradas de planta, overhauls) 2.9
- X. Manejo de información en el ciclo de vida del activo 2.6
- XI. Gestión de ciclo de vida del activo 1.9

2.5. ANÁLISIS FODA

La Planta de Chancado de la Mina El Soldado constituye una instalación estratégica dentro del proceso productivo, al encargarse de la reducción granulométrica del mineral proveniente de la mina para asegurar la continuidad operacional y el cumplimiento del plan de producción. Desde una perspectiva de gestión de activos y confiabilidad operacional, se realizó un análisis FODA con el fin de identificar los factores internos y externos que influyen en su desempeño y capacidad para sostener una operación segura y eficiente.

Fortalezas

La planta concentradora área Chancado presenta una infraestructura industrial consolidada y con un historial de operación continua que respalda su fiabilidad operativa. El personal técnico posee una amplia experiencia en mantenimiento y operación de equipos, lo que garantiza un conocimiento profundo del proceso y una capacidad de respuesta eficaz frente a contingencias.

Asimismo, la operación se desarrolla bajo una cultura organizacional de seguridad y disciplina operacional fortalecida por la implementación del sistema de gestión corporativo (SHE Way/AOM) y por el cumplimiento de normas internacionales de gestión (ISO 45001 e ISO 14001). La planta dispone además de sistemas de control y monitoreo automatizados (SCADA/PLC/PI Systems), que permiten la supervisión en tiempo real de variables críticas de proceso y facilitan la toma de decisiones operativas.

Por otra parte, la integración con la cadena de suministro y mantenimiento corporativo de Anglo American proporciona acceso a recursos financieros que favorecen la gestión de activos de manera sostenible.

Oportunidades

El entorno tecnológico y corporativo ofrece un conjunto de oportunidades que pueden fortalecer el desempeño del proceso de mantenimiento. Entre ellas destaca la posibilidad de implementar tecnologías de monitoreo predictivo basadas en Iot, así como sistemas de análisis de datos y aprendizaje automático para anticipar fallas en equipos críticos.

La digitalización de la información de mantenimiento, junto con el fortalecimiento de las competencias del personal mediante programas de formación en RCM y RCA y lubricación industrial, representa una oportunidad significativa a considerar.

Adicionalmente, las iniciativas corporativas de la compañía orientadas a la sostenibilidad y eficiencia energética ofrecen un marco favorable para proyectos de mejora que contribuyen tanto a la confiabilidad operativa como a la reducción de la huella ambiental de la operación.

Debilidades

A pesar de los avances en gestión, la planta enfrenta limitaciones asociadas al envejecimiento de equipos críticos, lo que incrementa la probabilidad de fallas y eleva los costos de mantenimiento correctivo. Se evidencia también una brecha en la integración y trazabilidad de la información técnica, dificultando la consolidación de un sistema de gestión del conocimiento basado en datos.

Asimismo, persiste la necesidad de fortalecer la planificación de las actividades y recursos para la ejecución de los planes preventivos y correctivos programados, así como de mejorar la estandarización documental de procedimientos e historial de intervenciones. La disponibilidad limitada de repuestos críticos y los tiempos de adquisición prolongados constituyen otro factor que impacta negativamente la continuidad operacional.

Estas debilidades refuerzan la necesidad de migrar hacia un modelo de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) y soportado por herramientas de análisis de riesgo y costo de ciclo de vida (LCCA).

Amenazas

El entorno operativo de la planta se ve afectado por condiciones externas propias del sector minero. La variabilidad mineralógica del yacimiento e ingreso de inchancables impacta las tasas de chancado y genera variaciones en los índices de desgaste de componentes. Además, las exigencias regulatorias ambientales y de seguridad cada vez más estrictas podrían demandar mayores recursos para el cumplimiento normativo. Finalmente, la volatilidad del precio del cobre condiciona los presupuestos de inversión y mantenimiento, obligando a una gestión más eficiente del OPEX priorizando el ahorro que la confiabilidad operativa como desventaja competitiva.

El análisis FODA se desarrolló una vez aplicada la herramienta AMORMS y concluido el proceso de identificación de brechas. Esta secuencia metodológica responde a la necesidad de sustentar la definición de fortalezas y debilidades en evidencia objetiva, obtenida a partir de la evaluación de madures del proceso de gestión de mantenimiento.

La etapa de FODA permitió sintetizar los resultados del diagnóstico, integrando factores internos asociados al desempeño operativo, la gestión de mantenimiento y la infraestructura tecnológica, así como factores externos relacionados con el contexto de la industria minera y los lineamientos corporativos de Anglo American.

De esta manera, el análisis FODA actúa como puente entre el diagnóstico técnico y la formulación de las propuestas de mejora, asegurando alineación estratégica y consistencia metodológica para el caso de estudio.

**CAPÍTULO 3: RECOMENDACIONES Y EVALUACIÓN TÉCNICA Y
ECONÓMICA DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA.**

3. RECOMENDACIONES Y EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA

En este capítulo se presentan las recomendaciones y planes de acción asociados a cada fase del modelo, enfocándose en los subprocesos con menor puntuación identificados mediante la herramienta AMORMS. Estas acciones buscan reducir las brechas detectadas y fortalecer los procesos críticos. Finalmente, se incluye una evaluación técnico-económica de la propuesta, basada en indicadores clave que permitan optimizar la gestión del mantenimiento y mejorar el rendimiento de los activos.

Tabla 3-1 Orden de presentación recomendaciones.

Ítem	Áreas evaluadas	Puntuación
1	1.Gestión de Activos, Objetivos del Negocios (KPIS) y organización de soporte	3,52
2	4.Procesos de programación y planificación	3,40
3	2.Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos)	3,37
4	6.Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM	3,06
5	3. Análisis de problemas (manejo de fallas)	3,02
6	5.Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico	2,86
7	8.Procesos de revisión y mejora continua	2,74
8	7.Proceso de análisis de costos de ciclo de vida	2,50

Fuente: Elaboración propia en base a “Técnicas de auditoría aplicadas en los procesos de Gestión del Mantenimiento” (Parra y Crespo, 2024)

3.1. RECOMENDACIONES POR SUBPROCESO PEOR EVALUADO EN CADA FASE

Si bien la evaluación general de desempeño del proceso de gestión de mantenimiento en Planta concentradora área Chancado Mina El Soldado fue 3,06 se ubica dentro del estándar promedio, con solida estrategia corporativa y objetivos para este activo minero que pretende extender su vida útil. A continuación, se desarrollan las recomendaciones por cada fase y planes de acción a subprocesos con puntuación más baja de cada fase evaluada según el orden de la tabla 3-1.

3.1.1. Gestión de Activos, Objetivos del Negocios (KPIs) y organización de soporte

Esta área cumple con el estándar promedio con puntuación 3,52 el subproceso con puntuación más baja fue “Control financiero KPIs claves del negocio” con 3,36.

Se propone un ejemplo de aplicación del modelo BSC cuadro de mando integral (Kaplan y Norton 1982) para la gestión de mantenimiento en la Planta de Chancado, alineado a cumplir los objetivos estratégicos de la organización integrando las cuatro perspectivas principales:

- Financiera
- Cliente
- Procesos internos
- Aprendizaje y crecimiento

Tabla 3-2 Cuadro de mando integral de mantenimiento Planta de chancado

Objetivos estratégicos	Medidas KPIs	Metas	Planes de acción	Perspectiva
Reducir costos operativos Aumentar disponibilidad de activos Mejorar inversión en repuestos críticos	Costo de mantenimiento por tonelada producida (USD/Ton) Costo indisponibilidad por falla (CIF) Nivel stock critico disponible (%)	< 10% anual < 20 anual > 95%	Plan de mantenimiento basado en confiabilidad RCM Mejora de mantenimiento preventivo, predictivo, proactivo Revisión a políticas de inventario, proveedores Creación matriz criticidad de repuestos	Financiera
Mejorar continuidad operacional Aumentar satisfacción del cliente interno (Operaciones planta)	Disponibilidad equipos críticos (%) Encuesta de conformidad	> 90% >87%	Plan de mejora en recopilación de datos para indicadores de confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad. Reuniones semanales entre operaciones y mantenimiento	Clientes
Aumentar eficiencia operativa Reducir tiempo fuera de servicio Mejorar la confiabilidad de activos	Cumplimiento plan de mantenimiento (%) TPFS (Tiempo promedio fuera de servicio TPO (Tiempo promedio operativo)	> 90 % < 5horas > 50 horas	Programación semanal efectiva Capacitación técnica y mejora procedimientos de ejecución Plan de análisis causa raíz (ACR) y lecciones aprendidas	Procesos internos

Fortalecer habilidades del personal Fomentar cultura de mejora continua Uso de tecnología para mantenimiento predictivo	% de técnicos capacitados anualmente cantidad de propuestas de mejora implementadas % de activos con monitoreo sensores IoT	>90% > 4 anual >50%	Plan de capacitación nuevas tecnologías Capacitación en Kaizaen,5S Implementación de mantenimiento 4.0	Aprendizaje y crecimiento
--	---	---------------------------	--	---------------------------

Fuente: Elaboración propia en base a “Cuadro de mando integral. Integración con los indicadores básicos de mantenimiento” (Parra y Crespo 2024)

En resumen, se recomienda incluir al supervisor de mantenimiento en las reuniones de revisión del BSC corporativo, hacer que los indicadores de mantenimiento aparezcan en el BSC general de empresa, crear un BSC de mantenimiento como subnivel que alimente directamente al BSC corporativo.

Integrar el GMAO (Gestión de mantenimiento asistido por ordenador) con el ERP SAP y desarrollar un dashboard del BSC con vinculación de datos en tiempo real de fallas, costos y tiempos para generar reportes.

Promover espacios en conjunto con operaciones, mantenimiento y finanzas para analizar resultados del BSC en periodos trimestrales.

Utilizar el BSC para identificar desviaciones del desempeño y aplicar el ciclo PDCA para optimización en los procesos de gestión de mantenimiento en Planta de Chancado Mina El Soldado.

3.1.2. Procesos de planificación y programación

El subproceso con puntuación más baja con 3.0 fue en “Técnicas de optimización en confiabilidad, mantenimiento y operaciones” la propuesta para reducir esta brecha es la integración de herramientas que apunte a mejorar el desempeño global de la planta de chancado incrementando la disponibilidad de equipos, reduciendo fallas y mejorando la planificación de recursos. Recomendaciones por área:

Área de confiabilidad

- Aplicar RCM a equipos críticos como Chancadores, cintas transportadoras, harneros vibratorios.
- Análisis RAM para evaluar cuellos de botella y definir redundancias
- Implementación de indicadores claves como MTTF, TPFS, FF, CIF, % reincidencia de fallas, % cumplimiento plan mantenimiento.
- Análisis Weibull para estimar vida útil de componentes.

Área de mantenimiento

- Mantenimiento predictivo con sensores IOT y análisis de vibración, ultrasonido, termografía y análisis de aceite
- Gestión de backlog y criticidad de ordenes de trabajo
- Auditoria de ejecución y cierre técnico ordenes de trabajo
- Sistema GMAO con control de tareas, costos y materiales en tiempo real

Área de operaciones

- Uso de dashboard para control de KPIs productivos y paradas
- Estandarización de parámetros de operación por tipo de mineral (densidad, humedad, tamaño)
- Automatización de reportes de producción y eventos operativos
- Capacitación cruzada operador-mantenedor para detección temprana de fallas
- Implementación de inspecciones operativas digitalizadas con check list

Integración de técnicas entre áreas

- Reuniones semanales de análisis de desempeño conjunto (operaciones, mantenimiento, confiabilidad)
- Gestión de activos basadas en riesgo, priorización de intervenciones en función del impacto operativo y de seguridad
- Revisión colaborativa de causas raíz RCA entre áreas
- Uso de analítica avanzada de datos históricos para tomar decisiones predictivas

Beneficios esperados por área

- Confiabilidad: Reducción de fallas críticas y mejoras en la predicción
- Mantenimiento: Intervenciones más efectivas, reducción de horas hombre
- Operaciones: Mayor estabilidad operacional y reducción de paradas no planificadas
- Global: Mayor disponibilidad > 90%, reducción de costos totales de mantenimiento (15-20%) y mejora continua en base a datos

3.1.3. Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos)

Se propone implementar un modelo de jerarquización de equipos de la planta Chancado ,que sirva como base para realizar por cada área del proceso productivo en Mina El Soldado, basado en un modelo de criticidad semicuantitativo mediante MCR, este método permite priorizar los equipos de la planta Chancado donde se van a dirigir los recursos de mantenimiento de acuerdo al impacto que generen las detenciones no programadas de acuerdo a la relación entre la frecuencia de fallos por la consecuencia según los criterios más comunes que se utilizan en un proceso de jerarquización.

Definición de criterios:

Se deben seleccionar los factores ponderados de frecuencia y consecuencia de los fallos para determinar el valor de riesgo a través de la siguiente expresión:

- $Riesgo = Criticidad = FF \times C$
- $FF =$ Frecuencia de falla (Numero de fallas en un tiempo determinado)
- $C =$ Consecuencia de las fallas a la salud y seguridad, medio ambiente, producción, impacto en mantenimiento $(IS + IE + IP + IM)$
- Se asigna una escala del 1 (bajo impacto) al 10 (alto impacto) para cada criterio

Tabla 3-3 criterio 1 Salud y seguridad y escala de puntaje

Salud y Seguridad	
La falla del equipamiento para cumplir con su función deseada generará:	Puntaje
Muertes múltiples / impacto en la salud generando muerte	10
Una muerte o pérdida de calidad de vida / impacto irreversible en la salud	8
Lesión con pérdida de tiempo / impacto reversible en salud	6
Tratamiento médico / exposición a importante riesgo de salud	4
Primeros auxilios / exposición a riesgo menor en salud	2
Efecto insignificante en seguridad y salud	1

Fuente: Elaboración propia en base a “Técnicas de jerarquización de activos. Análisis de criticidad” (Parra y Crespo 2024)

Tabla 3-4 Criterio 2 Medio ambiente y escala de puntaje

Medio Ambiente	
La falla del equipamiento para cumplir con su función deseada generará:	Puntaje
Daño ambiental extremo - incidente irreversible	10
Daño ambiental mayor - incidente remediable post - LOM	8

Daño ambiental GRAVE - incidente remediable dentro - LOM	6
Daño ambiental material - incidente irreversible en corto plazo	4
Daño ambiental mínimo	2
Efecto insignificante en medioambiente	1

Fuente: Elaboración propia en base a “Técnicas de jerarquización de activos. Análisis de criticidad”
(Parra y Crespo 2024)

Tabla 3-5 Criterio 3 Impacto en la producción y escala de puntaje

Impacto en la Producción	
La falla del equipamiento para cumplir con su función deseada generará:	Puntaje
Principal impacto en la producción Genera no-producción por > 24 horas Genera pérdidas significativas irrecuperables del producto o servicio clave o actividad critica del negocio	10
Gran impacto en la producción Genera no-producción entre 4 y 24 horas Genera pérdidas del producto o servicio clave o actividad critica del negocio	8
Impacto significativo en la producción Limita significativamente algo de efectividad operacional por 6 -12 horas Restringe las operaciones en otras áreas del negocio dentro de las 12 horas siguientes al evento de la falla	6
Restricción en la producción Limitando la efectividad operacional del área por 2 - 6 horas	4
Efecto menor en la producción Limitando algo de la efectividad operacional < 2 horas	2
Efecto insignificante en la producción Producción esta consiente del problema Dentro del alcance operacional normal para administrar	1

Fuente: Elaboración propia en base a “Técnicas de jerarquización de activos. Análisis de criticidad” (Parra y Crespo 2024)

Tabla 3-6 Criterio 4 Impacto en el mantenimiento y escala de puntaje

Impacto en el Mantenimiento	
La falla del equipamiento para cumplir con su función deseada generará:	Puntaje
Costo de mantenimiento total muy alto Costo de reparación promedio para el mantenimiento es alto > \$50.000 Tiempo promedio para reparar es muy alto > 10 días	10
Costo de mantenimiento total alto Costo de reparación promedio para el mantenimiento es alto \$25.000 - \$ 50.000 Tiempo promedio para reparar es alto 5 a 10 días	8
Costo de mantenimiento total sobre el promedio Costo de medio reparación está sobre el promedio \$10.000 - \$25.000 Tiempo promedio para reparar es más alto que lo normal 3 a 4 días	6
Costo de mantenimiento promedio No se destaca como mantenimiento costoso \$5.000 - \$10.000 Tiempo promedio para reparar está en línea con otros activos en la faena 1 a 2 días	4
Costo de mantenimiento bajo Costo reparación promedio bajo \$2.000 - \$5.000 Tiempo promedio para reparar está por debajo del promedio	2
Costo mantenimiento insignificante Costo reparación promedio es bajo < \$2.000 Tiempo promedio para reparar es insignificante	1

Fuente: Elaboración propia en base a “Técnicas de jerarquización de activos. Análisis de criticidad” (Parra y Crespo 2024)

Tabla 3-7 Criterio de confiabilidad y escala de puntaje

Probabilidad de la Falla	
Frecuencia de la falla	Puntaje
< 1 mes	10
1 - 6 meses	8
6 - 12 meses	6
1 - 2 años	4
2 -5 años	2
> 5 años	1

Fuente: Elaboración propia en base a “Técnicas de jerarquización de activos. Análisis de criticidad” (Parra y Crespo 2024)

Tabla 3-8 Tabla ejemplo de una Matriz de criticidad de riesgo

Descripción	Puntaje Criticidad de Equipos	Criticidad ad ABM (CA, CB, CC)	CONSECUENCIA									PROBABILIDAD
			Ptje.	Po nd. 20%	Ptje.	Po nd. 30%	Ptje.	Po nd. 30%	Ptje.	Po nd. 20%	100%	100%
			Mantenición		Producción		Salud y Seguridad		Medioam.		Puntaje General Consecuenci a	Puntaje General Probabilidad
Chancador Primario	33	CB	10	2	10	3	1	0,3	1	0,2	5,5	6
Alimentador 501	33	CB	10	2	10	3	1	0,3	1	0,2	5,5	6
Alimentador 502	29,4	CC	10	2	8	2,4	1	0,3	1	0,2	4,9	6
CT 1001	44	CA	10	2	10	3	1	0,3	1	0,2	5,5	8
CT 1002	32,8	CB	6	1,2	8	2,4	1	0,3	1	0,2	4,1	8
Electroimán	30,6	CC	8	1,6	10	3	1	0,3	1	0,2	5,1	6
Picarocas	29,4	CC	10	2	8	2,4	1	0,3	1	0,2	4,9	6

Fuente: Referencia Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos 2024.

3.1.4. Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM

La gestión de servicios realizados por talleres externos subproceso con puntuación más baja con 2,5, las siguientes recomendaciones buscan asegurar el cumplimiento técnico, reducir tiempos improductivos y mejorar el control de costos y calidad.

Propuestas de Mejora Claves

- I. Homologación y Evaluación de Talleres Externos
 - Crear un sistema de certificación interna basado en capacitaciones técnicas, experiencia, cumplimiento legal, infraestructura y plazos.
 - Evaluación semestral y ranking de proveedores.
- II. Contratación con SLA (Acuerdos de Nivel de Servicio)
 - Definir SLA con tiempos de entrega, calidad garantizada, penalizaciones y cláusulas de reposición.
- III. Seguimiento digital de órdenes de trabajo externas
 - Registrar todas las OT externas en el GMAO.
 - Adjuntar informes técnicos, fotos y certificados.
 - Trazabilidad por código de activos.
- IV. Control de costos y presupuestos
 - Comparar cotizaciones, analizar desviaciones mensuales.
 - Mantener base de datos histórica de costos.
- V. Control de calidad post-servicio
 - Inspección técnica de equipos y componentes antes de su reintegro.
 - Registro de no conformidades y acciones correctivas.

VI. Indicadores de desempeño para talleres externos (Tabla 3-9)

Tabla 3-9 Indicadores desempeño propuestos Talleres externos

Indicador	Meta sugerida
Cumplimiento de plazos (%)	≥ 95%
Índice de retrabajos o reclamos	≤ 4% de 50
Evaluación de calidad del servicio (post)	≥ 8 de 10
Costo promedio por tipo de servicio	≤ meta presupuestaria

Fuente: Elaboración propia

VII. Capacitación y alineación con estándares internos

- Entregar manuales y procedimientos internos a prestadores de servicios.
- Verificar alineación con normas de seguridad y calidad.
- Beneficios esperados de las recomendaciones.
- Mayor transparencia y trazabilidad.
- Mejora en la calidad de servicio.
- Menos paradas por componentes defectuosos.
- Control efectivo de costos externos.

3.1.5. Análisis de problemas (manejo de fallas)

La “Gestión de las fallas” y “Métodos de análisis de fallas” fueron los subprocesos con puntuación más baja con 2,9 donde se realizarán las recomendaciones con el objetivo de reducir la ocurrencia de fallas críticas y no planificadas en los equipos principales de la ‘Planta de Chancado. Mediante una gestión estructurada de análisis de fallas y aplicación de metodologías de mantenimiento proactivo.

I. Diagnóstico inicial

- Identificación de los equipos críticos (Matriz de criticidad de riesgo).
- Análisis de reportes históricos de fallas mínimo 12 meses.
- Evaluación de fallas recurrentes sin solución efectiva.

II. Implementación de métodos de análisis de fallas

- Para fallas leves aplicación de “5 Porques”.

- Para fallas críticas recurrentes aplicación de análisis causa raíz (RCA) utilizando:
Diagrama Ishikawa (Causa-Efecto).
Diagrama de árbol lógico.
AMEF (Análisis modo efectos de falla).

III. Comité de análisis de fallas

- Reuniones mensuales para evaluar fallas críticas.
- Participación de personal de mantenimiento, operaciones y seguridad.
- Validación de causas raíz y aprobación de acciones correctivas.

IV. Registro y seguimiento de fallas

- Uso de base de datos digitalizado (GMAO o Excel).
- Datos por registrar:
Equipo y componente afectado.
Tipo de falla.
Causa raíz.
Acción correctiva con responsable y plazo.
Evidencia de cierre.

V. Indicadores claves rendimiento (KPIs)

- MTTF (Tiempo medio hasta la falla).
- TPFS (Tiempo promedio fuera de servicio).
- % de fallas analizadas con RCA cerrado.
- % de reincidencia de fallas.

VI. Plan de mejora tecnológica mediano plazo

- Implementación de sensores de vibración en equipos críticos.
- Fortalecimiento en uso de mantenimiento predictivo, análisis de aceite, ultrasonido y termografía.
- Integración de sistemas de alerta con GMAO.

En resumen, la propuesta establece una hoja de ruta clara y sistemática para fortalecer la gestión de fallas en la Planta de Chancado, la integración de metodologías de análisis, equipos multidisciplinarios y tecnología predictiva permitirá mejorar la disponibilidad de los activos, reducir costos de mantenimiento por fallas y aumentar la confiabilidad operacional.

3.1.6. Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico

La herramienta AMORMS evidencio el subproceso con puntuación más baja 2,7 los procesos de bodegas e inventarios, a continuación, se indica una propuesta de mejora que tiene por objetivo asegurar la disponibilidad eficiente de repuestos y materiales, mejorar la trazabilidad, reducir costos asociados a sobre stock u obsolescencia y contribuir a la continuidad operacional de la planta.

I. Clasificación y codificación.

- Implementar un sistema de codificación alfanumérica estandarizada por áreas, mecánica, eléctrica, instrumentación.
- Clasificación ABC/XYZ y evaluación de criticidad operativa de cada ítem mantenible.
- Definición de niveles óptimos de stock mínimo, máximo y punto de reposición.

II. Digitalización de control de inventario.

- Integración con GMAO o ERP SAP.
- Uso código de barras para entradas y salidas.
- Reportes automáticos rotación, consumo, vencimiento, alertas de reposición.

III. Gestión de repuestos críticos.

- Definición de lista oficial repuestos críticos con base en análisis RCM.
- Stock asegurado y control de vencimiento.
- Evaluación de contrato con proveedores para stock consignado o reposición express.

IV. Rediseño físico y 5S

- Optimización del layout interno, señalización, agrupación lógica, pasillos amplios.
- Aplicación de metodología 5S para mejorar orden, limpieza y estandarización.
- Mapa actualizado de ubicación de materiales por categoría y frecuencia de uso.

- V. Control y auditorias
 - Implementar inventarios cíclicos por categoría mensual.
 - Trazabilidad de movimientos por usuario/área mediante sistema digital.
 - Indicadores de exactitud de inventario y rotación como estándar de gestión.
- VI. Capacitación y cultura logística
 - Capacitación periódica al personal de bodega en gestión moderna de inventarios.
 - Involucramiento de usuarios, mantenimiento, operaciones en control de materiales.
 - Revisión y mejora continua de procesos documentados.
- VII. Indicadores claves KPIs Bodegas e inventarios:

Tabla 3-10 Indicadores de desempeño Bodegas e inventarios

Indicador	Meta Sugerida
Exactitud de inventario	≥ 95%
Disponibilidad de repuestos críticos	≥ 98%
Tasa de obsolescencia	≤ 5% anual
Tiempo promedio de entrega	≤ 20 minutos
Nivel de servicio	≥ 98% de requerimientos atendidos

Fuente: Elaboración propia

3.1.7. Procesos de revisión y mejora continua

El subproceso con puntuación más baja con 2,4 fue “Programas de desarrollo personal” se recomienda fortalecer las competencias técnicas, blandas y de liderazgo del personal de la planta de chancado promoviendo una cultura de mejora continua, seguridad y compromiso con lograr los objetivos organizacionales.

Propuesta de mejora

- I. Mapa de competencias y ruta de carrera
 - Definir perfiles de cargo con competencias técnicas esperadas.
 - Crear rutas de desarrollo por nivel: Operador, mantenedor, supervisor.
 - Evaluaciones anuales para detectar brechas de competencias.

- II. Plan de capacitación integral
 - Capacitaciones técnicas certificadas por fabricantes y proveedores (equipos críticos).
 - Formación en herramientas de gestión Lean,5S, RCA, RCM.
 - Habilidades blandas: Liderazgo, comunicación, manejo de conflictos.

- III. Evaluación y reconocimiento del desarrollo
 - Sistema de evaluación por desempeño y avance en plan de desarrollo.
 - Reconocimiento formal: certificados, premios, ascensos internos.

- IV. Cultura de aprendizaje y seguridad
 - Charlas semanales de seguridad y buenas prácticas (Charlas de 10 minutos).
 - Espacios de aprendizaje colaborativo.
 - Acceso a plataforma de aprendizaje digital con contenido técnico y de liderazgo.

- V. Indicadores claves KPIs Desarrollo personal:

Tabla 3-11 Indicadores de desempeño Plan desarrollo personal

Indicador	Meta sugerida
Porcentaje de cumplimiento de plan de capacitación	≥ 90%
Tasa de participación	≥ 80%
Retención de talento	≥ 95%
Evaluación de compromiso	≥ 85%

Fuente: Elaboración propia

3.1.8. Proceso de análisis de costos de ciclo de vida

El proceso de análisis de costos de ciclo de vida es una herramienta clave para evaluar de forma integral el impacto económico de los activos a lo largo de todo su período operativo, desde la adquisición y operación hasta el mantenimiento y la eventual disposición y reemplazo. Este análisis permite identificar y cuantificar todos los costos asociados incluyendo costos de mantenimiento, operación, sustitución, depreciación y posibles costos de inactividad lo cual resulta esencial para tomar decisiones informadas que maximicen la rentabilidad y prolonguen la vida útil de los equipos en un entorno tan exigente como el de la Planta chancado de mineral Mina El Soldado.

El diagnóstico realizado a través de la herramienta AMORMS reveló que el proceso de análisis de costos de ciclo de vida obtuvo la puntuación más baja, con un valor de 2,50 y 1,9 en la subcategoría “Gestión de costo del ciclo de vida de los activos” evidenciando deficiencias en la documentación, procedimientos de análisis, pronóstico de ciclo de vida de los activos físicos. Entre las principales causas de esta baja calificación se destacan la falta de aplicación de técnicas avanzadas y específicas para determinar el impacto económico de la confiabilidad en cada uno de los equipos, la ausencia de un equipo multidisciplinario especializado en este ámbito y la carencia de una formación intensiva que permita evaluar adecuadamente la depreciación de los equipos a lo largo de su vida útil de diseño proporcionada por el fabricante adaptado al contexto de la Mina El Soldado.. Además, se evidencia que existe un procedimiento global de análisis de costos que no ha sido adaptado completamente para la evaluación económica en esta área, lo cual repercute negativamente en la capacidad de optimizar el rendimiento de los activos y tomar acciones correctivas y preventivas de manera oportuna.

Se recomienda implementar el modelo de LCCA propuesto por el investigador Woodward, que permite determinar el impacto de los costos por falla de los activos físicos, mediante el siguiente proceso de evaluación:

- Definición del contexto operacional: Se identifican los parámetros de producción y modos de funcionamiento (plena carga, media carga, sin carga).
- Determinación de factores de utilización: Se analiza el tiempo de actividad, rendimiento y eficiencia en cada modo operativo.
- Identificación de alternativas viables: Se proponen y evalúan distintas estrategias operativas que cumplan con los objetivos del sistema.
- Clasificación de categorías de costos: Se organizan los costos en inversión inicial, desarrollo, adquisición, mantenimiento planificado y reemplazo.

- Evaluación mediante Costo de Confiabilidad Total (CCT): Se analizan fallas frecuentes, su impacto y los costos operativos asociados.
- Determinación de costos críticos: Se identifican los costos más relevantes y sus causas, proponiendo estrategias de control.
- Estimación de costos en valor presente: Se aplica una tasa de descuento para calcular el valor presente de cada alternativa considerando la vida útil.
- Selección de la mejor alternativa: Se elige la opción con menor costo total y mayores beneficios a lo largo del ciclo de vida, minimizando riesgos.

El modelo de Woodward incluye una ecuación que permite evaluar los costos totales generados por un activo durante todo su ciclo de vida.

$$CTCV(P): \sum CI + CO + CMP + CMC + CMM - VR$$

CTCV(P): Costos totales del ciclo de vida en valor presente (P), para una tasa de descuento (i) y una vida útil esperada (T).

Donde:

- CI : Costo inicial de adquisición en valor presente.
- CO : Costos operativos como valor anualizado.
- CMP : Costos de mantenimiento preventivo como valor anualizado.
- CMC : Costos de mantenimiento correctivo por falla, con tasa de falla constante como valor anualizado.
- CMM : Costo de mantenimiento mayor como valor futuro.
- VR : Valor de reemplazo como valor futuro.

El modelo proporciona un enfoque claro para cuantificar el impacto económico de las fallas, comenzando con la identificación de las fallas críticas y estimando el impacto en costo anual en áreas como producción, operaciones, medio ambiente y seguridad, para luego calcular el costo total durante la vida útil del activo [13].

3.1.9. USO DE INDICADORES FINANCIEROS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS PLANES DE ACCIÓN PROPUESTOS

En el presente caso de estudio, orientado a la evaluación de los costos de implementar los planes de acción de mejora en la gestión de mantenimiento de la planta de chancado, se utilizan indicadores financieros con el propósito de evaluar la conveniencia económica de la propuesta. El valor actual de costos (VAC) permite proyectar los costos totales de las iniciativas y traerlas a valor presente, considerando tanto la inversión inicial como los gastos operativos futuros. De manera complementaria, el costo anual equivalente (CAE) transforma dichos costos en un valor uniforme anual, lo que permite tener una visión y comparación de alternativas en horizontes del mismo plazo [14].

La siguiente tabla 3-12 presenta el detalle de los planes de acción propuestos para fortalecer la gestión de mantenimiento y aumentar la eficiencia operativa en la Planta concentradora área de chancado de la Mina El Soldado, estas acciones combinan formación, digitalización, control de calidad y tecnología predictiva, considerando tanto la inversión inicial 2,16 millones USD (CAPEX) como los costos recurrentes 770 mil USD (OPEX) en un horizonte de tres años, asociados a cada iniciativa. El cálculo del Valor Actual de Costos (VAC) alcanza los 4,07 millones USD, mientras que el Costo Anual Equivalente (CAE) se sitúa en 1,64 millones USD por año.

Cada plan de acción responde a las brechas identificadas por la herramienta AMORMS, además se visualiza el esfuerzo económico total requerido y constituye la base para la evaluación técnico económico posterior en la cual se comparan los costos de los planes de acción con los beneficios esperados por reducción de los costos de indisponibilidad por fallas (CIF).

Tabla 3-12 Tabla resumen planes de acción propuestos.

N°	Plan de acción	Inversión inicial estimada CAPEX(USD)	Justificación	Costos recurrentes (USD)OPEX
1	Capacitación en RCA, RCM	\$ 150.000	Curso externo para 30 personas, con certificación (RCA, RCM) a través de proveedor técnico especializado.	\$ 80.000
2	Optimización de bodega e inventario	\$ 250.000	Inversión en reestructuración física, señalética, código de barras, integración con GMAO/ERP, capacitación, software de trazabilidad.	\$ 80.000
3	Implementar sistema GMAO, manejo de datos	\$ 500.000	Adquisición/implementación de GMAO + licencias, parametrización, integraciones, formación, carga histórica de datos.	\$ 100.000
4	Mejora en control de calidad de talleres externos	\$ 150.000	Desarrollo de sistema de control, auditoría, capacitaciones técnicas, implementación de SLA.	\$ 60.000
5	Capacitación en técnicas de LCCA	\$ 100.000	Cursos certificados en análisis de costos de ciclo de vida (LCC/Woodward) para 20 personas, con enfoque técnico-financiero.	\$ 50.000
6	Fortalecer competencias técnicas del personal de mantenimiento	\$ 200.000	Programas anuales de formación en mantenimiento predictivo, inspección, seguridad, softwares técnicos, instructivos e-learning y formación 5S.	\$ 100.000
7	Implementar sensores IoT en Chancadores 1°, 2°, 3°	\$ 400.000	Sensores de vibración, temperatura, presión, flujo, tonelaje conexión a GMAO para chancadores, pica rocas, Incluye instalación, puesta en marcha, software de monitoreo parámetros.	\$ 100.000
8	Modernización detección inchancables	\$ 200.000	Integrar cámaras IA cintas transportadoras críticas.	\$ 150.000
9	Revisión estrategia de paradas especiales (Overhaul)	\$ 100.000	Revisión de presupuestos, logística, repuestos, control de calidad, seguridad y estandarización comisionamiento.	
10	Asesorías externas	\$ 110.000	Para la implementación de los planes de acción, estandarización de procedimientos de trabajo	\$ 50.000
	Inversión inicial CAPEX	\$ 2.160.000		
	Costo total OPEX	\$ 770.000		
	Tasa descuento	0,10		
	Horizonte	3		
	VA Costos	\$1.914.876		
	VAC (VA costos+Inversion)	\$4.074.876		

CAE	\$1.638.568
-----	-------------

Fuente: Elaboración propia en planilla Excel

Tabla 3-13 Matriz RACI Asignación de responsables para la implementación planes de acción derivados del diagnóstico AMORMS.

N°	Plan de acción	Responsable (R)	Aprobador (A)	Consultado (C)	Informado (I)
1	Capacitación en RCA y RCM	Jefe de Mantenimiento	Gerente de Planta	RRHH	Comité de Confiabilidad
2	Optimización de bodega e inventario	Ingeniero de Planificación	Superintendente de Mantenimiento	Abastecimiento	Finanzas
3	Implementación del sistema GMAO y gestión de datos	Ingeniero de Sistemas de Mantenimiento	Gerente de mantención	Área Informática	Equipo de Confiabilidad
4	Mejora en control de calidad de talleres externos	Supervisor de Mantenimiento	Superintendente de Mantenimiento	Área de contratos	Gerencia de mantención
5	Capacitación en técnicas de LCCA	Ingeniero de Confiabilidad	Superintendente de planificación y Confiabilidad	Control de Gestión	Gerencia de mantención
6	Fortalecer competencias técnicas del personal de mantenimiento	Jefe de Mantenimiento	Gerente de mantención	Área de capacitación	Superintendente mantención
7	Implementación de sensores IoT en chancadores primario, secundario y terciario	Ingeniero Instrumentista	Superintendente de Mantenimiento	Área Confiabilidad	Jefatura de Turno
8	Modernización de sistemas de detección de inchancables mediante cámaras IA	Ingeniero de Confiabilidad	Gerente de Planta	Gerente Proyectos	Comité de Innovación
9	Revisión de la estrategia de paradas especiales (Overhaul)	Ingeniero de Planificación	Superintendente de planificación y confiabilidad	Logística	Gerente de mantención
10	Asesorías externas para estandarización de procedimientos de trabajo	Coordinador de Confiabilidad	Gerente de mantención	Consultor Externo	Superintendente mantención

La matriz RACI (Responsible, Accountable, Consulted, Informed) es una herramienta de gestión organizacional ampliamente utilizada en el ámbito de la administración de proyectos y mantenimiento industrial. Su objetivo principal es definir de manera clara y estructurada las funciones y responsabilidades de los actores involucrados en cada tarea o proceso, evitando omisiones o duplicidades. De acuerdo con el Project Management Institute [15], este instrumento permite establecer los niveles de autoridad y participación de cada integrante del equipo, fortaleciendo la comunicación interna, la coordinación interdisciplinaria y la rendición de cuentas. (Véase Anexo D: Cronograma implementación planes de acción año inicial)

3.2. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA PLANES DE ACCIÓN PROPUESTOS EN PLANTA DE CHANCADO

Tras la aplicación de la herramienta de diagnóstico AMORMS y el análisis de los hallazgos obtenidos, se elaboró un conjunto de recomendaciones y planes de acción orientados a minimizar las brechas detectadas, fortalecer las áreas clave y optimizar el desempeño global del proceso de gestión de mantenimiento. Asimismo, se contempla la realización de una evaluación técnica y económica que permita proyectar el impacto potencial en los indicadores de desempeño, en caso de implementar las mejoras propuestas, además se realizara una sensibilización de escenarios del Plan de mejora y reducción de fallas para alcanzar la disponibilidad promedio de la industria sobre el 90% que impacte positivamente en el costo de indisponibilidad por falla (CIF)

3.2.1. Cálculo de indicadores propuestos en Planta Chancado

Costos de indisponibilidad por fallas, este indicador mide el impacto económico ocasionado por los efectos que ocasiona un modo de falla en un periodo específico [16]. Se mide entre unidad monetaria y el tiempo. (dólares/año, dólares/mes, dólares/día, etc.)

$$CIF = FF \times TPFS \times (CP + CD)$$

Para obtener el costo penalización por hora se obtiene la información sobre el promedio de cantidad de camiones en la descarga del Chancador primario, lo cual varía entre 3 y 6 camiones por hora, dependiendo de factores como la ley del mineral, dureza y tamaño de la roca lo que hace una descarga más rápida o lenta utilizando el martillo pica rocas para agilizar el proceso de trituración. No se considera el costo directo de materiales, repuestos, mano de obra, en este supuesto porque depende del tipo de falla y su impacto en la planta.

Se consideran para este cálculo 3 camiones por hora, con capacidad de 230 toneladas, lo que da un total de:

$$250 \times 3 = 750 \text{ Ton}/\text{Hr}$$

Por cada tonelada de mineral procesado se obtienen 8 kilogramos de cobre fino concentrado con ley de 0,9% es decir:

$$750 \text{ Ton} \times 8 \text{ kg} = 6.000 \text{ kg}$$

6.000 kilogramos de Cobre fino se obtienen por hora en la Planta.
Valor de venta promedio por libra de cobre fino 4,3 USD para el año [17].
Valor de venta por kilogramo de cobre fino:

$$1 \text{ kg} = 2,2 \text{ lb} \times 4,3 \text{ USD} = 9,4\text{USD}$$

Costo de penalización por hora asociado a paradas no programadas por fallas, sin interrupción en la alimentación a las Moliendas, pero con una reducción del tonelaje procesado al 50 % de la capacidad de producción, sustentada por las reservas disponibles en el stock pile. Esta condición operativa real será utilizada como base para el cálculo del CIF en el presente caso de estudio.

$$3000 \text{ kg Cu}/\text{Hr} \times 9,4 \text{ USD} = 28.200 \text{ USD}/\text{Hr}$$

Se obtienen datos para el cálculo de indicadores, facilitados por el área de Confiabilidad para la Planta de Chancado y a juicio de expertos en mantenimiento y gestión de proyectos en la empresa se determina para este caso de estudio considerar escenario optimista de mejora de indicadores del 35%, lo que impacta directamente en el CIF, con el fin de alcanzar una disponibilidad sobre el promedio nacional de chancado 90% [17].

- MTTF real = 30,7 horas, MTTF Proyectado un aumento del 35% = 10,7 horas = 41,44 horas.
- MTTR real = 5 horas, MTTR Proyectado una disminución del 35% = 1,75 horas = 3,25 horas.
- Disponibilidad mecánica real = 85 %, Disponibilidad mecánica proyectada = 92%

Con estos datos se puede obtener la frecuencia de falla real anual de la planta de chancado:

$$FF: 1/MTTF = 1/30,7 \text{ hr} = 0,032 \text{ hr} \times 8760 \text{ hr/año} = 280 \text{ fallas/año}$$

Se obtienen 280 fallas por año en Planta de Chancado (Primario, secundario, terciario) y el costo por indisponibilidad por falla.

$$CIF \text{ real} = 280 \text{ fallas/año} \times 5 \text{ hrs} \times 28.200 \text{ USD/hr} = 39.480.000 \text{ USD/año}$$

3.2.2. Frecuencia de falla proyectado después de implementar planes de acción

Frecuencia de fallas en unidad de medida por cantidad de fallas en tiempo (Años, meses, días) Se estima un aumento del MTTF en un 35% y una disminución del mismo porcentaje del MTTR al primer año de la posible implementación de los planes de acción en un escenario optimista que permita también llegar a una disponibilidad sobre el 90%

$$FF = 1/MTTF = 1/41,44 \text{ hrs} = 0,0241 \text{ hrs} \times 8760 = 211,38 \text{ fallas/año}$$

$$\begin{aligned} CIF \text{ proyectado} &= 211,38 \text{ fallas/año} \times 3,25 \text{ hrs} \times 28.200 \text{ USD/año} \\ &= 19.372.977 \text{ USD/año} \end{aligned}$$

Ahorro proyectado después de implementar las recomendaciones:

$$39.480.000 - 19.371.553 = 20.108.447 \text{ USD/año}$$

Beneficio neto esperado = ahorro – Costo total planes de acción

$$20.108.447 - 4.074.876 = 16.033.571 \text{ USD}$$

Retorno de la inversión esperado, se obtiene mediante el beneficio neto esperado dividido por el costo total de la inversión en los planes de acción:

$$ROI = 16.032.147 / 4.074.876 \times 100 = 393\%$$

Periodo de recuperación esperado de la inversión,

$$Payback = 4.074.876 / 16.032.147 = 0,25 \times 12 = 3,05 \text{ meses}$$

Tabla 3-14 Tabla resumen evaluación técnica y económica indicadores.

PIs	Antes de implementar AMORMS	Después de implementar AMORMS
MTTF /TPO	30,7 horas	41,44 horas
TPFS/MTTR	5 horas	3,25horas
FF (Frecuencia de falla) (Planta Chancado)	280 fallas/año	211,38 fallas/año
D (Disponibilidad Planta Chancado)	85%	92%
CIF (Costos de indisponibilidad por falla Planta Chancado)	39.480.000 USD/año	19.371.553 USD/año
Costo total planes de acción	\$ 4.074.876 USD	
Ahorro esperado al implementar Planes de acción	39.480.000-19.371.553-4.074.876 = 16.033.571 USD	

Fuente: Elaboración propia [18]

La tabla 3-14 evidencia una mejora proyectada de indicadores de desempeño a través del diagnóstico AMORMS y los planes de acción propuestos en la planta de Chancado. Se observa un incremento en la confiabilidad y mejor mantenibilidad de los equipos, una reducción en la frecuencia de fallas y aumento de la disponibilidad, lo que impacta directamente en la disminución del CIF.

Tabla 3-15 Escenarios probables de aplicación planes de acción

		ESCENARIOS PROBABLES					
	REAL	5%	15%	35%	50%	80%	100%
MTTF >	30,7	32,235	35,305	41,445	46,05	56,795	66,005
MTTR <	5	4,75	4,25	3,25	2,50	1,20	0,75
FF <	285	272	248	211	190	154	133
Disponibilidad >	85,99%	87,16%	89,26%	92,73%	94,85%	97,93%	98,88%
CIF <	\$ 39.480.000	\$ 36.401.489	\$ 29.737.601	\$ 19.371.553	\$ 13.411.075	\$ 5.219.445	\$ 2.806.969
Costo penalización USD/hr	\$ 28.200						
VAC Planes de acción (USD)		\$ 4.074.876	\$ 4.074.876	\$ 4.074.876	\$ 4.074.876	\$ 4.074.876	\$ 4.074.876
Ahorro Acumulado (USD)		\$ -996.365	\$ 5.667.523	\$ 16.033.571	\$ 21.994.049	\$ 30.185.679	\$ 32.598.155
ROI		-24%	139%	393%	540%	741%	800%
PAYBACK (Meses)		-49,08	8,63	3,05	2,22	1,62	1,50

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 3-15 presenta la proyección de resultados técnicos y económicos obtenidos a partir de la simulación de distintos niveles de implementación de los planes de acción propuestos. Se considera como escenario base un aumento del MTTF en un 35 % y una disminución proporcional del MTTR, condiciones que permiten alcanzar una disponibilidad mecánica superior al 90 %, valor que corresponde al promedio de desempeño de referencia en la industria del cobre nacional. Los resultados muestran una tendencia positiva, en la cual el incremento de la confiabilidad y la reducción del tiempo medio de reparación generan una disminución significativa en la frecuencia de fallas y en los costos de indisponibilidad (CIF). De manera complementaria, el análisis evidencia la correlación directa entre la mejora de los indicadores técnicos y la rentabilidad del sistema, reflejada en un Retorno sobre la Inversión (ROI) superior al 390 % y un periodo de recuperación (Payback) cercano a tres meses, lo que demuestra la factibilidad técnica y económica de las medidas propuestas en un escenario favorable para optimizar la gestión del mantenimiento en la Planta de Chancado de Mina El Soldado.

3.2.3. Interpretación de los resultados para un escenario favorable (35%)

1. Confiabilidad (MTTF/TPO)

Incremento del 35%, de 30,7 a 41,4 horas lo que significa que los activos operan por más tiempo antes de fallar. Esto sugiere mejoras en mantenimiento preventivo y predictivo.

2. Mantenibilidad (MTTR)

Reducción del 35%, de 5 a 3,25 horas lo que implica que el tiempo para restaurar el servicio ante una falla ha mejorado significativamente. Puede ser resultado de una mejor gestión de recursos, capacitación y estandarización de procedimientos.

3. Frecuencia de Fallas

Disminución del 24,5%, de 280 a 211,38 fallas al año lo que reduce la presión sobre el área de mantenimiento y permite un uso más eficiente de recursos.

4. Disponibilidad inherente

Mejora de 7 puntos porcentuales de 85% a 92%, lo que impacta directamente en la capacidad productiva de la planta y es un KPI estratégico.

5. Costos por Indisponibilidad

La caída de más de 20 millones de USD en pérdidas por fallas muestra que las mejoras operacionales tienen una repercusión económica significativa.

6. Evaluación económica

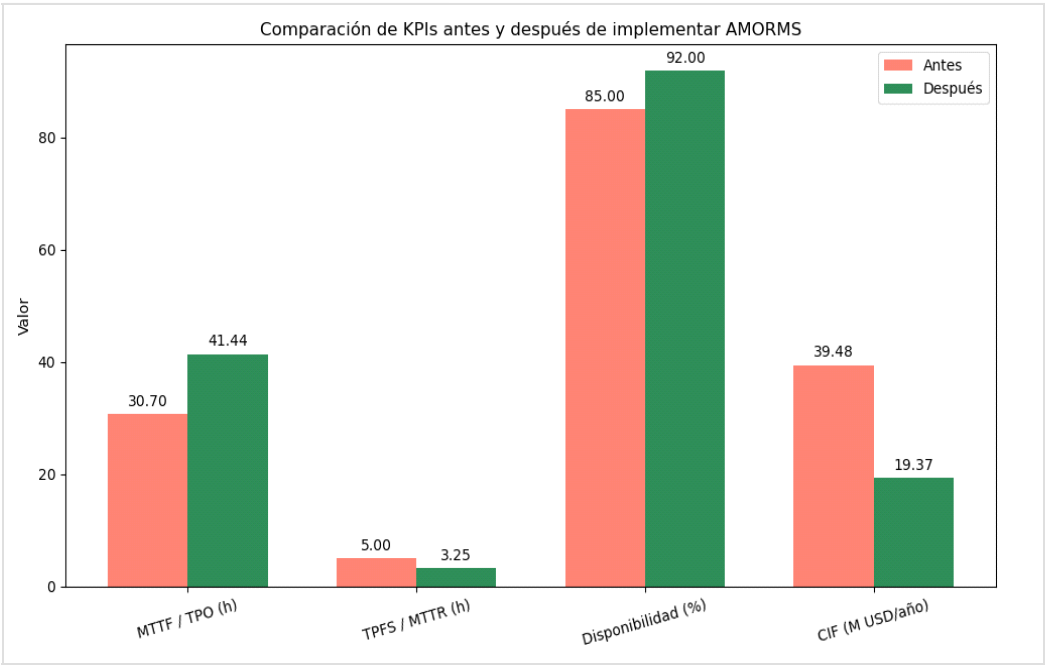
A pesar de invertir 4.074.876 USD, se proyecta una reducción del CIF por 19.371.553 USD se puede lograr un beneficio neto anual de 16.033.571 USD después de descontar

el costo de los planes, esto evidencia que la inversión no solo se podría autofinanciar, sino que produce retornos económicos significativos y sostenibles lo que valida la implementación del modelo AMORMS desde una perspectiva financiera.

7. Indicadores financieros

Retorno sobre la inversión ROI es igual a 393% esto significa que por cada dólar invertido se generan casi cuatro dólares de beneficio neto, lo que valida la alta rentabilidad de los planes de acción.

Periodo de recuperación Payback es igual a 3 meses significa que la inversión inicial se recupera en un plazo muy corto, lo que minimiza el riesgo financiero y asegura una recuperación rápida.



Fuente: Elaboración propia resultados obtenidos

Gráfico 3-1 Comparación indicadores técnicos y económicos

La implementación del modelo AMORMS podría mejorar los KPIs técnicos y económicos analizados. Existe una clara relación entre la mejora en confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad con la reducción de fallas y costos. La mejora en la gestión del mantenimiento puede optimizar el desempeño técnico, y además puede generar un ahorro económico sustancial.

3.2.4. Análisis del Peor Escenario (5 %)

El escenario del 5 % representa una condición de baja efectividad en la implementación de los planes de acción propuestos, reflejando una adopción parcial de las mejoras y una gestión del cambio incipiente dentro del área de mantenimiento. Bajo este contexto, los indicadores técnicos y financieros evidencian un desempeño insuficiente para garantizar la sostenibilidad operativa y la rentabilidad esperada.

Indicadores técnicos

En este escenario, el MTTF se incrementa de 30,7 h a 32,23 h, equivalente a una mejora marginal del 5 % respecto a la condición base. No obstante, este incremento resulta insuficiente para compensar las pérdidas derivadas de un MTTR promedio de 4,75 h, el cual apenas reduce en un 5 % el tiempo medio de reparación.

La frecuencia de fallas (FF) disminuye levemente de 285 a 272 eventos anuales, una reducción del 4,6 %, mientras que la disponibilidad operacional solo mejora hasta 87,16 %, aún por debajo del umbral de referencia industrial de 90 % establecido para plantas de chancado (Codelco, 2020).

Estas cifras indican que el nivel de confiabilidad del sistema se mantiene crítico, con alta reincidencia de fallas y escasa efectividad de las acciones preventivas. La limitada aplicación de metodologías como RCM (Reliability Centered Maintenance) o RCA (Root Cause Analysis) impide generar mejoras estructurales en los modos de falla recurrentes.

Indicadores económicos

Desde una perspectiva económica, el Costo de Indisponibilidad por Falla (CIF) se reduce levemente de USD 39,48 millones a USD 36,4 millones, lo que equivale a un ahorro de USD 3,08 millones, muy inferior al costo de inversión de los planes (VAC = USD 4,07 millones). En consecuencia, el escenario 5 % presenta un resultado financiero negativo, con un ROI de -24 % y un Payback no recuperable (-49 meses).

Esto implica que el capital invertido no logra generar retorno, debido a la falta de impacto tangible en la reducción de fallas o en la mejora de la disponibilidad. Desde la perspectiva del ciclo de vida del activo (LCC), el escenario representa un estado económicamente ineficiente, donde los costos de mantenimiento superan los beneficios generados, afectando directamente los márgenes de rentabilidad operativa.

Interpretación general

El análisis del peor escenario sugiere que la implementación parcial de los planes de acción, por limitaciones presupuestarias, resistencia al cambio organizacional o carencia de capacitación técnica, impide alcanzar los objetivos estratégicos definidos por la empresa en términos de equilibrio entre rendimiento, riesgo y costo.

En este nivel, el sistema de mantenimiento se mantiene reactivo y dependiente del correctivo, sin alcanzar la madurez operativa necesaria para sostener un modelo predictivo o basado en confiabilidad, lo que expone al activo a fallas no planificadas, baja eficiencia y pérdidas financieras significativas.

Conclusión del análisis

El escenario del 5 % confirma que una implementación deficiente o parcial de las acciones propuestas no genera mejoras sostenibles en el desempeño técnico ni económico de la Planta de chancado. En consecuencia, se reafirma la necesidad de ejecutar de manera integral las estrategias propuestas, priorizando la formación del personal, la planificación del mantenimiento, confiabilidad de componentes, modernización de equipos, procedimientos y la gestión de datos confiables para garantizar un retorno positivo de la inversión y una mejora real en la eficiencia de los activos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

El presente trabajo de titulación cumplió con el objetivo general de evaluar la gestión de mantenimiento en el área de Chancado de la Planta Concentradora Mina El Soldado mediante la aplicación de la herramienta de diagnóstico AMORMS (Asset Management, Operational Reliability & Maintenance Survey). Dicha herramienta permitió identificar brechas, determinar el nivel de madurez de los procesos de mantenimiento y proponer planes de acción orientados a optimizar la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia de los activos físicos, en concordancia con los lineamientos del modelo corporativo SHE Way y los estándares internacionales de gestión de activos ISO 55000.

Asimismo, se alcanzaron satisfactoriamente los objetivos específicos planteados. En primer lugar, se contextualizó el entorno operacional de Anglo American Chile y se desarrolló el marco teórico sustentado en el Modelo de Gestión de Mantenimiento (MGM) y en la herramienta AMORMS, ambos enfocados en la integración entre los objetivos estratégicos de la organización y la gestión de activos físicos. En segundo lugar, se aplicó la auditoría AMORMS en la Planta de Chancado, obteniéndose un nivel de madurez promedio de 3,06, correspondiente a un proceso estándar con presencia de buenas prácticas y oportunidades de mejora. Finalmente, se formularon y evaluaron técnica y económicamente los planes de acción, demostrando su viabilidad operativa y rentabilidad económica en un escenario favorable evidenciada por un ROI de 393 %, un periodo de recuperación (Payback) de tres meses y un beneficio neto anual proyectado de 16,03 millones de dólares. Estos resultados validan la factibilidad técnica y económica de las recomendaciones propuestas.

Entre las fortalezas del proceso se destaca la consolidación del modelo corporativo de gestión de activos de Anglo American, la implementación del ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act) como base del mejoramiento continuo y la sólida cultura organizacional orientada a la seguridad, la sostenibilidad y la excelencia operacional. En contraste, las debilidades detectadas se concentraron en los subprocesos de análisis de costos del ciclo de vida, soporte logístico e informático, gestión de fallas, gestión de talleres y programas de desarrollo de competencias técnicas, los cuales requieren fortalecimiento en la estandarización documental, trazabilidad de la información técnica y evaluación de la efectividad de los planes de mantenimiento.

Un aspecto metodológico de especial relevancia fue la incorporación del análisis FODA, el cual permitió sintetizar los factores internos (fortalezas y debilidades) y externos (oportunidades y amenazas) que inciden en la gestión del mantenimiento. Este análisis complementó los resultados técnicos obtenidos con la herramienta AMORMS, proporcionando una visión estratégica integral que vincula el desempeño operativo con el contexto organizacional y sectorial. En consecuencia, el análisis FODA se constituyó en un instrumento de apoyo a la toma de decisiones, al facilitar la priorización de acciones correctivas y preventivas bajo un enfoque de sostenibilidad, eficiencia y alineamiento con los objetivos corporativos.

Del mismo modo, la evaluación de escenarios de los planes de acción representó una herramienta analítica clave para estimar el impacto de las medidas propuestas bajo distintos grados de implementación. Esta evaluación permitió identificar los efectos proyectados sobre los indicadores técnicos y financieros tales como MTTF, MTTR, frecuencia de fallas (FF), disponibilidad (D) y costos por indisponibilidad (CIF), evidenciando que la mejora simultánea de la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad genera reducciones significativas en los costos operacionales y aumenta la rentabilidad global del sistema productivo. La modelación de escenarios facilitó, además, la cuantificación de los beneficios esperados y la gestión del riesgo financiero asociado a las inversiones en mantenimiento.

En síntesis, la aplicación de la herramienta AMORMS, complementada con el análisis FODA y la evaluación de escenarios, proporcionó un diagnóstico integral que permitió conocer el estado de madurez del mantenimiento, identificar las brechas estructurales y establecer lineamientos de mejora basados en evidencia técnica y económica. Los resultados demostraron que una gestión de mantenimiento orientada a la confiabilidad y sustentada en la mejora continua contribuye directamente al incremento de la disponibilidad operativa, la reducción de los costos por fallas y la creación de valor sostenible para la organización.

Finalmente, se recomienda institucionalizar la auditoría AMORMS como parte del sistema de gestión de activos de Anglo American, incorporándola dentro del ciclo anual de evaluación de desempeño operativo. Del mismo modo, se sugiere fortalecer las competencias técnicas del personal mediante la capacitación continua en metodologías avanzadas de mantenimiento, tales como RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), RCA (Análisis de Causa Raíz) y LCC (Análisis de Costos del Ciclo de Vida). Asimismo, resulta prioritario potenciar la digitalización de los procesos de mantenimiento a través de sistemas integrados como SAP PM, GMAO y tableros de

control en tiempo real que faciliten la gestión de indicadores estratégicos. La adopción sostenida de estas acciones permitirá consolidar una gestión de mantenimiento proactiva, resiliente y alineada con los principios de excelencia operacional, sostenibilidad y creación de valor que caracterizan la filosofía corporativa de Anglo American.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN

1. Anglo. (2 de jul de 2023). *re-imaginando la minería*. Obtenido de Chile Angloamerican: <https://chile.angloamerican.com/>
2. Parra, C. A., & Crespo, A. (2016). *AMORMS: Asset Management, Operational Reliability & Maintenance Survey* [Archivo Excel]. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/350517086/AMORMS-Original-v1-2016-Parra-Crespo>
3. Anglo american Chile. (julio de 2024). *Nuestro Propósito y Valores*. Obtenido de Chile Anglo american: <https://chile.angloamerican.com/acerca-de-nosotros/nuestro-proposito-y-valores.aspx?form=MG0AV3>
4. Muños Torres, K. V. (2020). *Aplicación del modelo de operación corporativo en trabajos Pioneros Donoso 2, operación Los Bronces*. Chile: Anglo American.
5. Parra, C., & Crespo, A. (2015). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad*. España: Edita: INGEMAN.
6. Carlos, P., & Crespo Márquez, A. (2019). *Modelo integral de Gestión del Mantenimiento (MGM), alineado con los pilares del conocimiento de la certificación CMRP (Certified Maintenance & Reliability Professional) y con el proceso de Gestión de Activos (ISO 55000)*. Lima: ResearchGate.
7. Buenaño Moyano, L. F., Villagrán Cáceres, W. J., & Santillán Mariño, C. J. (2019). *Utilización de la auditoría de mantenimiento y el análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) como herramientas para la identificación de problemas en la gestión de mantenimiento de locomotoras en empresas de ferrocarriles*. Ecuador: Revista Científica FIPCAEC (Fomento de la investigación y publicación científico-técnica multidisciplinaria).
8. PARRA, C. y CRESPO, A. (2024). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos. Técnicas de auditoria en los procesos de gestión de mantenimiento*. Tercera edición. Departamento de mecánica UTFSM & INGEMAN.
9. Cáceres Núñez, A. (2020). *Descripción del proceso de área de Chancado*. Arequipa: Library.
10. Labora, S. y. (marzo de 2024). *Chancador primario tipos y características*. Obtenido de Labora salud y prevención: https://laboraprevencion.com/chancador-primario/?expand_article=1.
11. Bertín, F. F., & M, F. (2014). Realizar un plan de mantención preventiva del chancador primario Fuller en División Codelco Andina. *Universidad Austral de Chile*, 1-2.
12. Moraga Ávila, P. E., Rivera Pavés, L., & Solo Contreras, M. A. (2010). *EVALUAR Y PROPONER LA DISMINUCIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN LA PLANTA DE CHANCADO SECUNDARIO-TERCIARIO EN DIVISIÓN EL TENIENTE DE CODELCO CHILE*”. *Universidad Académica de humanismo cristiano*, 5-10.

13. PARRA, C. y CRESPO, A. (2024). Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos. Proceso de análisis de costes de ciclo de vida (ACCV). Tercera edición. Departamento de mecánica UTFSM & INGEMAN
14. Pablo Sandoval (2023). [https://corpfinanzas.blogspot.com/2023/05/Valor actual de los costos \(VAC\) y Análisis incremental](https://corpfinanzas.blogspot.com/2023/05/Valor%20actual%20de%20los%20costos%20(VAC)%20y%20Análisis%20incremental).
15. Project Management Institute. (2024). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide) (7th ed.). Project Management Institute.
16. PARRA, C. y CRESPO, A. (2024). Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos. Análisis de fiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y riesgo. Tercera edición. Departamento de mecánica UTFSM & INGEMAN.
17. Nota técnica <https://www.cnep.cl/wp-content/uploads/2018/06/Nota-t%C3%A9cnica-3.-Estudio-de-productividad-en-la-gran-miner%C3%ADa-del-cobre-%E2%80%93-Benchmark-de-indicadores-de-productividad-MatrixConsulting.pdf>
18. Pinto F, Parra C. Paper aplicación de herramienta de diagnóstico AMORMS en Planta de envasado de GLP.

Normas de referencia:

- ISO 19011 Directrices para la auditoria sistemas de gestión ISO 31000 Gestión del riesgo.
- ISO 55000 Gestión de activos Aspectos generales.
- ISO 14224 Recopilación e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento. UNE-EN 62740 Análisis de causa raíz.
- SAE J1011/J1012 Mantenimiento centrado en confiabilidad.
- UNE-EN 15341 Indicadores claves de rendimiento de mantenimiento.
- UNE-EN 60300 3-3 Gestión de la confiabilidad, guía de aplicación cálculo de coste del ciclo de vida.

ANEXOS

ANEXO A: STANDARD SHE WAY



ANEXO B: 11 PILARES DEL ASSET MANAGEMENT ANGLO

Los 11 Pilares del Asset Management Anglo (AM).

- I. Estrategias de Mantenimiento
- II. Tácticas de mantenimiento
- III. Monitoreo de condiciones
- IV. Gestión del trabajo
- V. Eliminación de defectos
- VI. Instalaciones, herramientas y talleres
- VII. Paradas, detenciones o proyectos de mantenimiento
- VIII. Gestión de contratistas
- IX. Gestión de ciclo de vida de los activos
- X. Utilización del ERP (SAP)
- XI. Gestión del rendimiento.

ANEXO C: CRITERIOS HERRAMIENTA AMORMS

- I. Gestión de Activos, Objetivos del Negocios (KPIS) y organización de soporte
 - Visión Gerencial & Liderazgo
 - Plan Integral de Gestión de Activos
 - Políticas Integrales de Mantenimiento (Gerencial)
 - Estructura Organizacional
 - Control Financiero (KPIS claves del negocio)
- II. Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos)
 - Gestión de Riesgos
 - Priorización de equipos
 - Gestión de los procesos de Seguridad, Salud y Ambiente
- III. Análisis de problemas (manejo de fallas)
 - Gestión de las fallas
 - Equipos multidisciplinarios de optimización
 - Métodos de Análisis de Fallas
- IV. Procesos de programación y planificación
 - Programación y planificación
 - Procedimientos e instructivos de trabajos
 - Planes de Mantenimiento por Condición (técnicas predictivas)
 - Técnicas de optimización en las áreas de Confiabilidad, Mantenimiento y Operaciones
- V. Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico
 - Sistema de soporte informático de mantenimiento (software de mantenimiento)
 - Sistema de control de documentos
 - Manejo de repuestos, materiales (logística)
 - Procesos de administración de la bodegas e inventarios
- VI. Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM
 - Indicadores de desempeño técnico
 - Programas de revisión de los planes de mantenimiento
 - Procesos de control de las operaciones
 - Control de contratistas
 - Gestión de talleres

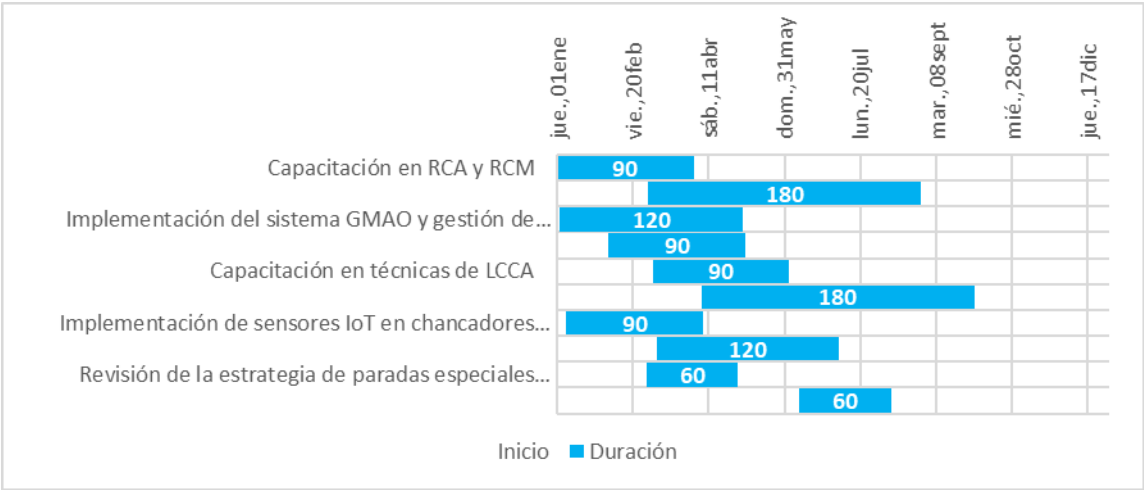
VII. Proceso de análisis de costos de ciclo de vida

- Asset Life Cycle Cost Management
- Manejo de información en el Ciclo de Vida del Activo
- Mantenimientos especiales (paradas de plantas, overhauls...)

VIII. Procesos de revisión y mejora continua.

- Control de Calidad
- Programas de mejora continua
- Programas de desarrollo de personal

ANEXO D: CRONOGRAMA IMPLEMENTACIÓN DE LOS 10 PLANES DE ACCIÓN EN DÍAS EL AÑO INICIAL



ANEXO E: RESULTADO GENERAL APLICACIÓN DE 150 PREGUNTAS DE CUESTIONARIO

FAQ	Escala 1-5	Pounded	Pounded
¿Existen directrices corporativas sobre el proceso de Gestión de Activos?	3,70	3,58	3,5
¿Existe conciencia de la Gestión de Activos y su administración? (Roles / Alcances / Responsabilidades)	3,50		
¿Existe un control detallado sobre los objetivos del negocio desde la Gerencia Corporativa?	3,60		
¿Tiene la Gerencia Corporativa un liderazgo integral y sostenible sobre el negocio? (Control Sostenible)	4,00		
¿La Gerencia Corporativa, las gerencias intermedias y los niveles técnicos y de ejecución comparten de forma eficiente el liderazgo del negocio? (Empoderamiento)	3,10		
¿La organización cuenta con un modelo integral de gestión de activos incluida en su visión y misión?	3,70	3,56	
¿Existe un plan integral diseñado para implantar los diversos procesos propuestos por el modelo de gestión de activos?	3,50		
¿Existe un plan de Gestión de Activos a largo plazo y está integrado con los objetivos y metas del negocio?	3,50		
¿Las técnicas de ingeniería de confiabilidad y mantenimiento están vinculadas con los procesos propuestos por el modelo de gestión de activos?	3,80		
¿Se tiene definido un proceso integral de auditoría y mejora continua del modelo de gestión de activos a ser implementado?	3,30		
¿Existe una política de mantenimiento integrada con la Gestión Corporativa del negocio?	3,70	3,74	
¿Las políticas de mantenimiento de corto, mediano y largo plazo, están ajustadas a la realidad del negocio?	3,60		
¿La política de mantenimiento ha sido creada de acuerdo con las políticas estratégicas del negocio?	3,60		
¿Las políticas de operación y mantenimiento están vinculadas e integradas con los objetivos y metas del negocio?	4,00		
¿Las políticas de Mantenimiento y Confiabilidad están integradas con la visión y misión del negocio?	3,80		
¿Existe de forma general una estructura organizacional bien definida?	3,90	3,38	
¿Existe una estructura organizacional eficiente para gestionar los procesos de mantenimiento y confiabilidad (están claras las responsabilidades de los grupos de confiabilidad)?	3,00		
¿Existe una estructura organizacional eficiente para gestionar las operaciones?	3,30		
¿La Organización tiene grupos específicos relacionados con la implantación de técnicas en las áreas de Confiabilidad y Mantenimiento?	3,60		
¿La Organización tiene una estructura administrativa y técnica, orientada a soportar el proceso integral de Gestión de Activos?	3,10		

¿Existe un procedimiento bien desarrollado para gestionar el control financiero (KPIS claves del negocio)?	3,40	3,36	3,4
¿Los procesos de control financiero se aplican a partir del análisis de los KPIS claves de forma continua y no de forma eventual?	3,50		
¿El sistema de control financiero es monitoreado y auditado de forma eficiente?	3,40		
¿El control financiero está totalmente vinculado con las metas y objetivos de la organización?	3,20		
¿El proceso de control de los KPIS financieros están integrado con los procesos indicadores técnicos y económicos de las áreas de mantenimiento y confiabilidad?	3,30		
¿Está definida de forma clara la política integral de gestión de Riesgos alineada con el modelo de Gestión de Activos?	3,00	3,14	
¿Existe un proceso integral de gestión para el control del riesgo en las áreas de mantenimiento y confiabilidad?	2,80		
¿Existe un proceso eficiente para comunicar los diferentes niveles de riesgos que están expuestos los integrantes de las áreas de mantenimiento y confiabilidad?	3,20		
¿Los riesgos en los procesos de mantenimiento y confiabilidad, son analizados, revisados y actualizados en forma regular?	3,40		
¿La organización utiliza modelos de gestión de riesgo como base para la toma de decisiones en las áreas de mantenimiento y confiabilidad?	3,30		
¿La organización ha desarrollado un modelo de criticidad de equipos basados en Riesgo	3,50	3,22	
¿El modelo de Riesgo priorización de equipos esta alineado con los objetivos del negocio	3,30		
¿La información utilizada para estimar la frecuencia y la de las fallas es tomada de una fuente confiable y veraz	3,40		
¿El modelo de priorización de equipos es un modelo estándar para toda la organización y es utilizado en todas las áreas operacionales de la organización	3,10		
¿Los resultados de jerarquización de equipos se utilizan para tomar decisiones de mejora en la operación y mantenimiento de los activos?	2,80		
¿Existe un plan eficiente de emergencias y contingencias en la organización?	3,70	3,74	
¿Se ha comunicado al personal sobre las potenciales consecuencias sobre los eventos que pueden afectar seguridad, la salud y el ambiente?	3,80		
¿Se tiene desarrollada una política de emergencias y seguridad bien documentada y comunicada?	4,00		
¿Los planes de emergencias y seguridad son revisados, mejorados y actualizados de forma continua?	3,50		
¿Los planes de emergencias están certificados por organizaciones locales e internacionales reconocidas?	3,70		
¿Existe un procedimiento estándar para gestionar las fallas en toda la organización?	3,40	2,92	3,0
¿El procedimiento de análisis de fallas es de fácil aplicación y es aceptado por toda la organización?	2,80		
¿Existe un proceso eficiente sobre la información recopilada en los análisis de fallas (proceso eficiente de documentación y registro)?	2,70		

¿El proceso de análisis de fallas es llevado a cabo por equipos interdisciplinarios que permitan validar con hechos reales las causas encontradas?	2,90			
¿El proceso de gestión de fallas tiene indicadores previamente definidos y analizados, que permitan medir la eficiencia y la efectividad de las recomendaciones emitidas (el proceso de análisis de fallas está incorporado a un proceso de mejoramiento continuo)?	2,80			
¿Los trabajadores están bien organizados y motivados para el logro de los objetivos del negocio?	3,40	3,24		
¿El ambiente de trabajo es propicio para realizar análisis que promuevan cambios y procesos de mejora?	3,80			
¿Existe un proceso eficiente de comunicación entre la gerencia de la organización y el resto de los niveles administrativos?	3,50			
¿La estructura organizacional de los trabajadores está orientada a soportar el proceso integral de gestión de activos?	3,00			
¿Existe un proceso estándar que promueva a los trabajadores a participar en equipos multidisciplinarios?	2,50			
¿La organización utiliza un método estándar de análisis de fallas para toda la organización?	2,50	2,90		
¿La metodología de Análisis de Fallas permite identificar el área de oportunidad en función de nivel de Riesgo provocado por los modos de fallas?	3,30			
¿La metodología de Análisis de Fallas propone un procedimiento que permita validar de forma eficiente las hipótesis planteadas (validación con hechos reales)?	3,10			
¿Las recomendaciones generadas de los análisis de fallas son seleccionadas a partir de un procedimiento de Análisis Costo Riesgo Beneficio?	2,90			
¿Se evalúan y auditan los resultados reales de las acciones recomendadas una vez finalizados los análisis de fallas?	2,70			
¿Existe definida una estrategia a nivel gerencial de optimización del mantenimiento?	3,40	3,80	3,4	
¿Existe un proceso detallado y eficiente de programación y planificación del mantenimiento?	4,10			
¿Se cumplen de forma eficiente las Estrategias de Planificación y Programación para el mantenimiento de los equipos?	4,00			
¿Las estrategias de planificación y programación del mantenimiento están alineadas con el plan de negocio de la organización?	3,90			
¿Las estrategias de planificación y programación del mantenimiento se analizan y se auditan los resultados de aplicación de estas estrategias?	3,60			
¿Existe una estructura que permita documentar los procedimientos e instructivos de trabajo?	3,20	3,04		
¿Existe un marco general de referencia y soporte para generar documentación sobre los procedimientos e instructivos de trabajo?	3,20			
¿Existe un sistema de control documental alineado con algún estándar local o internacional?	2,90			
¿Los procedimientos de trabajo son utilizados activamente por toda la fuerza de trabajo?	3,10			
¿Las mejoras a los procedimientos de trabajo son realizadas e incluidas en los planes de adiestramiento del personal?	2,80			

¿Existe un proceso eficiente de gestión del mantenimiento por condición?	3,70	3,72	
¿Se realizan actividades de mantenimiento por condición de forma organizada y continua?	3,90		
¿Existe un plan de monitoreo de condiciones basado en el nivel de criticidad por Riesgo de los activos de la organización?	3,90		
¿El monitoreo de condiciones es parte integral de una estrategia de optimización del mantenimiento?	3,80		
¿El proceso de monitoreo de condiciones de la compañía es auditado y se le hace seguimiento a la efectividad de las recomendaciones emitidas?	3,30		
¿La organización ha desarrollado un modelo guía de implantación de las metodologías de Confiabilidad y Mantenimiento, orientado a cumplir con los objetivos del negocio?	3,30	3,02	
¿La organización cuenta con un grupo de soporte encargado de administrar y facilitar las herramientas de Confiabilidad y Mantenimiento?	3,10		
¿Se aplican de forma organizada y constante los diferentes métodos de Confiabilidad y Mantenimiento (RCM, RCA, TPM, RBI, Lean)?	3,00		
¿Se miden, auditan y confirman los resultados de las aplicaciones de los métodos de Confiabilidad y Mantenimiento?	2,80		
¿Se revisan y actualizan los métodos de Confiabilidad y Mantenimiento (se toman en cuenta las novedades, actualizaciones y desarrollo de nuevos métodos de optimización)?	2,90		
¿Existe un sistema eficiente de soporte informático para el mantenimiento?	2,60	3,24	2,9
¿El diseño de las órdenes de trabajo dentro del software es adecuado y se utiliza de forma eficiente?	3,50		
¿El sistema de órdenes de trabajo ayuda a mejorar los procesos de programación y planificación del mantenimiento?	4,00		
¿El software de mantenimiento es utilizado en forma extensa por toda la organización, incluyendo todos los tipos de paros (correctivos, preventivos, por condición, detenciones mayores, seguimiento de componentes de fallas, etc.)?	3,40		
¿El sistema de soporte informático de mantenimiento genera de forma automática indicadores técnicos y económicos, los cuáles son ampliamente usados por toda la organización para mejorar la toma de decisiones?	2,70		
¿Existe un sistema general de administración de documentos técnicos de mantenimiento (planos, P&D, flujogramas de procesos, manual de operaciones, etc.)	2,40	2,66	
¿Existe un sistema de administración de documentos que integre la información del mantenimiento con las otras áreas de la organización?	2,70		
¿Existe un sistema de administración de documentos que cumpla con alguna norma o estándar de calidad?	2,70		
¿El sistema de administración de la documentación está totalmente implementado de forma informática?	2,70		
¿El sistema de administración de documentos, está en línea para toda la organización y se usa de forma amplia y eficiente?	2,80		

¿El proceso de general de abastecimiento y logística de repuestos es eficiente?	2,70	2,80	3,1
¿El proceso de abastecimiento y planificación de materiales es organizado y tiene un flujo ordenado y bien controlado?	3,20		
¿El proceso de manejo y planificación de materiales está desarrollado para toda la planta?	3,20		
¿El proceso de abastecimiento y planificación de materiales está integrado de forma eficiente con el área de mantenimiento?	2,40		
¿El proceso de Abastecimiento y planificación de materiales tiene indicadores de optimización integrados a nivel de los objetivos del negocio que son evaluados, analizados, utilizados y auditados de forma continua?	2,50		
¿La administración del inventario es llevada a cabo por una organización bien estructurada para esta función?	2,90	2,74	
¿La administración del inventario es llevada y controlada por una herramienta de soporte informática?	3,30		
¿El proceso de administración de la bodega y manejo de inventarios, incluye indicadores de optimización de repuestos utilizando técnicas de análisis de Riesgo?	2,20		
¿El software de administración de los repuestos, genera de forma automática, indicadores de análisis de inventarios que son utilizados para optimizar los diversos procesos de la gestión de materiales?	3,10		
¿Los procesos de administración de abastecimiento y manejo de inventarios están orientados a lograr los objetivos del proceso de Gestión de Activos?	2,20		
¿Existe un proceso de eficiente de registro de la información histórica de los equipos?	2,70	3,36	
¿Se realizan de forma eficiente análisis de mejora sobre la información histórica de fallas y operación de los equipos?	3,20		
¿Existe un programa estándar de análisis de indicadores implementado de forma eficiente?	3,60		
¿Se realizan análisis sistemáticos de fallas a partir de indicadores de riesgo previamente definidos?	3,40		
¿La organización evalúa y toma decisiones a partir de indicadores de mejora en confiabilidad y mantenibilidad de forma eficiente (MTTF, MTTR, Disponibilidad, ¿etc.)?	3,90		
¿Se realizan análisis de mejora sobre los diferentes tipos de mantenimientos ejecutados?	3,10	2,98	
¿Se toman acciones sobre los análisis realizados a los diferentes tipos de mantenimientos ejecutados?	3,00		
¿El análisis de los mantenimientos ejecutados, es realizado de forma eficiente y sistemática?	3,20		
¿Las recomendaciones realizadas a partir del análisis de los mantenimientos ejecutados, son tomadas en cuenta y se auditan los resultados de las acciones emitidas?	2,80		
¿Se realiza algún proceso de benchmarking en relación a los indicadores de mantenimiento y confiabilidad?	2,80		
¿Existe un procedimiento dónde se detallen los procesos operacionales?	3,20	3,54	
¿Se relacionan los procesos operacionales con todas actividades de producción?	3,60		
¿Se relaciona las estrategias operacionales con las estrategias del mantenimiento?	3,50		

¿Están vinculadas de forma eficiente las metas operacionales con la planificación de las actividades de mantenimiento?	3,70	2,98	2,5
¿Están integradas las estrategias de operación y producción con los procesos de programación y planificación del mantenimiento?	3,70		
¿El uso de contratistas es eficiente y se tienen modelos de contratos establecidos por áreas y tipos de trabajo?	3,00		
¿Los contratos de corto y largo plazo están totalmente estandarizados?	3,00		
¿Existe un proceso de validación y auditoría de las credenciales de las contratistas que participan en los diferentes procesos de mantenimiento y operación?	3,20		
¿Existen un proceso eficiente de evaluación del desempeño real de los contratistas, que sea constantemente monitoreado y que permita tomar acciones sobre las desviaciones encontradas?	2,60		
¿Los contratos de negocios establecidos con los contratistas están totalmente alineados en términos de estrategias con los objetivos y metas del negocio?	3,10	2,46	
¿La organización cuenta con un servicio eficiente: propio o contratado de talleres para actividades de mantenimiento?	2,90		
¿Existe un proceso interno que permita evaluar el desempeño de los servicios prestados por los talleres?	2,20		
¿Existe un modelo de contrato estándar desarrollado para todos los servicios solicitados a los talleres?	2,60		
¿Existe un procedimiento específico que permita evaluar los tiempos de entrega, los costos y la calidad de ejecución de los servicios ofrecidos por los talleres?	2,30		
¿Existe un modelo de auditoría y benchmarking certificado bajo una norma local o internacional, que permita evaluar los Servicios ofrecidos por los talleres?	2,30		
¿Existe un procedimiento eficiente de análisis del ciclo de vida de los activos?	1,80	1,92	
¿Se analiza y se pronostica el ciclo de vida de los activos de la organización?	1,70		
¿Existe un proceso de evaluación del impacto económico de la Confiabilidad en el ciclo de vida de los activos (Modelos Woodard, Willans and Scott, etc.)?	2,00		
¿El proceso de Análisis de Ciclo de vida de los activos es llevado a cabo por equipo multidisciplinario de toda la organización en dónde participan los grupos de operaciones y mantenimiento?	2,10		
¿Se documenta de forma eficiente la información del ciclo de vida de los activos y se auditan los resultados de Ciclo de Vida de los equipos seleccionados?	2,00		
¿La administración de la organización revisa regularmente los factores claves de su sistema de gestión de activos (incluyendo política de gestión de activos, estrategia, objetivos, y planes) para asegurar su eficacia, adecuación y conveniencia a lo largo de todo el Ciclo de Vida?	2,90	2,64	
¿La información económica y técnica (factores claves de la gestión de activos) es considerada para la revisión, seguimiento y sustitución de los equipos?	2,60		

¿La organización usa la información económica y técnica para mejorar continuamente su sistema de gestión de activos global a lo largo de todo el Ciclo de Vida?	2,80		
¿La organización asegura que los resultados de las revisiones realizadas a los factores claves de la gestión de activos, esté disponible, para que la alta dirección tome en cuenta los resultados obtenidos, durante el análisis y la revisión de los planes estratégicos de la organización a lo largo de todo el Ciclo de Vida?	2,40		
¿La organización mantiene los registros de las revisiones de los factores claves de la gestión de activos y comunica información relevante a los empleados, proveedores de servicios contratados u otras áreas relacionadas (interesadas - stakeholders) con el proceso de gestión de activos a lo largo de todo el Ciclo de Vida?	2,50		
¿Las detenciones mayores son implementadas en forma ordenada bajo un modelo de gestión de grandes paradas de plantas?	3,10		
¿Las detenciones mayores son implementadas por grupos a dedicación exclusiva?	2,80		
¿Las detenciones mayores son programadas, planificadas y ejecutadas bajo el uso de herramientas de optimización de confiabilidad y riesgo?	3,20		
¿Existe un proceso de registro de las detenciones mayores que permita recopilar las lecciones aprendidas y todas las actividades son especificadas y estandarizadas?	2,70		
¿Existe una estrategia de integral de optimización de los procesos paradas de plantas, se auditan y se realizan análisis de benchmarking y de mejora continua?	2,90		
¿Existe un modelo eficiente de gestión de la calidad dentro del área de mantenimiento?	2,20		
¿Existe el conocimiento de que la calidad contribuye a la mejora del desempeño de los procesos de mantenimiento y confiabilidad?	3,00		
¿La organización del mantenimiento está alineada con los programas de mejoramiento de la calidad?	2,80		
¿La organización de mantenimiento ha sido acreditada en alguna norma relacionada con la calidad?	2,60		
¿La compañía está acreditada en alguna norma de la calidad y se ha incorporado el proceso de gestión de la calidad dentro del mantenimiento?	3,20		
¿Las mejoras en los procesos de mantenimiento y confiabilidad son llevadas de forma ordenada y actualizadas bajo un modelo específico?	3,20		
¿Existe un marco de referencia para incluir mejoras en los procesos de mantenimiento y confiabilidad?	2,90		
¿Existe un programa de seguimiento a las propuestas de mejoras en las áreas de mantenimiento y confiabilidad?	3,20		
¿El proceso de Mejora continua es una práctica común en las áreas mantenimiento y confiabilidad?	3,30		
¿El proceso de mejora continua es una práctica estándar de todos los negocios que conforman el proceso industrial analizado?	3,20		

¿La organización cuenta con un departamento que se encargue del proceso de adiestramiento formal al personal de toda la organización?	2,20	2,30	
¿Se provee de adiestramiento eficiente al personal nuevo de la organización?	2,10		
¿Existe un plan de entrenamiento específico y ajustado a todo el ciclo de vida del trabajador?	2,50		
¿El programa de adiestramiento de todo el personal está adecuado al puesto de trabajo y está orientado a lograr los objetivos del negocio?	2,60		
¿El programa de entrenamiento incluye formación en las áreas de técnicas modernas de mantenimiento, confiabilidad y gestión de activos?	2,10		