

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Mejoramiento del programa de mantenimiento
preventivo para mejorar la disponibilidad de los jumbos
en la unidad Andaychagua - Sandvik**

Jerry Eustaquio Bullon Olivas

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de suficiencia profesional



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Jersoon Jesús Lazo Huaynalaya
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 7 de Agosto de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Mejoramiento del Programa de Mantenimiento Preventivo para Mejorar la Disponibilidad de los Jumbos en la Unidad Andaychagua - Sandvik

Autor:

Jerry Eustaquio Bullon Olivas – EAP, Ingeniería Mecánica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 16 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | |
|--|--|-----------------------------|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI ☒ | NO ☐ |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 10 | SI ☒ | NO ☐ |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI ☒ | NO ☐ |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

AGRADECIMIENTO

Llegar hasta aquí no ha sido un camino fácil, pero ha sido un viaje lleno de aprendizajes, esfuerzo y, sobre todo, el apoyo invaluable de personas que han dejado una huella en mi vida.

A mi familia, porque sin su amor, paciencia y aliento incondicional, este logro no habría sido posible. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por cada palabra de ánimo y por estar siempre ahí, en cada desafío y en cada pequeño triunfo.

A mis docentes y asesores, quienes, con su guía, exigencia y consejos, me han ayudado a crecer profesionalmente. Sus enseñanzas no solo me han servido para este trabajo, sino que se han convertido en pilares fundamentales en mi camino.

A mis compañeros y colegas, por las risas en los momentos de estrés, por el apoyo cuando parecía que el tiempo no alcanzaba y por compartir este viaje, que sin duda ha sido más llevadero gracias a ustedes.

A todos aquellos que, de alguna manera, han sido parte de esta etapa: amigos, mentores y personas que, con un consejo o una palabra de aliento, me impulsaron a seguir adelante.

Este logro no es solo mío, sino de todos los que han estado a mi lado. A cada uno de ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Con gratitud y cariño.

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis amados progenitores, ya que ellos fueron quienes me apoyaron en todo momento durante la elaboración de este informe.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Agradecimiento	iv
Dedicatoria	v
Índice de contenidos	vi
Lista de figuras	viii
Lista de tablas	x
Resumen	xi
Abstract	xii
Introducción	xiii
Capítulo I	15
Aspectos generales de la empresa y/o institución	15
1.1. Datos generales de la institución.....	15
1.1.1. Sandvik del Perú S.A.	15
1.2. Actividades principales de la institución y/o empresa	16
1.3. Reseña histórica de la institución y/o empresa	16
1.4. Organigrama de la institución y/o empresa.....	18
1.5. Visión y misión.....	19
1.6. Bases legales o documentos administrativos	19
1.7. Descripción del área donde realiza sus actividades profesionales	20
1.8. Descripción del cargo y de las responsabilidades del bachiller en la institución y/o empresa.....	20
Capítulo II	23
Aspectos generales de las actividades profesionales	23
2.1. Antecedentes o diagnóstico situacional	23
2.2. Identificación de oportunidad o necesidad en el área de actividad profesional	26
2.3. Objetivos de la actividad profesional.....	30
2.4. Justificación de la actividad profesional	31
2.5. Resultados esperados	31
Capítulo III	35
Marco teórico	35
3.1 Bases teóricas de las metodologías o actividades realizadas	35
3.1.1 Mantenimiento preventivo y predictivo.....	35
3.1.2 Indicadores de mantenimiento	36
3.1.3 Técnicas de diagnóstico en equipos de perforación.....	38
3.1.4 Gestión del backlog de mantenimiento.....	39
3.1.5 Análisis de confiabilidad y causa raíz (RCA).....	40

3.1.6	Protocolos de seguridad en mantenimiento	41
3.1.7	Optimización de costos en mantenimiento	42
3.1.8	Automatización y Digitalización en Mantenimiento	43
Capítulo IV		45
Descripción de actividades profesionales		45
4.1	Enfoque de las actividades profesionales	45
4.1.1	Alcance de las actividades profesionales	47
4.1.2	Entregables de las actividades profesionales	47
4.2	Aspectos técnicos de la actividad profesional.....	48
4.2.1	Metodología	48
4.2.2	Técnicas	49
4.2.3	Instrumentos.....	50
4.2.4	Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades.....	51
4.3	Ejecución de las actividades profesionales	53
4.3.1	Cronograma de actividades realizadas.....	53
4.3.2	Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales	55
Capítulo V		56
Resultados		56
5.1.	Resultados finales de las actividades realizadas	56
5.2.	Logros alcanzados.....	60
5.3.	Dificultades encontradas.....	61
5.4.	Planteamiento de mejoras	63
5.4.1.	Metodologías propuestas	63
5.4.2.	Descripción de la implementación	63
5.5.	Análisis	64
5.6.	Aporte del bachiller en la empresa y/o institución.....	65
Conclusiones		66
Recomendaciones		67
Referencias		68
Anexos		72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama de la institución.....	18
Figura 2. Programa mensual de mantenimiento preventivo de equipos trackless Sandvik en la Unidad Andaychagua – enero 2023.....	23
Figura 3. Detalle de actividades de mantenimiento correctivo y preventivo por sistema, subsistema y componente en Jumbo Sandvik – Unidad Andaychagua	24
Figura 4. Gráfico de tendencias de disponibilidad mecánica.....	25
Figura 5. Vista lateral del Jumbo Sandvik en operación en la Unidad Andaychagua	26
Figura 6. Componentes principales del sistema hidráulico del Jumbo Sandvik	27
Figura 7. Gráfico de tendencias en el área de mantenimiento	30
Figura 8. Resultados esperados de mejora de disponibilidad mecánica de los equipos de perforación.....	32
Figura 9. Resultados esperados de reducción de fallas inesperadas	32
Figura 10. Resultados esperados de cumplimiento de mantenimientos preventivos y predictivos.	33
Figura 11. Resultados esperados de reducción del backlog de mantenimiento	33
Figura 12. Resultados esperados de mejora de la seguridad laboral.....	34
Figura 13. Etapas de la evaluación de desempeño operacional	44
Figura 14. Flujo de trabajo para la simulación y análisis de datos operacionales.....	44
Figura 15. Sandvik DD311	46
Figura 16. Sandvik DL331.....	46
Figura 17. Sandvik DS311	46
Figura 18. Estrategia integral para el mantenimiento preventivo de jumbos.....	47
Figura 19. Metodología para la mejora del mantenimiento preventivo de jumbos sandvik	48
Figura 20. Ciclo de análisis y mejora continua de datos.....	49
Figura 21. Metodología de diagnóstico y análisis de confiabilidad para equipos de perforación	49
Figura 22. Diagrama de Pareto – mantenimiento J417 05-26.....	50
Figura 23. Histograma – consumo de lubricantes.....	50
Figura 24. Flujo de recursos para mantenimiento y operaciones.....	51
Figura 25. Diagrama del flujo de mantenimiento preventivo aplicado al Jumbo	55
Figura 26. Pareto para el N.º de fallas por equipo	58
Figura 27. Tiempo medio para reparación – enero/agosto.....	60
Figura 28. Tiempo medio entre falla – enero/agosto	60
Figura 29. Impacto de la verificación de actividades de mantenimiento	62

Figura 30. Proceso de registro diario y su influencia en el mantenimiento	62
Figura 31. Secuencia de mantenimiento preventivo propuesto para mejorar la disponibilidad	63
Figura 32. Proceso de Implementación de mejoras en mantenimiento.....	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tendencias de disponibilidad mecánica	25
Tabla 2. Mejora gradual de disponibilidad mecánica propuesta	27
Tabla 3. Número de fallas entre enero y octubre.	27
Tabla 4. Porcentaje de actividades de mantenimiento realizadas.....	28
Tabla 5. Backlog de tareas pendientes entre enero y octubre.....	28
Tabla 6. Capacitación técnica del personal.	29
Tabla 7. Seguridad	29
Tabla 8. Instrumentos que utilizar en el desarrollo de las actividades de mantenimiento preventivo	51
Tabla 9. Cronograma de actividades	53
Tabla 10 .Fallas registradas en los equipos	56
Tabla 11. Registro de cumplimiento y verificación de actividades de mantenimiento	59
Tabla 12. Registro de los operarios	59
Tabla 14. Estrategias de mantenimiento	61

RESUMEN

El presente documento describe el procedimiento desarrollado para formular propuestas de mejora en las actividades de mantenimiento, con el propósito de incrementar la disponibilidad de los jumbos en la unidad Andaychagua – Sandvik. Para tal fin, se empleó una base de datos que registra las actividades de mantenimiento ejecutadas en los distintos equipos de perforación.

El análisis consistió en evaluar la base de datos para identificar las actividades que generaron el mayor porcentaje de tiempo de paro no programado y determinar las causas raíz asociadas a dichas fallas. Una vez establecidas estas causas, se efectuó su análisis técnico y se plantearon soluciones específicas en función de su naturaleza.

Los resultados evidencian que la mayoría de los fallos se originaron por errores humanos. En consecuencia, se proponen medidas orientadas a minimizar este tipo de incidencias, las cuales contemplan la incorporación de procedimientos de inspección sistemática y la implementación de controles de calidad más rigurosos.

Palabras clave: mantenimiento, indicadores, control de calidad.

ABSTRACT

This document describes the procedure developed to formulate improvement proposals for maintenance activities aimed at increasing the availability of jumbos at the Andaychagua – Sandvik unit. For this purpose, a database containing records of maintenance activities performed on various drilling equipment was utilized.

The analysis involved examining the database to identify the activities that generated the highest percentage of unplanned downtime and determining the root causes associated with these failures. Once these causes were identified, a technical analysis was conducted, and specific solutions were proposed according to their nature.

The results revealed that most of the failures were caused by human error. Consequently, measures are proposed to minimize such incidents, including the implementation of systematic inspection procedures and more rigorous quality control measures.

Key Words: maintenance, indicators, quality control

INTRODUCCIÓN

El desempeño eficiente del área de mantenimiento es fundamental para asegurar la continuidad operativa y el cumplimiento de los objetivos estratégicos de una organización. No obstante, diversas limitaciones, tales como la baja disponibilidad mecánica, la alta frecuencia de fallas inesperadas, el incumplimiento de los mantenimientos programados y la acumulación de un backlog de tareas pendientes, impactan de manera significativa en la productividad y los costos operativos. Estas problemáticas también inciden en la seguridad laboral y en el nivel de preparación técnica del personal, lo que dificulta el desarrollo sostenible del área.

La optimización de un plan de mantenimiento para los equipos que lo requieren constituye un proceso gradual que debe ejecutarse a lo largo del tiempo. Ello obedece a que la configuración tecnológica inicial de los equipos puede sufrir modificaciones, ya sea por la adquisición de nueva maquinaria o por la adaptación de los equipos existentes mediante la incorporación de componentes o mecanismos adicionales que les permitan cumplir o superar sus funciones de manera adecuada. En tales casos, resulta indispensable efectuar ajustes en el plan de mantenimiento, modificando las actividades previamente establecidas en función de las intervenciones realizadas sobre los equipos.

Este estudio tiene como objetivo analizar las principales deficiencias del área de mantenimiento y plantear estrategias de mejora orientadas a incrementar la disponibilidad mecánica, reducir la incidencia de fallas operativas, optimizar la ejecución de mantenimientos, priorizar la gestión del backlog y fortalecer la seguridad y la capacitación del personal técnico. A través de un enfoque basado en indicadores de gestión y tendencias estadísticas, se busca proponer soluciones viables que contribuyan a alcanzar los niveles de desempeño proyectados.

Los indicadores de mantenimiento empleados para determinar la criticidad de una actividad asociada a un equipo se vinculan directamente con el tiempo en que dicho equipo, o alguno de sus componentes, ha presentado una falla o un desgaste excesivo. En el caso de elementos mecánicos que fallen y que no estén diseñados para un reemplazo frecuente (a diferencia de insumos como lubricantes, refrigerantes o refacciones), es necesario aplicar un análisis de modo y efecto de falla (AMFE) que permita identificar las causas y consecuencias asociadas a dichas fallas.

El presente trabajo se estructura en diversas secciones, que incluyen el análisis del estado actual del área de mantenimiento, el diseño de estrategias de mejora sustentadas en metodologías técnicas y la evaluación de los resultados esperados. Estas acciones están

orientadas a garantizar la sostenibilidad de las operaciones, optimizar el uso de los recursos y generar un entorno de trabajo seguro y eficiente, contribuyendo así al desarrollo integral de la organización.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA Y/O INSTITUCIÓN

1.1. Datos generales de la institución

1.1.1. Sandvik del Perú S.A.

Sandvik del Perú S.A. es una empresa reconocida por su liderazgo en el sector de tecnología y maquinaria para minería, operando bajo el RUC N.º 20100134706. Fundada en 1960, inició sus operaciones en el Perú en 1985, consolidándose como un referente en la industria minera nacional. Su sede principal se ubica en la Av. República de Panamá 3597, distrito de San Isidro, Lima, desde donde se gestionan las actividades vinculadas con la comercialización y el soporte técnico de sus productos y servicios a nivel nacional. Esta ubicación estratégica facilita un contacto directo con sus clientes y permite garantizar una atención eficiente en las distintas regiones del país.

Para establecer comunicación con Sandvik del Perú, los interesados pueden llamar al teléfono (+51) 1 416-4900 o escribir al correo electrónico contacto.pe@sandvik.com. Asimismo, la empresa dispone de su sitio web oficial (www.home.sandvik), en el que se proporciona información detallada acerca de sus productos, servicios y novedades. Sandvik del Perú se distingue por su compromiso con la innovación tecnológica, la eficiencia operativa y la calidad en el soporte técnico, valores que han consolidado su posicionamiento en el mercado y han contribuido al desarrollo sostenible del sector minero.

A lo largo de su trayectoria, la compañía ha demostrado su capacidad para atender las demandas específicas de la industria mediante soluciones integrales que optimizan el rendimiento y la productividad de sus clientes. Además de la comercialización de maquinaria

avanzada, Sandvik del Perú prioriza la prestación de un servicio posventa de alta calidad, asegurando que los equipos y soluciones ofertados cumplan con los más altos estándares de confiabilidad y desempeño. De este modo, la empresa reafirma su compromiso con el crecimiento y la sostenibilidad del sector minero en el país.

1.2. Actividades principales de la institución y/o empresa

Las principales actividades desarrolladas por Sandvik del Perú son:

Venta de equipos y maquinaria para la minería

Sandvik suministra perforadoras, trituradoras, excavadoras y otros equipos diseñados específicamente para operaciones mineras. Estos equipos están fabricados para operar en condiciones extremas y optimizar la eficiencia de los procesos extractivos.

Servicios de mantenimiento y reparación

Además de la comercialización de equipos, Sandvik ofrece servicios de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo a través de su red de técnicos especializados en equipos de perforación, transporte y trituración. Estos servicios incluyen la gestión integral de repuestos y la atención posventa, garantizando la continuidad operativa de los equipos.

Soluciones de automatización y digitalización

La empresa es líder en la implementación de tecnología de automatización en minería, brindando soluciones como sistemas de monitoreo remoto de equipos, plataformas de gestión de mantenimiento y herramientas de control de operaciones mineras basadas en Big Data.

Consultoría y soporte técnico

Sandvik proporciona servicios de asesoría técnica orientados a mejorar la eficiencia operativa, la productividad y la seguridad en las operaciones mineras, respaldando así a sus clientes en la adopción de mejores prácticas y tecnologías.

1.3. Reseña histórica de la institución y/o empresa

Sandvik fue fundada en 1862 en Suecia por Göran Fredrik Göransson. Inicialmente, se dedicó a la fabricación de acero; sin embargo, con el transcurso del tiempo, la empresa diversificó sus operaciones hacia la manufactura de herramientas de corte, equipos para minería, materiales de construcción y productos de ingeniería.

En el Perú, Sandvik inició operaciones en 1985 como parte de su estrategia de expansión hacia mercados estratégicos de América Latina. En sus inicios, la compañía centró

sus actividades en la venta de herramientas de corte y equipos de minería. Posteriormente, amplió su portafolio incorporando servicios de mantenimiento especializado y soluciones tecnológicas avanzadas que optimizan las operaciones mineras en el país.

Actualmente, Sandvik del Perú se posiciona como uno de los principales proveedores de soluciones tecnológicas y maquinaria para la minería en el país, operando bajo un enfoque basado en la sostenibilidad, la seguridad y la eficiencia en todos sus procesos.

1.4. Organigrama de la institución y/o empresa

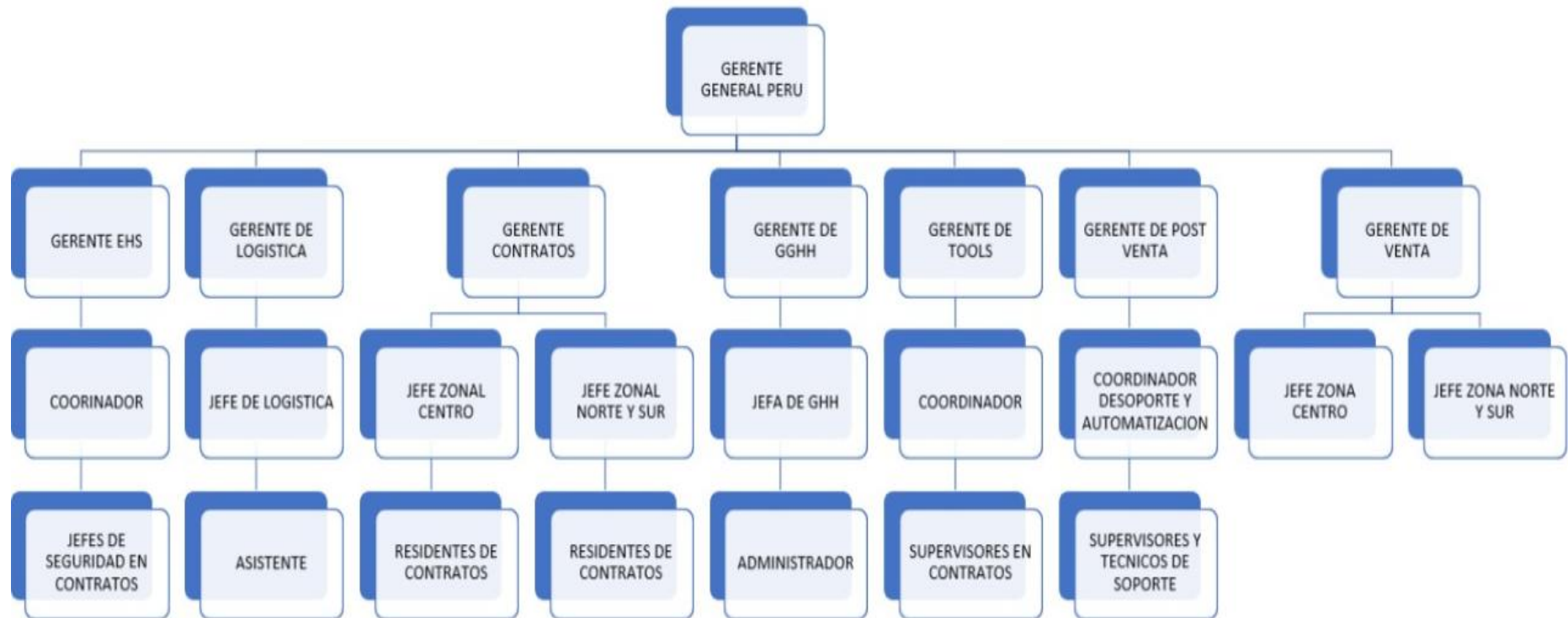


Figura 1. Organigrama de la institución
Fuente: Tomada de (1)

1.5. Visión y misión

Misión

Sandvik se dedica a proporcionar soluciones tecnológicas avanzadas en los sectores de minería, construcción, ingeniería y manufactura, con el propósito de mejorar la productividad y la sostenibilidad de sus clientes.

Visión

Ser líder global en la innovación de tecnologías industriales, impulsando el desarrollo sostenible a través de productos de alta calidad y soluciones tecnológicas para sus clientes en el sector minería y manufactura.

Propósito

Crear valor para la sociedad mediante el incremento de la productividad de sus clientes y el desarrollo de productos que contribuyan al bienestar económico y ambiental.

1.6. Bases legales o documentos administrativos

Sandvik del Perú cumple con la normativa nacional e internacional que regula las actividades mineras y comerciales en el país, así como con los estándares de seguridad y medioambientales aplicables:

Ley General de Minería (Ley N° 28216)

Regula las actividades mineras en el Perú y aplica a las operaciones relacionadas con la maquinaria de perforación y equipos de Sandvik.

Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo Minero

Establece las condiciones mínimas de seguridad para las operaciones mineras y el uso de equipos asociados

Ley N° 28611 - Ley de Responsabilidad Social Empresarial

Sandvik cumple con esta ley, la cual norma que regula la interacción de las empresas con las comunidades y el entorno en el que desarrollan sus operaciones

Normas Internacionales ISO

Sandvik aplica estándares internacionales, como la ISO 9001 (gestión de calidad) y la ISO 14001 (gestión ambiental), que garantizan el cumplimiento de buenas prácticas en sus procesos.

1.7. Descripción del área donde realiza sus actividades profesionales

Las actividades de Sandvik del Perú se desarrollan principalmente en sus oficinas de ventas y soporte ubicadas en Lima, así como en los campos operativos mineros de sus clientes a nivel nacional.

Oficinas en Lima

Espacio destinado a la gestión de ventas, marketing, planificación de proyectos y relaciones comerciales con los clientes.

Talleres de mantenimiento

Áreas especializadas donde se realizan reparaciones y labores de mantenimiento preventivo y correctivo, asegurando el funcionamiento óptimo de la flota de perforadoras.

Campos Mineros

Zonas de operación donde el personal técnico y de mantenimiento se desplaza para realizar intervenciones en equipos de perforación y otras maquinarias suministradas por Sandvik, garantizando su disponibilidad y rendimiento en condiciones reales de trabajo

1.8. Descripción del cargo y de las responsabilidades del bachiller en la institución y/o empresa

Actualmente, desempeño el cargo de Supervisor de Mantenimiento, función que integra la gestión operativa con la supervisión directa del personal técnico, asegurando la correcta ejecución de los programas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo. Asimismo, cumpla funciones complementarias como asistente de residente, colaborando estrechamente con la gerencia en la planificación y supervisión de las operaciones de mantenimiento, con el fin de garantizar que estas se desarrollen de manera eficiente, segura y alineada con los objetivos estratégicos de la empresa.

Dentro de mis responsabilidades destaca la gestión del equipo humano, fomentando un entorno de trabajo colaborativo y seguro. Además de supervisar las actividades técnicas, aseguro que el personal disponga de los recursos necesarios para el cumplimiento de sus funciones, promoviendo la motivación y el compromiso laboral. La seguridad operativa constituye una prioridad en mi labor, por lo que se refuerza el cumplimiento estricto de los protocolos y la implementación de medidas preventivas para la mitigación de riesgos.

Asimismo, administro el backlog de mantenimiento, actividad que exige una adecuada priorización de tareas, planificación eficiente y coordinación con otras áreas de la empresa para minimizar los tiempos de inactividad de los equipos.

Mi trayectoria en la organización inició hace cinco años como Planner de Mantenimiento, cargo en el que adquirí experiencia en la planificación de actividades, elaboración de cronogramas, análisis de indicadores clave de desempeño (KPIs) y gestión de costos operativos. Esta base técnica y de gestión ha sido fundamental para el desempeño efectivo de mis funciones actuales como supervisor.

En cuanto a los objetivos de desempeño, mi principal meta es incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos de perforación del 75 % al 88 %, lo que implica reducir las paradas no planificadas, mejorar la confiabilidad de los equipos y, en consecuencia, impactar positivamente en la productividad general.

Sin embargo, más allá de los objetivos operativos, mi propósito es ejercer un liderazgo que fomente la motivación, la participación activa y el compromiso del equipo de trabajo. Considero que el éxito organizacional se sustenta en la colaboración y en la construcción de un entorno laboral en el que cada integrante se sienta valorado y plenamente integrado a un proyecto común que promueva el desarrollo profesional y colectivo.

Ítems e indicadores que cumplir:

- Supervisar la ejecución de tareas de mantenimiento preventivo y predictivo.
- Asegurar la eficiencia, seguridad y puntualidad en los programas de mantenimiento.
- Gestionar y priorizar el backlog de mantenimiento.
- Minimizar los tiempos de inactividad de los equipos.
- Planificar actividades considerando recursos disponibles y tiempos de ejecución.
- Coordinar con otras áreas para garantizar la disponibilidad de recursos.
- Proveer al equipo las herramientas y recursos requeridos para su labor.
- Fomentar un ambiente de trabajo inclusivo y motivador.
- Implementar estrategias que fortalezcan la motivación y el compromiso del equipo.
- Garantizar el cumplimiento de los protocolos de seguridad.
- Reducir riesgos operativos mediante acciones preventivas.
- Realizar capacitaciones periódicas en seguridad para el equipo.
- Incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos de perforación del 75 % al 88 %.
- Disminuir las paradas no planificadas y fallas mecánicas.

- Optimizar los costos operativos dentro del presupuesto asignado.
- Controlar indicadores clave de desempeño (KPIs) para medir eficiencia.
- Proponer e implementar mejoras en los procesos de mantenimiento.
- Evaluar tecnologías y metodologías aplicables a las operaciones.
- Promover una cultura de trabajo en equipo y comunicación efectiva.
- Incrementar la productividad general de la empresa.
- Mantener elevados niveles de satisfacción laboral en el equipo.

2.1. Antecedentes o diagnóstico situacional

[illegible]

23

El actual de fallas inesperadas, con una frecuencia promedio de 12 incidentes mensuales, ha ocasionado interrupciones constantes y costos operativos elevados. Estas interrupciones se relacionan con la disminución de la confiabilidad de los equipos, derivada del incumplimiento de los mantenimientos preventivos y predictivos. Este incumplimiento, con un promedio de 8 eventos mensuales, evidencia una gestión deficiente que incrementa el backlog acumulado de tareas pendientes, estimado en 15 actividades mensuales no resueltas, lo cual complica la planificación y dificulta la asignación de prioridades

Asimismo, la falta de capacitación técnica del personal representa otro factor relevante, registrándose un promedio de 6 casos mensuales de problemas complejos que no pudieron ser resueltos de manera efectiva. Esta situación limita la capacidad de respuesta del equipo frente a incidentes de mayor complejidad técnica.

Sistema	Subsistema	Componente	Duración Hrs.
MANTENIMIENTO			
SISTEMA DE PERFORACION	MOTOR Y COMPRESOR		31.2
		MOTOR 125Y COMPRESOR 250	31.2
	TUBO ANCHURING		24.0
		CAMBIO DE TUBO ANCHURING	24.0
	VIGA		6.2
		INSPECCION Y LUBRICANTES	0.7
		TRABA PERFORADOR	0.3
		TUBO ANCHURING	5.0
		AUMENTO DE PERNOS MEZA DE VIGA	0.3
	SISTEMA DE SOSTENIMIENTO		
INFLADO		25.3	
	TRABAJO DE SOLDADURA MORDAZA DELANTERA	4.7	
	TRABAJO DE SOLDADURA EN EL GUIADOR DE PERNOS	12.7	
	TRABAJO DE SOLDADURA EN LA RIEL DE PERFORACION	5.0	
	INSPECCION, ENGRASE Y CAMBIO DE SELLOS OMEGA	2.9	
SISTEMA DE POSICIONAMIENTO			
BRAZO		3.3	
	INSPECCION Y LUBRICANTES	1.0	
	SE CAMBIA MANGUERA	1.0	
	CAMBIO DE MANGUERAS	1.3	
GATA		5.0	
	SE ELIMINA FUGA	5	
SISTEM DE PERFORACION			
VIGA		4	
	CAMBIO DE MANGUERAS	4	
SISTEMA MOTOR DIESEL			
COMBUSTIBLE		1	
	CAMBIO DE TAMIZ	1	
SISTEMA HIDRAULICO			
TANQUE HIDRAULICO		1	
	INSPECCION Y LUBRICANTES	1	
SISTEMA ELECTRICO			
TABLERO 440		0.8	
	REAY K400	0.3	
	INSPECCION Y LIMPIEZA DE TABLERO	0.4	
Total general			101.68

Figura 3. Detalle de actividades de mantenimiento correctivo y preventivo por sistema, subsistema y componente en Jumbo Sandvik – Unidad Andaychagua

Las brechas en los protocolos de seguridad constituyen un problema crítico adicional, con un promedio de 5 incidentes mensuales que incrementan el nivel de riesgo durante la ejecución de las actividades de mantenimiento. Esta situación expone al personal a peligros evitables y compromete el cumplimiento de las normativas vigentes, afectando la estabilidad de las operaciones.

Evolución de la Disponibilidad Mecánica (DM) La tendencia de la disponibilidad mecánica ha mostrado una mejora gradual en los últimos meses, pasando del 75 % en enero al 79 % en octubre. Sin embargo, aunque se observa un avance positivo, este nivel continúa siendo insuficiente para garantizar la continuidad operativa requerida por la organización.

Tabla 1. Tendencias de disponibilidad mecánica

Mes	Disponibilidad mecánica (%)
Enero	75
Febrero	74
Marzo	76
Abril	74
Mayo	73
Junio	75
Julio	76
Agosto	77
Septiembre	78
Octubre	79

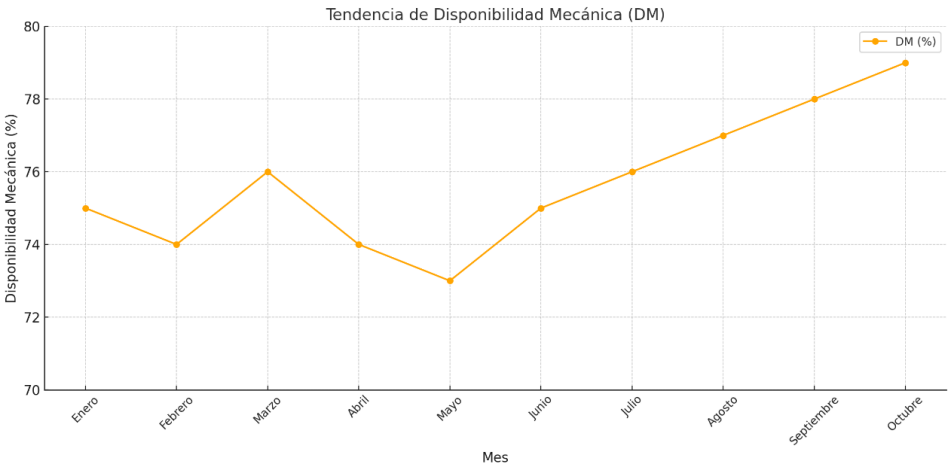


Figura 4. Gráfico de tendencias de disponibilidad mecánica

El bajo nivel de disponibilidad mecánica y los problemas identificados generan impactos significativos en la eficiencia y productividad del área de mantenimiento. Las fallas recurrentes, el incumplimiento de los programas de mantenimiento y las deficiencias en seguridad y capacitación son indicadores de una gestión que requiere ajustes inmediatos. Si

Para revertir esta situación, resulta indispensable implementar un programa integral de mejora que contemple la optimización de los planes de mantenimiento, la capacitación técnica específica del personal, el refuerzo en los protocolos de seguridad y una gestión eficiente del backlog. Estas acciones permitirán alcanzar un incremento sostenible en la disponibilidad mecánica, reducir las interrupciones y mejorar la productividad del área de mantenimiento.

A partir del diagnóstico situacional, se identificaron diversas áreas críticas que requieren intervención para mejorar el desempeño del área de mantenimiento. Cada una de estas áreas fue evaluada utilizando datos estadísticos con el fin de medir su progreso y determinar su impacto en la eficiencia operativa.

Figura 5. Vista lateral del Jumbo Sandvik en operación en la Unidad Andaychagua

Al inicio del análisis, la disponibilidad mecánica se encontraba en 75 %. Se estableció como objetivo alcanzar un 88 %, logrando avances graduales a lo largo de los meses, como se observa en la Tabla 2. Este incremento en la disponibilidad permite garantizar la continuidad operativa y optimizar el uso de los recursos.

Sistema	Subsistema	Componente	Duración Hrs.
SISTEMA DE POSICIONAMIENTO			
	BRAZO		3.3
		INSPECCION Y LUBRICANTES	1.0
		SE CAMBIA MANGUERA	1.0
		CAMBIO DE MANGUERAS	1.3
SISTEMA HIDRAULICO			
	TANQUE HIDRAULICO		1
		INSPECCION Y LUBRICANTES	1
SISTEMA DE PERFORACION			
	VIGA		1.0
		INSPECCION Y LUBRICANTES	0.7
		AUMENTO DE PERNOS MEZA DE VIGA	0.3
SISTEMA ELECTRICO			
	TABLERO 440		0.4
		INSPECCION Y LIMPIEZA DE TABLERO	0.4
Total general			5.66

Figura 6. Componentes principales del sistema hidráulico del Jumbo Sandvik

Tabla 2. Mejora gradual de disponibilidad mecánica propuesta

Mes	Disponibilidad Mecánica (%)
Enero	75
Febrero	76
Marzo	77
Abril	78
Mayo	79
Junio	80
Julio	81
Agosto	83
Septiembre	85
Octubre	88

Reducir las fallas imprevistas y aumentar la confiabilidad de los equipos

La frecuencia de fallas imprevistas mostró una reducción significativa, pasando de 12 fallas mensuales en enero a 5 fallas en octubre. Esta disminución evidencia un aumento en la confiabilidad de los equipos, favoreciendo una operación más estable, segura y eficiente, tanto para el personal como para la empresa. Los datos correspondientes se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Número de fallas entre enero y octubre.

Mes	Número de fallas
Enero	12
Febrero	11
Marzo	10
Abril	9
Mayo	8
Junio	7
Julio	6
Agosto	6
Septiembre	5
Octubre	5

45 horas / 125 horas

Cumplir rigurosamente los planes de mantenimiento preventivo y predictivo

Las actividades contempladas en los planes de mantenimiento son fundamentales para prolongar la vida útil de los equipos. No obstante, en ocasiones, los plazos operativos limitan la detención de maquinaria para ejecutar dichas actividades. Ante ello, se implementó un control estricto del cumplimiento de los planes de mantenimiento, cuyo nivel pasó de 60 % en enero a 95 % en octubre, como se aprecia en la Tabla 4. Este resultado maximiza la disponibilidad y confiabilidad de la flota de equipos.

Tabla 4. Porcentaje de actividades de mantenimiento realizadas.

Mes	Porcentaje de actividades de mantenimiento (%)
Enero	60
Febrero	65
Marzo	70
Abril	75
Mayo	80
Junio	85
Julio	90
Agosto	92
Septiembre	94
Octubre	95

Optimizar el manejo del *backlog* de mantenimiento

El *backlog* de tareas pendientes se redujo significativamente, pasando de un 50 % en enero a un 15 % en octubre, lo que demuestra una mejora sustancial en la priorización y ejecución de actividades. Los resultados se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. *Backlog* de tareas pendientes entre enero y octubre.

Mes	Backlog de tareas pendientes (%)
Enero	50
Febrero	48
Marzo	45
Abril	42
Mayo	38
Junio	35
Julio	30
Agosto	25
Septiembre	20
Octubre	15

Fortalecer las competencias del personal técnico

La capacitación del personal técnico aumentó de un 40 % al inicio del análisis hasta alcanzar un 90 % en octubre, gracias a la implementación de programas formativos orientados a las necesidades operativas específicas. La información detallada se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Capacitación técnica del personal.

Mes	Capacitación técnica (%)
Enero	40
Febrero	45
Marzo	50
Abril	55
Mayo	60
Junio	70
Julio	75
Agosto	80
Septiembre	85
Octubre	90

Aumentar la seguridad y reducir riesgos laborales

El cumplimiento de los protocolos de seguridad experimentó una mejora significativa, pasando de un 65 % en enero a un 95 % en octubre, lo que contribuyó a garantizar un entorno laboral seguro y conforme a las normativas vigentes.

Tabla 7. Seguridad

Mes	Capacitación técnica (%)
Enero	65
Febrero	70
Marzo	75
Abril	78
Mayo	80
Junio	85
Julio	88
Agosto	90
Septiembre	92
Octubre	95

Estas necesidades representan oportunidades estratégicas para mejorar la eficiencia operativa, incrementar la confiabilidad de los procesos y fortalecer el ambiente laboral. Cabe destacar que las actividades mencionadas son complementarias entre sí y están estrechamente relacionadas con las funciones de los operadores. Un equipo que se mantiene dentro de sus parámetros óptimos de funcionamiento no solo facilita una operación segura por parte del usuario, sino que también asegura el cumplimiento de plazos, incrementando la confiabilidad y eficiencia global de la empresa.

En este sentido, resulta indispensable que las actividades programadas en los planes de mantenimiento se ejecuten de manera completa y eficaz, dado su carácter integral y su importancia crítica para la continuidad y estabilidad de las operaciones.

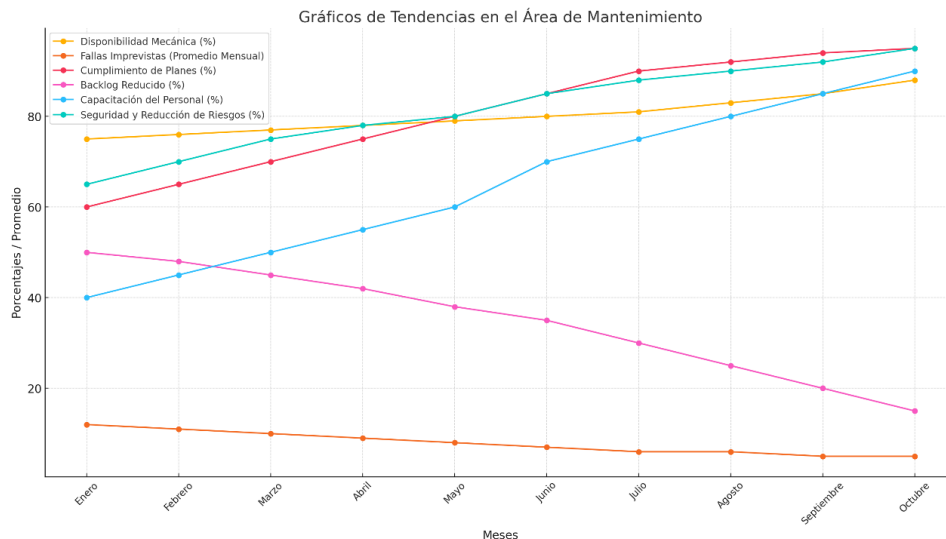


Figura 7. Gráfico de tendencias en el área de mantenimiento

2.3. Objetivos de la actividad profesional

Incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos de perforación del 75 % al 88 % en un periodo de 12 meses, basado en mejoras graduales previamente determinadas, utilizando indicadores de mantenimiento y análisis de fallas.

Reducir la frecuencia de fallas inesperadas en un 30 % dentro de los próximos 12 meses, mediante la aplicación de un plan riguroso de mantenimiento integral que considere la participación de los operadores y su adecuada capacitación.

Lograr que el 95 % de los mantenimientos preventivos y predictivos se ejecuten dentro de los plazos establecidos en un periodo de 12 meses, a través de la implementación de un plan de mantenimiento diario, semanal, mensual y semestral.

Disminuir el backlog en un 40 % durante los primeros 6 meses, priorizando las actividades de mantenimiento más críticas mediante una planificación detallada de los equipos disponibles.

Implementar un programa de capacitación técnica en los próximos 12 meses para dotar al personal de los conocimientos necesarios sobre el uso adecuado de los equipos, garantizando una operación segura y una detección oportuna de posibles averías durante su funcionamiento.

Mejorar los indicadores de seguridad laboral en un 25 % en los próximos 12 meses, mediante la realización de charlas y capacitaciones dirigidas a los operadores sobre los riesgos asociados al uso de maquinaria y el uso obligatorio de la indumentaria de seguridad requerida.

2.4. Justificación de la actividad profesional

La presente actividad responde de manera integral a los desafíos que limitan el desempeño del área de mantenimiento y comprometen la capacidad de la empresa para alcanzar sus objetivos estratégicos. El incremento de la disponibilidad mecánica y de la confiabilidad de los equipos resulta esencial para asegurar mayores tiempos de operación y reducir interrupciones, impactando directamente en la eficiencia y en la productividad general.

La disminución de fallas imprevistas y la optimización de los costos permitirán un uso más eficiente de los recursos, minimizando los gastos asociados a reparaciones de emergencia y adquisiciones no planificadas de repuestos. Este enfoque no solo incrementa la rentabilidad a corto plazo, sino que también fortalece la capacidad de planificación financiera y la estabilidad operativa de la empresa.

La capacitación del personal técnico constituye un factor indispensable para enfrentar los retos actuales del área. Un equipo debidamente entrenado es capaz de ejecutar sus funciones con mayor precisión y seguridad, fomentando un ambiente de trabajo positivo que incrementa la cohesión, la motivación y el compromiso organizacional.

Asimismo, garantizar un entorno laboral seguro protege tanto al personal como a los activos de la empresa, consolidando una cultura organizacional centrada en la prevención de riesgos. Las mejoras en seguridad laboral refuerzan la confianza del equipo y promueven prácticas sostenibles que priorizan la estabilidad y el bienestar de todos los involucrados.

Estas acciones no solo están orientadas a generar resultados inmediatos, sino también a establecer un sistema de mantenimiento eficiente y sostenible en el mediano y largo plazo, asegurando la continuidad operativa y el crecimiento estratégico de la organización.

2.5. Resultados esperados

Se espera que la disponibilidad mecánica de los equipos de perforación muestre un incremento sostenido desde el 75 % registrado en enero, alcanzando la meta proyectada del 88 % en octubre. Este crecimiento será reflejo de la implementación efectiva de programas de mantenimiento y de la optimización de la gestión operativa.

Con el aumento de la disponibilidad, se prevé una reducción significativa de las interrupciones operativas, lo que impactará de manera directa en la productividad, mejorando así los indicadores de desempeño del área de mantenimiento y contribuyendo a los objetivos estratégicos de la empresa.

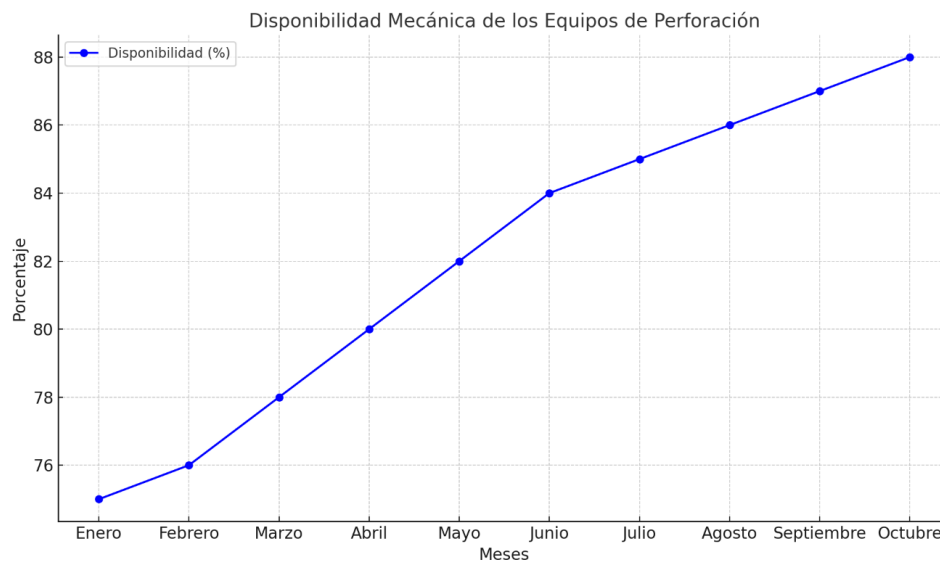


Figura 8. Resultados esperados de mejora de disponibilidad mecánica de los equipos de perforación

Reducción de fallas inesperadas

Las fallas inesperadas disminuyeron de manera consistente, pasando de 12 incidentes en enero a 6 en octubre. Esta reducción del 30 % es consecuencia de una planificación más rigurosa y del cumplimiento efectivo de los programas de mantenimiento. El incremento en la confiabilidad operativa permite contar con procesos más estables y predecibles, reduciendo así las interrupciones no programadas que afectan la productividad.

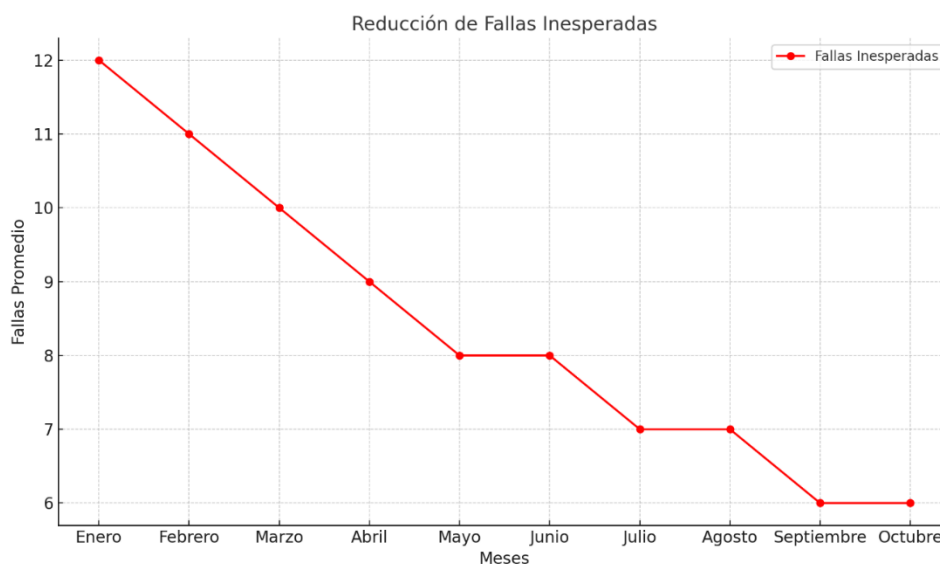


Figura 9. Resultados esperados de reducción de fallas inesperadas

Cumplimiento de mantenimientos preventivos y predictivos

El cumplimiento de los mantenimientos programados experimentó una mejora significativa, aumentando del 60 % en enero al 95 % en octubre. Este avance asegura una mayor

fiabilidad de los equipos, disminuye el riesgo de fallas y extiende su vida útil. La ejecución puntual de estas actividades resulta fundamental para garantizar operaciones eficientes y sostenibles en el tiempo.

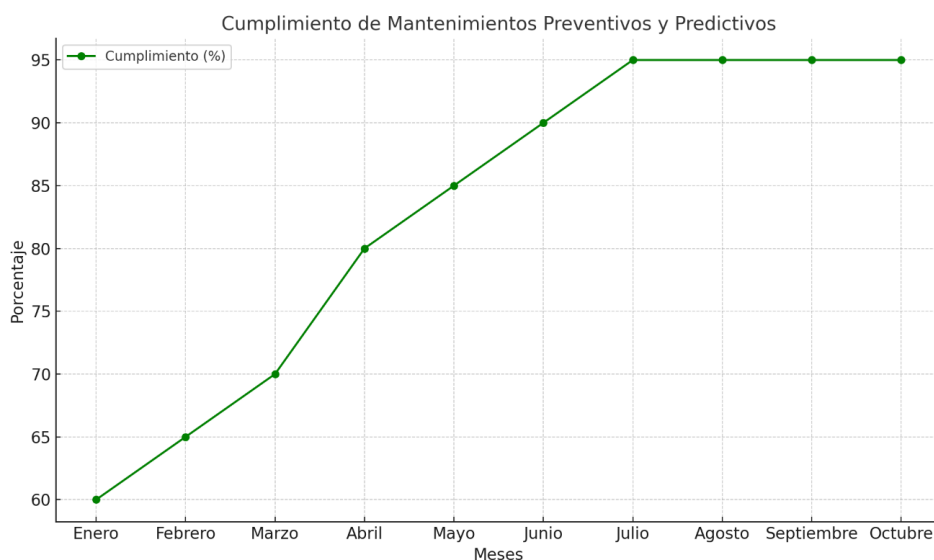


Figura 10. Resultados esperados de cumplimiento de mantenimientos preventivos y predictivos.

Reducción del *backlog* de mantenimiento

El *backlog* de mantenimiento, que en enero representaba un 50 % de tareas pendientes, se redujo hasta un 15 % en octubre. Esta disminución refleja una correcta priorización de las actividades críticas y una optimización en la planificación operativa. Mantener el backlog controlado favorece una adecuada asignación de recursos y minimiza retrasos en la atención de las necesidades técnicas.

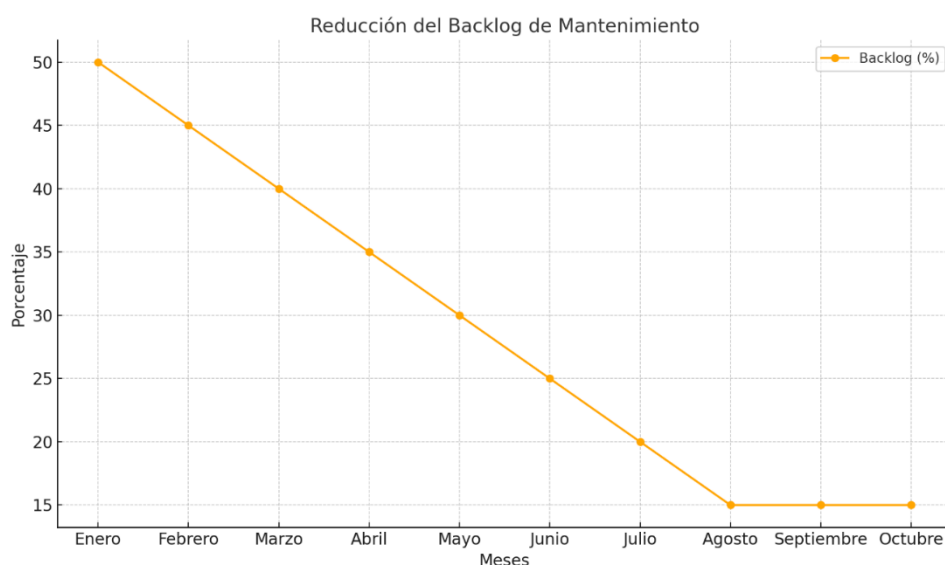


Figura 11. Resultados esperados de reducción del backlog de mantenimiento

Mejora de la seguridad laboral

Los índices de seguridad laboral evidenciaron un progreso considerable, pasando del 65 % en enero al 94 % en octubre. Este resultado se alcanzó gracias a la implementación de protocolos de seguridad actualizados y a la ejecución de programas de capacitación dirigidos al personal. Un entorno laboral seguro no solo protege al recurso humano y a los activos de la empresa, sino que también fortalece la confianza del equipo y fomenta el compromiso organizacional.

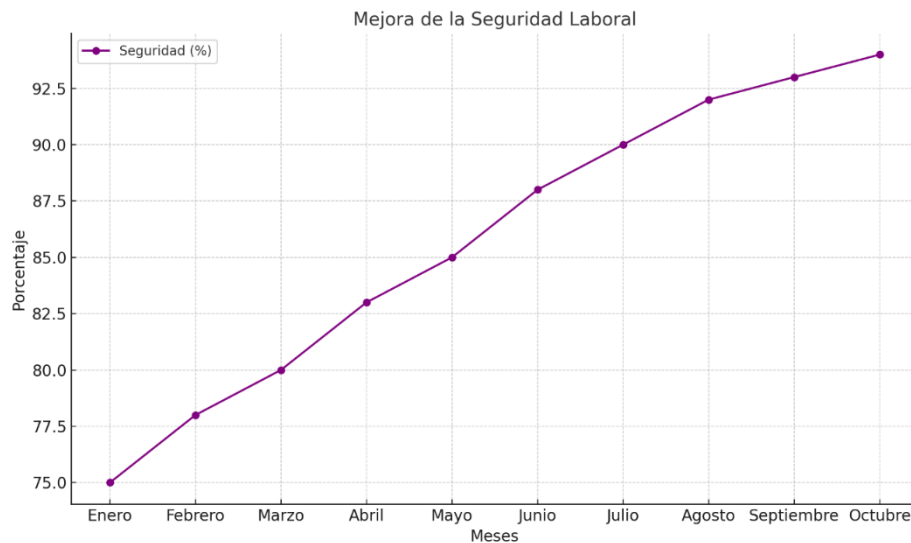


Figura 12. Resultados esperados de mejora de la seguridad laboral

Más allá de los indicadores numéricos, el verdadero logro de estas acciones radica en contar con un equipo más comprometido, operaciones más eficientes y un ambiente laboral en el que prevalezcan la seguridad y la motivación, factores que permiten alcanzar los objetivos estratégicos de manera sostenible.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Bases teóricas de las metodologías o actividades realizadas

3.1.1 Mantenimiento preventivo y predictivo

mantenimiento preventivo y el mantenimiento predictivo constituyen pilares esenciales para asegurar la continuidad operativa y la eficiencia en sistemas industriales complejos, como los equipos empleados en el sector minero.

El mantenimiento preventivo se define como un conjunto de acciones planificadas que buscan prevenir fallas mediante actividades como inspección, limpieza, lubricación y sustitución de componentes en intervalos predeterminados. Su objetivo principal es disminuir la probabilidad de fallos inesperados y prolongar la vida útil de los equipos (2).

Por su parte, el mantenimiento predictivo se fundamenta en el uso de tecnologías avanzadas, tales como sensores, análisis de vibraciones, cámaras termográficas y herramientas de monitoreo remoto, para anticipar posibles fallas a partir del análisis continuo de las condiciones operativas de los equipos (3). Esta metodología permite programar intervenciones únicamente cuando los indicadores muestran signos de deterioro crítico, optimizando el uso de recursos y reduciendo tiempos de inactividad.

En la práctica industrial contemporánea, la integración de estrategias preventivas y predictivas ha demostrado una mayor efectividad al disminuir los tiempos de inactividad no planificada, incrementar la disponibilidad mecánica y optimizar los costos asociados al mantenimiento (4).

Desde una perspectiva técnica, ambos enfoques son complementarios. Mientras que el mantenimiento preventivo se basa en intervenciones periódicas de acuerdo con intervalos de tiempo o ciclos de uso, el mantenimiento predictivo utiliza el monitoreo en tiempo real para evaluar el estado real de componentes críticos. Esto facilita la detección temprana de anomalías como desbalances, desgaste prematuro o variaciones térmicas que pueden derivar en fallas futuras (Wicaksono, 2020) (5).

La correcta implementación de estas metodologías requiere herramientas especializadas, como sistemas computarizados de gestión de mantenimiento (CMMS), y personal técnico debidamente capacitado para la interpretación de datos (6). En consonancia con estándares internacionales como la norma ISO 55000 sobre gestión de activos, estas estrategias son consideradas prácticas recomendadas para asegurar la confiabilidad y sostenibilidad de los sistemas técnicos en entornos industriales altamente demandantes (7).

3.1.2 Indicadores de mantenimiento

Un indicador de mantenimiento, o KPI (Key Performance Indicator por sus siglas en inglés), constituye una herramienta de referencia que permite evaluar el desempeño del personal o de los equipos de mantenimiento en el cumplimiento de objetivos específicos. Los KPI de mantenimiento se diseñan para dar seguimiento a metas concretas orientadas a reducir el tiempo de inactividad, optimizar costos o aumentar la confiabilidad de los equipos.

Un KPI combina una métrica cuantificable con un punto de referencia establecido, lo que permite medir el grado de avance en relación con un objetivo previamente definido. A continuación, se describen los indicadores más utilizados y su correspondiente método de cálculo:

Disponibilidad técnica:

Este indicador permite determinar el porcentaje de tiempo en el que un equipo permanece operativo en relación con el tiempo total disponible. Su cálculo se expresa de la siguiente forma.

$$DT = \frac{\textit{Tiempo operativo}}{\textit{Tiempo total}} \times 100$$

Este indicador resulta fundamental para cuantificar la capacidad de respuesta del área de mantenimiento frente a las exigencias operativas de la organización.

Tasa de fallos (MTBF)

El *Mean Time Between Failures* (MTBF) es un indicador que representa el tiempo promedio que transcurre entre fallas sucesivas de un equipo en condiciones operativas normales. Se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total de operación}}{\textit{Número de fallas}}$$

Este indicador permite evaluar la confiabilidad de los equipos y establecer la periodicidad óptima para las actividades de mantenimiento preventivo.

Tiempo promedio de reparación (MTTR)

El *Mean Time To Repair* (MTTR) mide el tiempo promedio requerido para identificar, diagnosticar y reparar una falla, hasta que el equipo vuelve a estar operativo. Su cálculo se expresa de la siguiente forma:

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total de operación}}{\textit{Número de fallas}}$$

Este indicador es fundamental para analizar la eficiencia de los procesos de mantenimiento correctivo y la disponibilidad técnica de los equipos.

Índice de cumplimiento (ICPM)

El ICPM cuantifica el grado de ejecución de las órdenes de trabajo en relación con las órdenes planificadas, evaluando la adherencia al plan de mantenimiento establecido. Su fórmula es la siguiente:

$$ICPM = \frac{\textit{Unidad de trabajo ejecutada}}{\textit{Undiad de trabajo planificada}} \times 100$$

Un alto valor de este indicador refleja una gestión efectiva de los programas de mantenimiento preventivo y predictivo.

Índice de paros por mantenimiento

Este indicador mide la frecuencia de interrupciones operativas causadas por actividades de mantenimiento, programadas o no programadas. Su análisis permite identificar el impacto

de dichas intervenciones sobre la producción y optimizar la programación de paradas técnicas para reducir su efecto en la continuidad operativa.

$$IP = \frac{\text{Número de paros por mantenimiento}}{\text{Tiempo total de operación}} \times 100$$

Los indicadores de mantenimiento permiten identificar, de manera cuantitativa, el comportamiento de un equipo, lo que facilita al personal de mantenimiento la planificación de actividades y la ejecución de acciones orientadas a minimizar el tiempo en que una máquina permanece fuera de operación, dado que este representa un costo directo para la empresa.

Dado que las máquinas están compuestas por diversos mecanismos y estos, a su vez, por múltiples eslabones, la probabilidad de falla aumenta proporcionalmente al número de elementos presentes en el sistema. Por este motivo, resulta fundamental que el plan de mantenimiento se elabore siguiendo rigurosamente las especificaciones técnicas proporcionadas por los fabricantes.

Con el transcurso del tiempo y considerando la criticidad y complejidad de cada máquina, es posible recopilar datos que permitan caracterizar su comportamiento de forma más precisa. Este enfoque corresponde al mantenimiento predictivo, el cual justifica su implementación especialmente en equipos de alto valor, donde los costos asociados a su aplicación se ven compensados por la reducción de fallas y la optimización de su ciclo de vida operativa.

3.1.3 Técnicas de diagnóstico en equipos de perforación

técnicas de diagnóstico en equipos de perforación son esenciales para garantizar la confiabilidad y la disponibilidad operativa en entornos industriales y mineros. Estas técnicas permiten identificar fallas en etapas tempranas, optimizando las actividades de mantenimiento preventivo y predictivo.

Entre las principales herramientas de diagnóstico se encuentra el análisis de vibraciones, que permite detectar desequilibrios, desalineaciones y desgastes en componentes mecánicos. Esta técnica es ampliamente utilizada debido a su capacidad para monitorear el comportamiento dinámico de los equipos en tiempo real (8). Por su parte, el uso de cámaras termográficas resulta indispensable para identificar anomalías en sistemas eléctricos e hidráulicos, al detectar variaciones de temperatura que pueden evidenciar sobrecalentamiento, fricción excesiva o pérdidas de eficiencia en los sistemas (9). Estas herramientas,

complementadas con el análisis de fluidos, proporcionan información detallada sobre el estado de lubricantes y aceites hidráulicos, lo que permite anticipar problemas de contaminación o desgaste en componentes internos (10).

Asimismo, la incorporación de sensores de monitoreo continuo ha transformado las técnicas de diagnóstico, al permitir la recopilación de datos en tiempo real sobre parámetros como presión, flujo, torque y vibraciones. Este enfoque, soportado por sistemas digitales y software especializado, posibilita la aplicación de modelos predictivos basados en inteligencia artificial y análisis de Big Data (11). A su vez, técnicas como el ultrasonido, utilizadas para la detección de fugas o fracturas en componentes estructurales, resultan especialmente útiles en equipos de perforación sometidos a altas cargas y condiciones extremas (12).

De acuerdo con la norma ISO 14224, que establece directrices para la recopilación y el análisis de datos de confiabilidad y mantenimiento, la aplicación sistemática de estas técnicas es fundamental para desarrollar programas de mantenimiento basados en datos precisos y confiables, optimizando la eficiencia operativa y reduciendo los costos asociados a fallas inesperadas (13).

3.1.4 Gestión del backlog de mantenimiento

La gestión del *backlog* de mantenimiento constituye un proceso fundamental para garantizar la eficiencia operativa y minimizar los efectos adversos en la productividad de los equipos y sistemas industriales. El backlog de mantenimiento se define como la acumulación de actividades pendientes que no han sido ejecutadas en los plazos establecidos, lo que puede ocasionar interrupciones no planificadas, incremento de costos y fallas críticas en los equipos (14).

Una gestión eficiente del *backlog* requiere priorizar las actividades en función de su criticidad, la disponibilidad de recursos y el impacto potencial en las operaciones. Para ello, las tareas deben clasificarse según criterios objetivos, tales como el nivel de urgencia, el estado del equipo y las consecuencias de una posible falla (15). Asimismo, el uso de herramientas digitales como los sistemas de gestión de mantenimiento computarizados (*CMMS*, por sus siglas en inglés) permite monitorear en tiempo real el estado de las actividades de mantenimiento, facilitando la programación y redistribución de recursos de manera eficaz (16).

La reducción del *backlog* implica la adopción de una estrategia integral basada en una planificación adecuada, la correcta asignación de recursos humanos y materiales, así como el seguimiento constante de indicadores clave de desempeño, como el índice de cumplimiento de

actividades programadas (17). Según la norma ISO 55001 sobre gestión de activos, una gestión eficiente del backlog contribuye directamente a la confiabilidad y disponibilidad de los sistemas, optimizando el ciclo de vida de los equipos (18). Adicionalmente, el uso de técnicas como el análisis de causa raíz (*RCA*) permite identificar las causas subyacentes de la acumulación de tareas pendientes, entre ellas deficiencias en la planificación, carencia de repuestos o limitaciones de recursos (19)

3.1.5 Análisis de confiabilidad y causa raíz (RCA)

El análisis de confiabilidad y causa raíz (RCA, por sus siglas en inglés) constituye una metodología esencial en la gestión del mantenimiento, orientada a garantizar el desempeño óptimo de los equipos y minimizar las fallas no planificadas. El análisis de confiabilidad evalúa la capacidad de los sistemas para operar de forma continua durante un periodo determinado, identificando los puntos críticos en los componentes y procesos que podrían comprometer su funcionamiento (20).

Este enfoque emplea indicadores clave, como el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR), para cuantificar el rendimiento de los equipos y establecer estrategias de mejora. Para calcular ambos indicadores se emplean las siguientes ecuaciones:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación de un elemento o equipo}}{\text{Número de fallas de un elemento o equipo}}$$

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{Número de reparaciones}}$$

Estos indicadores proporcionan información cuantitativa sobre la confiabilidad y mantenibilidad de los sistemas, constituyendo la base para implementar acciones correctivas fundamentadas en los principios del RCA. De esta manera, es posible identificar no solo los efectos inmediatos de una falla, sino también sus causas fundamentales, reduciendo la probabilidad de recurrencia y mejorando la disponibilidad operativa.

Por otro lado, el análisis de causa raíz (RCA) se orienta a identificar las causas fundamentales de las fallas en los equipos, permitiendo implementar soluciones que eviten su recurrencia. Esta metodología se apoya en herramientas como los diagramas de Ishikawa, el análisis de «los cinco porqués» y el análisis de árboles de fallas, que facilitan la descomposición sistemática del problema hasta identificar su causa principal (21).

La integración del análisis de confiabilidad y del RCA en los programas de mantenimiento preventivo y predictivo es esencial para incrementar la disponibilidad de los equipos y reducir los costos asociados a reparaciones de emergencia y paradas no planificadas (22). De acuerdo con la norma ISO 14224, la recopilación y el análisis de datos de mantenimiento son indispensables para implementar estrategias basadas en confiabilidad, lo que garantiza la toma de decisiones fundamentadas en evidencia (23).

Asimismo, estas metodologías permiten priorizar intervenciones en los componentes críticos, optimizando el uso de recursos y fortaleciendo la seguridad operativa (24). La aplicación sistemática del RCA también promueve una cultura de mejora continua, al fomentar el aprendizaje organizacional mediante la documentación y difusión de las lecciones aprendidas tras cada incidente (25).

3.1.6 Protocolos de seguridad en mantenimiento

Los protocolos de seguridad en mantenimiento constituyen un conjunto de procedimientos estandarizados cuyo propósito es minimizar los riesgos laborales y garantizar la protección tanto del personal técnico como de los equipos durante las actividades de mantenimiento. En entornos industriales y mineros, donde las operaciones involucran equipos de gran porte y condiciones de trabajo extremas, dichos protocolos resultan indispensables para prevenir accidentes, reducir la exposición a peligros y asegurar el cumplimiento de la normativa vigente.

Estos protocolos abarcan desde la identificación de riesgos en el lugar de trabajo hasta la adopción de medidas preventivas específicas, como el uso obligatorio de equipos de protección personal (EPP), la capacitación continua del personal en seguridad y la aplicación de procedimientos particulares para actividades de alto riesgo, tales como trabajos en altura, manipulación de materiales peligrosos y mantenimiento en sistemas eléctricos (26). El estricto cumplimiento de estas medidas no solo resguarda la integridad física de los trabajadores, sino que también contribuye a la protección de los equipos y a la preservación de un entorno laboral seguro.

La implementación de protocolos de seguridad debe fundamentarse en normas internacionales como la ISO 45001, la cual establece los requisitos para un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo (27). Esto implica llevar a cabo evaluaciones periódicas de riesgos, definir procedimientos precisos para cada actividad y garantizar que todo el personal esté debidamente entrenado para responder ante situaciones de emergencia.

Asimismo, el uso de herramientas como las listas de verificación (checklists) y los permisos de trabajo seguro (PTS) resulta esencial para asegurar que cada intervención de mantenimiento haya sido evaluada y autorizada antes de su ejecución (28). En este contexto, también cobra relevancia la integración de tecnologías avanzadas, como sensores de monitoreo en tiempo real para la detección de condiciones inseguras, así como la aplicación de sistemas de bloqueo y etiquetado (LOTO, por sus siglas en inglés), destinados a garantizar la desenergización completa de los equipos durante su mantenimiento (29).

3.1.7 Optimización de costos en mantenimiento

La optimización de costos en mantenimiento constituye una estrategia fundamental para maximizar la eficiencia operativa de una organización, reduciendo los gastos innecesarios sin comprometer la confiabilidad ni la disponibilidad de los equipos. En el ámbito del mantenimiento industrial, los costos se clasifican en costos directos, que incluyen mano de obra, repuestos y herramientas, y costos indirectos, que comprenden los tiempos de inactividad y las pérdidas operativas ocasionadas por fallas inesperadas (30).

La adopción de un enfoque basado en datos y el uso de herramientas tecnológicas permiten identificar áreas críticas de alto costo y diseñar estrategias de reducción. Este proceso implica la transición de un modelo reactivo —donde las fallas se atienden únicamente al producirse— hacia un enfoque preventivo y predictivo, que permite planificar intervenciones anticipadas. En este contexto, la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) resulta esencial, ya que facilita la programación eficiente de actividades, el control de inventarios de repuestos y la monitorización en tiempo real de los indicadores de mantenimiento, optimizando el uso de recursos y reduciendo los costos asociados a reparaciones no planificadas (31).

Para determinar los costos de mantenimiento, se consideran los costos de las intervenciones (C_i), los costos de fallas (C_f), los costos de almacenamiento (C_a) y el costo de sobreinversiones (C_{si}). El costo de mantenimiento total (C_m) se obtiene mediante la siguiente ecuación

$$C_m = C_i + C_f + C_a + C_{si}$$

Los costos de intervenciones comprenden la mano de obra (interna o externa), los repuestos y los materiales consumibles utilizados. Los costos de fallas se calculan en función de los ingresos no percibidos por paradas de equipo, los gastos adicionales de producción y la

materia prima desaprovechada. Por su parte, el costo de almacenamiento se relaciona con el financiamiento y la gestión del inventario de piezas e insumos. Finalmente, el costo de sobreinversiones se asocia a la adquisición de nuevos equipos para reemplazar aquellos cuyo mantenimiento resulta excesivamente costoso o que presentan una frecuencia elevada de fallas.

La optimización de costos en mantenimiento también requiere el análisis del ciclo de vida de los equipos (LCC, por sus siglas en inglés), lo cual permite evaluar el impacto económico de cada decisión durante la vida útil de los activos. De acuerdo con la norma ISO 55001, la gestión eficiente de activos debe centrarse en maximizar el valor durante todo su ciclo de vida (32). Asimismo, la priorización de actividades según criticidad garantiza que los recursos se asignen de manera estratégica a los equipos con mayor impacto en la continuidad operativa (33).

Por último, la capacitación del personal técnico en técnicas de diagnóstico avanzado y en el uso de tecnologías de monitoreo predictivo contribuye a prevenir fallas graves y reduce los costos asociados a interrupciones prolongadas (34)

3.1.8 Automatización y Digitalización en Mantenimiento

La automatización y la digitalización en mantenimiento son tendencias clave que han transformado significativamente la gestión de equipos y activos en entornos industriales. La automatización implica la implementación de tecnologías que permiten ejecutar tareas de mantenimiento de forma autónoma o con mínima intervención humana, como el uso de robots para la inspección de áreas de alto riesgo, sistemas automatizados de lubricación y plataformas de monitoreo en línea de las condiciones operativas de los equipos (35).

Por su parte, la digitalización se centra en la incorporación de herramientas digitales como sensores IoT (Internet of Things), plataformas de análisis de datos y software de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS), que facilitan la recopilación, procesamiento y análisis de información en tiempo real. Estas tecnologías posibilitan la predicción de fallas, la optimización de la planificación de actividades y la reducción de los costos operativos asociados a interrupciones no planificadas (36). Asimismo, la digitalización integra datos históricos y actuales, permitiendo la toma de decisiones fundamentadas mediante análisis predictivos y tendencias de desempeño de los equipos (37).

La automatización y digitalización también potencian el mantenimiento predictivo, al permitir el monitoreo continuo de parámetros críticos como vibraciones, temperatura y presión mediante sistemas conectados a la nube. Estas tecnologías generan alertas automáticas cuando

los valores exceden los rangos establecidos, facilitando la prevención de fallas y la maximización de la disponibilidad de los activos (38). Además, el uso de soluciones avanzadas como los gemelos digitales (digital twins) ofrece representaciones virtuales de los equipos, que permiten simular escenarios y optimizar procesos sin interrumpir las operaciones (39).

De acuerdo con la norma ISO 55001, la gestión eficiente de activos debe integrar tecnologías digitales para garantizar un ciclo de vida óptimo de los equipos, incrementando la sostenibilidad y rentabilidad de las operaciones (40).

Para implementar la automatización y digitalización del plan de mantenimiento, se propone ejecutar las actividades representadas en las Figuras 13 y 14.

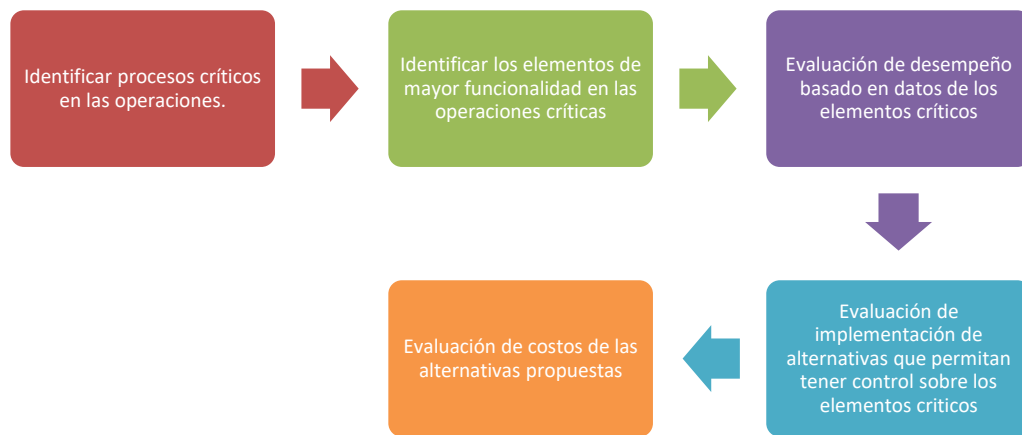


Figura 13. Etapas de la evaluación de desempeño operacional

En caso de que la evaluación de costos de las alternativas propuestas, aplicadas para el control de elementos críticos, resulte satisfactoria, se procede a implementar la tecnología seleccionada, la cual se integra al plan de mantenimiento.

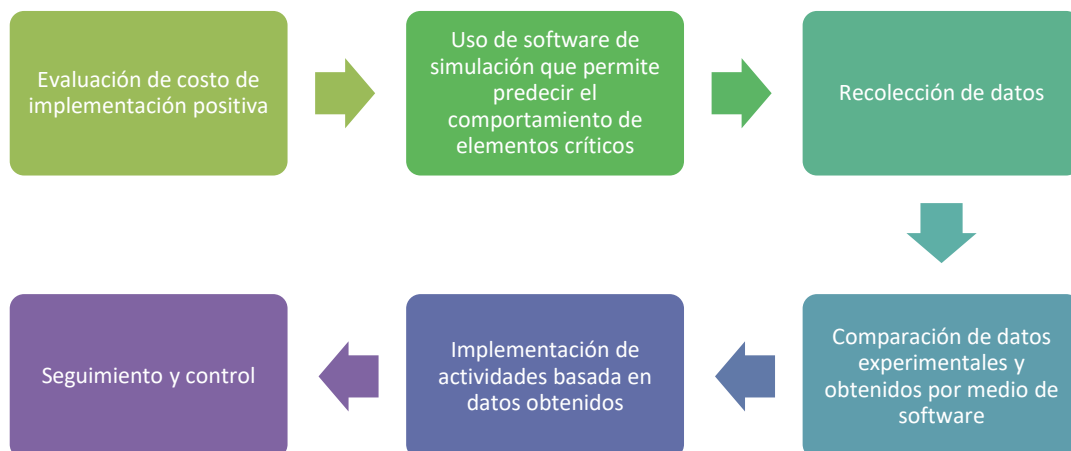


Figura 14. Flujo de trabajo para la simulación y análisis de datos operacionales

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

En este capítulo se detallan las actividades profesionales que se llevarán a cabo para el mejoramiento del programa de mantenimiento preventivo, con el objetivo de optimizar la disponibilidad de los jumbos en la unidad Andaychagua - Sandvik. Estas actividades se centran en la evaluación, rediseño y optimización de los procedimientos actuales mediante un enfoque integral, que incluye análisis técnicos, planeamiento estratégico y metodologías basadas en buenas prácticas de mantenimiento industrial. A continuación, se desarrollan los subcapítulos correspondientes.

4.1 Enfoque de las actividades profesionales

El enfoque de las actividades profesionales está orientado a la implementación de un programa de mantenimiento preventivo eficiente, que permita incrementar la disponibilidad de los jumbos utilizados en las operaciones mineras de la unidad Andaychagua. El objetivo principal es reducir los tiempos de inactividad de los equipos a causa de fallas, mediante la implementación de medidas proactivas y sistemáticas que mejoren su confiabilidad y rendimiento.

En las Figuras 15, 16 y 17 se presentan los modelos de equipos de perforación minera marca Sandvik, a partir de los cuales se obtienen los datos para la elaboración del plan de mantenimiento.



Figura 15. Sandvik DD311



Figura 16. Sandvik DL331



Figura 17. Sandvik DS311

El enfoque propuesto para llevar a cabo el estudio incluye actividades como estudios de campo, análisis técnico, evaluación de alternativas, capacitación del personal e implementación de herramientas tecnológicas. A continuación, se detallan dichas actividades:



Figura 18. Estrategia integral para el mantenimiento preventivo de jumbos

4.1.1 Alcance de las actividades profesionales

El presente documento establece el desarrollo de una propuesta técnica de mejora para las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos de perforación minera marca Sandvik, modelos DD311, DS311 y DL331. Para ello, se utiliza la data disponible relacionada con la reparación y mantenimiento de dichos equipos.

Mediante el análisis de estos datos, se identifican puntos críticos en los equipos y se determinan las condiciones de trabajo a las que se encuentran sometidos. La propuesta de mejora del plan de mantenimiento se elabora con base en la información proporcionada por la empresa y los registros de actividades de los operarios.

4.1.2 Entregables de las actividades profesionales

El objetivo del presente documento es proponer una mejora en el plan de mantenimiento vigente para los equipos de perforación Sandvik especificados en el alcance de este estudio. Por tanto, el documento entregable que se espera obtener es aquel en el que se

indiquen las propuestas de mejora, estructuradas en actividades de mantenimiento diario, semanal, mensual y semestral de los equipos de perforación correspondientes. Para ello, se llevan a cabo las actividades que se presentan a continuación.

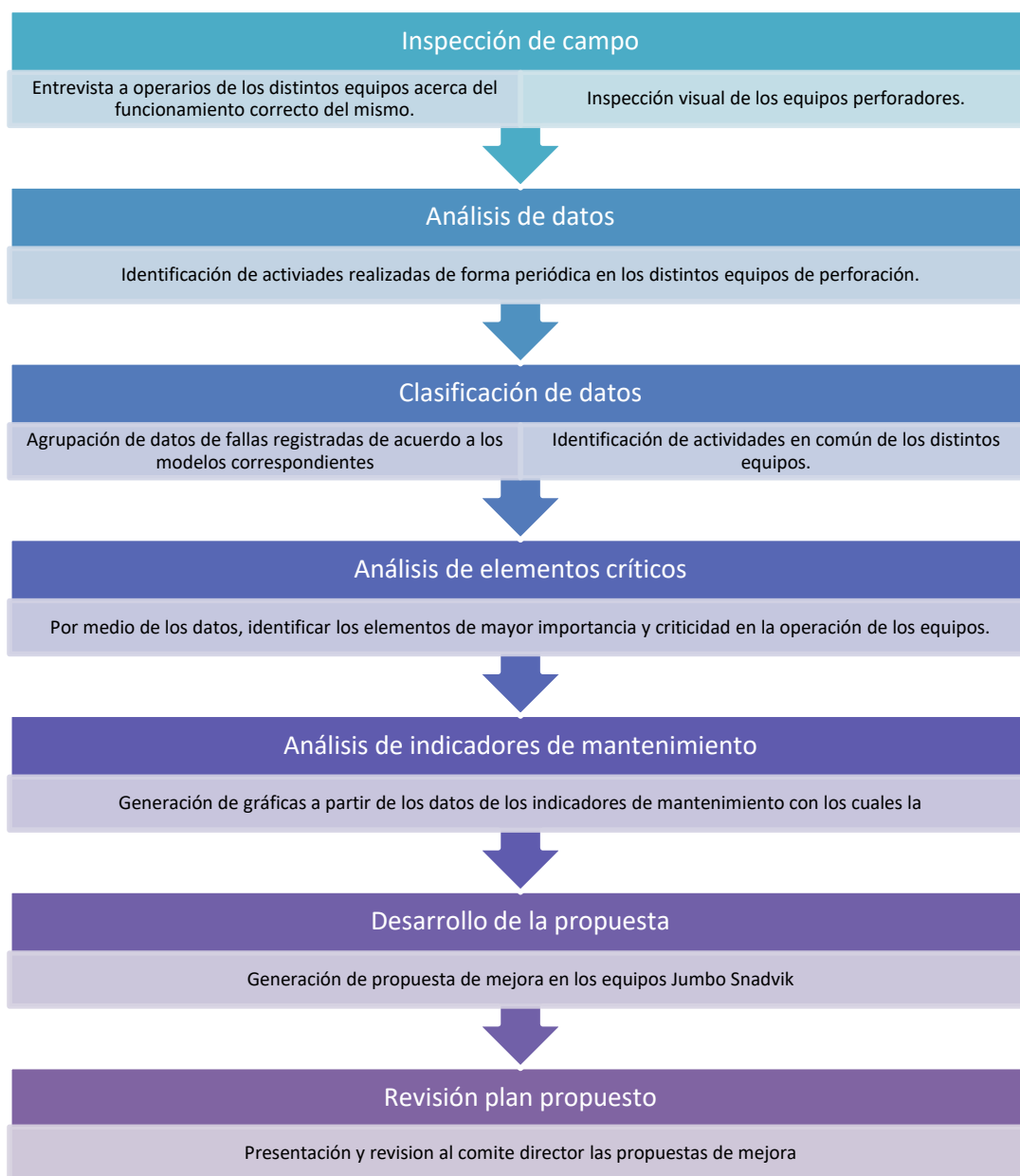


Figura 19. Metodología para la mejora del mantenimiento preventivo de jumbos sandvik

4.2 Aspectos técnicos de la actividad profesional

4.2.1 Metodología

Para llevar a cabo el estudio se emplea la metodología denominada *Data Driven Approach* (DDA), o «evaluación basada en datos». Este enfoque ha ganado popularidad en los últimos años debido al avance de herramientas informáticas que permiten el procesamiento de grandes volúmenes de información. Su principal ventaja radica en que las soluciones propuestas

se fundamentan en datos reales proporcionados por la empresa, lo que garantiza un enfoque personalizado.

Además, esta metodología se complementa con los datos provistos por el fabricante en relación con los mantenimientos recomendados. Las metodologías empleadas se orientan a garantizar una optimización efectiva del programa de mantenimiento preventivo de los jumbos en la unidad Andaychagua, asegurando un análisis integral de las condiciones operativas y la viabilidad de las soluciones propuestas.

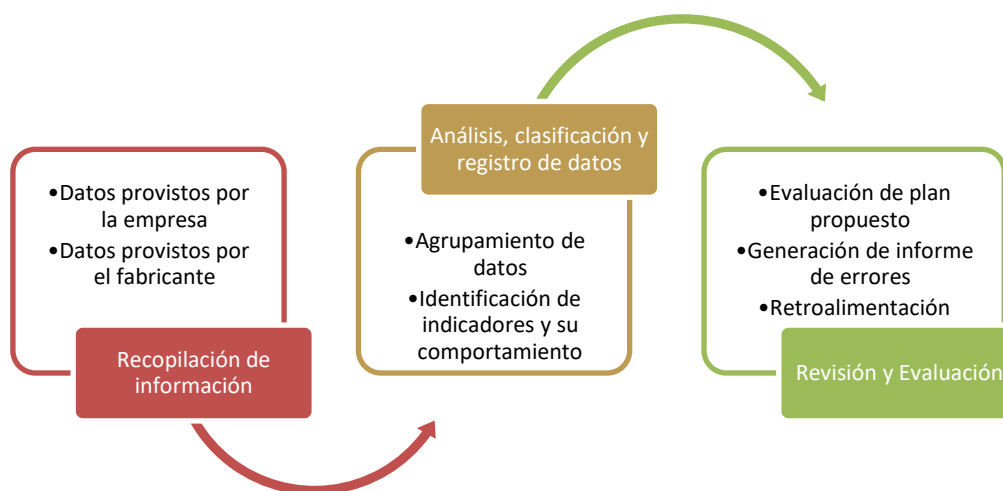


Figura 20. Ciclo de análisis y mejora continua de datos

4.2.2 Técnicas

Las técnicas empleadas durante el desarrollo del programa de mantenimiento, integrando un enfoque práctico y teórico, se describen en la Figura 21.

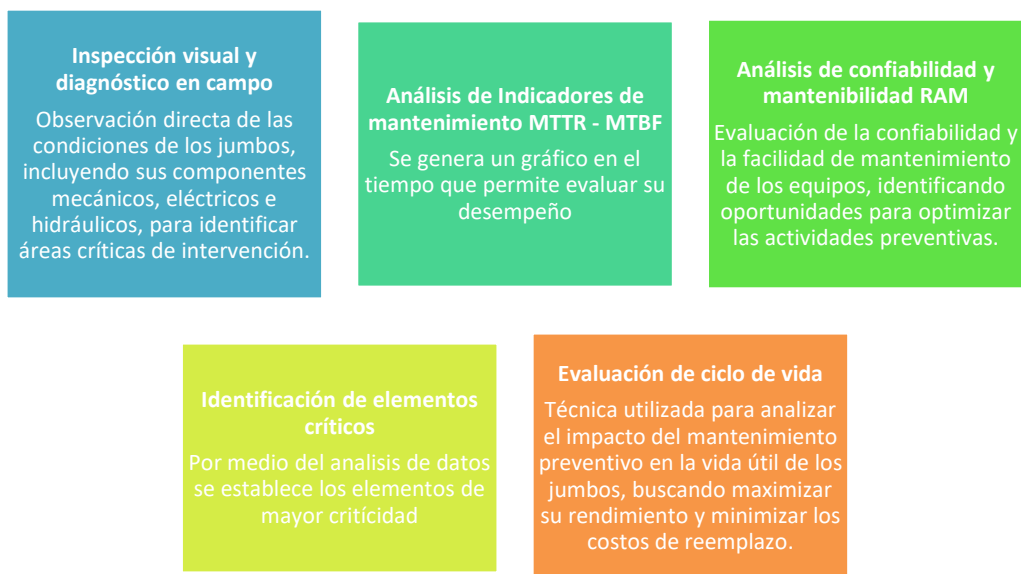


Figura 21. Metodología de diagnóstico y análisis de confiabilidad para equipos de perforación

4.2.3 Instrumentos

Los instrumentos utilizados para llevar a cabo el presente estudio son en su mayoría de tipo tecnológico, ya que la base de datos provista por la empresa para el análisis se encuentra en formato Excel. Los datos disponibles incluyen diagramas de Pareto, histogramas de barras y registros de actividades diarias realizadas por los operadores en los equipos de perforación.

A modo de ejemplo, en la Figura 16 se presenta un diagrama de Pareto que muestra la duración de las actividades de mantenimiento realizadas en el equipo perforador J417 durante la quinta semana del año 2023. Asimismo, en la Figura 1 se aprecia un histograma de barras correspondiente al consumo de lubricantes en diciembre de 2021.



Figura 22. Diagrama de Pareto – mantenimiento J417 05-26

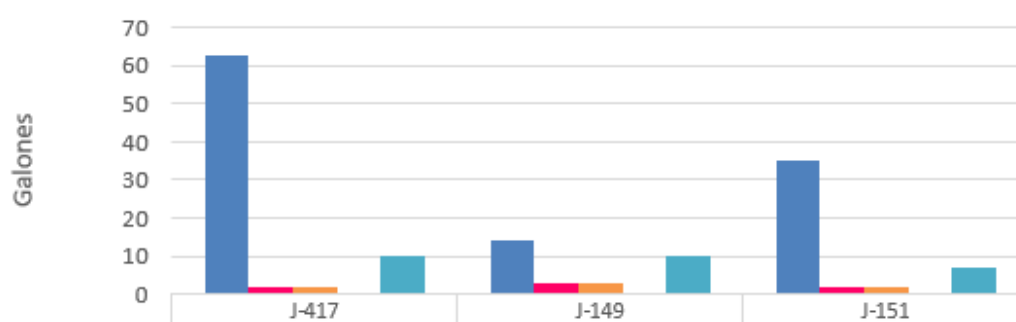


Figura 23. Histograma – consumo de lubricantes

Estos datos permiten identificar patrones de falla o actividades recurrentes inusuales, que pueden ser optimizadas o integradas en el plan de mantenimiento actual con el fin de incrementar la vida útil del equipo y su disponibilidad.

4.2.4 Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades

El estudio se lleva a cabo a partir de la base de datos de mantenimiento provista por la empresa, digitalizada en formato Excel, la cual incluye indicadores de mantenimiento, registros de actividades diarias de los operarios, entre otros.

Por otro lado, para la ejecución de los procedimientos de mantenimiento se requieren diversos instrumentos de medición y herramientas mecánicas, los cuales se detallan a continuación.

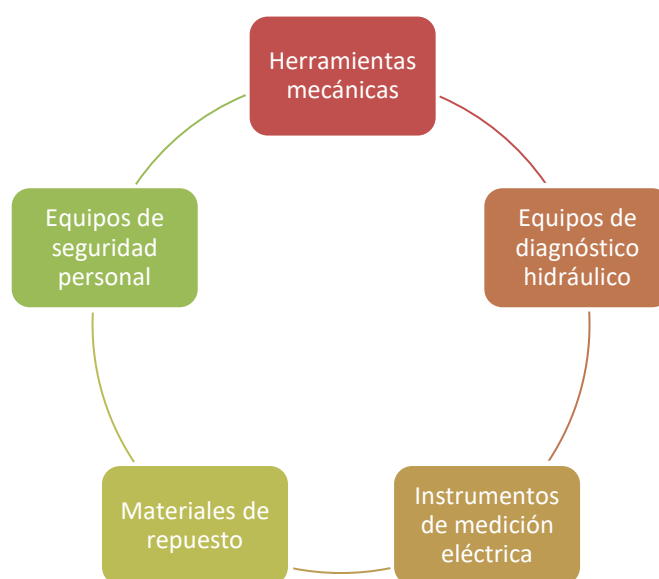


Figura 24. Flujo de recursos para mantenimiento y operaciones

En la Tabla 8 se presentan los equipos utilizados para llevar a cabo las actividades de mantenimiento en los equipos de perforación Sandvik correspondientes a los modelos mencionados.

Tabla 8. Instrumentos que utilizar en el desarrollo de las actividades de mantenimiento preventivo

Equipo/Material	Descripción	Función
Herramientas mecánicas	Llaves, destornilladores, extractores, gatos hidráulicos, entre otros.	Desmontaje, montaje y ajuste de componentes mecánicos en los jumbos.
Equipos de diagnóstico hidráulico	Bancos de prueba para medir presión y caudal en sistemas hidráulicos.	Verificar el correcto funcionamiento de los sistemas hidráulicos de los equipos.
Instrumentos de medición eléctrica	Multímetros, amperímetros y analizadores de redes.	Diagnosticar y solucionar problemas en los sistemas eléctricos de los jumbos.

Sensores de monitoreo predictivo	Sensores para medir vibraciones, temperaturas y desgaste de componentes.	Anticipar fallas y realizar mantenimiento proactivo en los componentes críticos.
Software de gestión de mantenimiento (CMMS)	Herramientas como SAP PM o similares para programar y registrar actividades de mantenimiento.	Planificar y monitorear las tareas de mantenimiento preventivo de manera eficiente.
Cámara térmica	Dispositivo para capturar imágenes térmicas de los equipos.	Identificar puntos calientes y problemas en componentes eléctricos e hidráulicos.
Equipos de seguridad personal	Cascos, guantes, gafas de seguridad, botas, arneses, entre otros.	Garantizar la protección de los técnicos durante las actividades de mantenimiento.
Materiales de repuesto	Filtros, mangueras hidráulicas, aceites lubricantes, empaques, entre otros.	Realizar el mantenimiento preventivo y reemplazo de componentes desgastados o dañados.
Vehículos de apoyo logístico	Camionetas y grúas hidráulicas.	Transporte de equipos, materiales y herramientas hacia las áreas de operación.
Computadora y estación de trabajo	Equipos con software especializado para análisis y reportes.	Analizar datos, generar reportes y realizar simulaciones relacionadas con el mantenimiento preventivo.
Cámara fotográfica	Cámara digital para capturar imágenes del estado de los equipos.	Documentar visualmente las condiciones iniciales y los resultados tras el mantenimiento.
Material de oficina	Papelería, carpetas, marcadores, entre otros.	Organización de documentos, informes y planificación de las actividades de mantenimiento.

4.3 Ejecución de las actividades profesionales

4.3.1 Cronograma de actividades realizadas.

El cronograma de actividades se organiza en función de las diferentes fases del proyecto, con el objetivo de garantizar un análisis integral y oportuno del programa de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos de perforación (jumbos). Las actividades se distribuyen en un periodo de tiempo previamente establecido, con fechas específicas de inicio y finalización que permiten un seguimiento adecuado del avance del proyecto.

Tabla 9. Cronograma de actividades

Actividad	Semana 1 (Ene 1 - Ene 7)	Semana 2 (Ene 8 - Ene 14)	Semana 3 (Ene 15 - Ene 21)	Semana 4 (Ene 22 - Ene 28)	Semana 5 (Ene 29 - Feb 4)	Semana 6 (Feb 5 - Feb 11)	Semana 7 (Feb 12 - Feb 18)	Semana 8 (Feb 19 - Feb 25)	Semana 9 (Feb 26 - Mar 3)
1. Recolección de información técnica y data asociada a los equipos Jumbo DS311, DD311 y DL331	X								
2. Análisis de información disponible y definición del periodo de tiempo sobre el cual se realizará el estudio, basado en la data disponible y el comportamiento de esta en el tiempo.		X	X						
3. Análisis y Diagnóstico de la situación de mantenimiento actual.			X						
4. Identificación y/o cálculo de Indicadores de mantenimiento generales de los modelos Jumbo.				X					
5. Identificación mediante análisis de data de los elementos que hayan presentado mayores fallas en los modelos Jumbo.				X					

6. Identificación de elementos críticos en la operación de los modelos Jumbo propuestos.	X			
7. Análisis de modo de falla y efecto de los elementos críticos		X		
8. Generación de alternativas de solución orientados a preservar la vida útil de elementos críticos		X		
9. Asociación y recopilación de datos generados de elementos críticos.			X	
10. Generación de plan de mantenimiento partir de recomendaciones del fabricante y del análisis realizado a partir de la data disponible.				X
11. Propuesta de implementación de plan de mantenimiento digital.			X	
12. Preparación del Informe Técnico				X
13. Revisión y Validación del Informe				X
14. Presentación de Resultados a Gerencia				X

4.3.2 Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales

La ejecución de las actividades profesionales orientadas al mejoramiento del programa de mantenimiento preventivo de los jumbos se llevó a cabo mediante una secuencia operativa estructurada, que integra etapas de diagnóstico, planificación, implementación y evaluación. Esta secuencia permitió desarrollar un enfoque sistemático y alineado con los objetivos del estudio. A continuación, se describe en detalle el proceso de trabajo ejecutado:

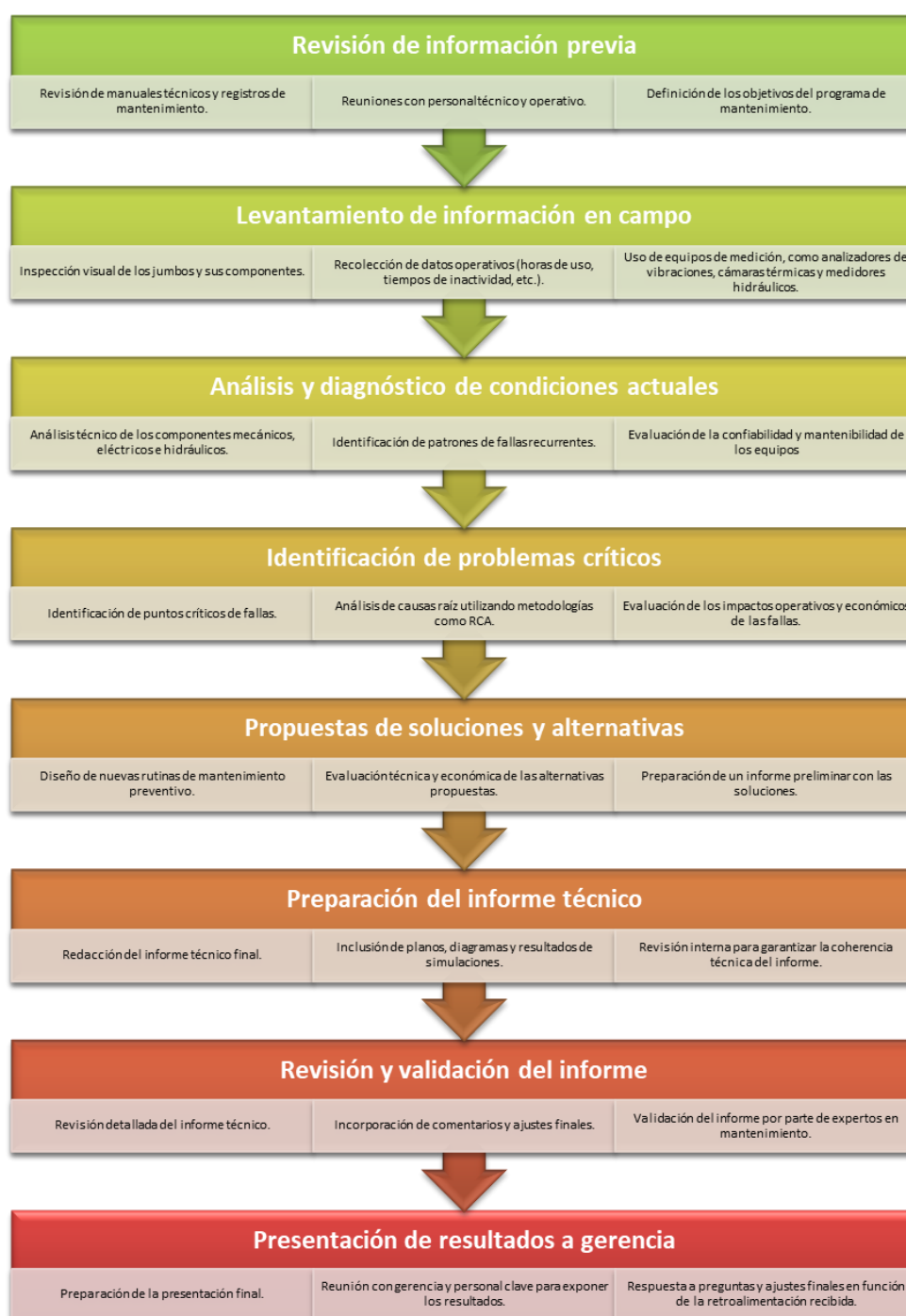


Figura 25. Diagrama del flujo de mantenimiento preventivo aplicado al Jumbo

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1. Resultados finales de las actividades realizadas

En el presente apartado se exponen los resultados obtenidos respecto a la propuesta de mejora del plan de mantenimiento de la empresa. Para alcanzar dicho objetivo, se identificaron fallas en los equipos que, por sus características, pudieron haberse evitado.

La propuesta del presente estudio busca reducir los tiempos de parada no programados de los equipos de perforación Sandvik. La base de datos disponible indica que los mayores tiempos de inactividad corresponden a fallas que requirieron el reemplazo de componentes; en su mayoría, estas pudieron haberse prevenido. A continuación, se presenta una tabla que recopila las distintas fallas registradas en los sistemas de los equipos de perforación, así como sus causas.

Tabla 10 .Fallas registradas en los equipos

Sistema	Subsistema / elemento	Posibles fallas	Causas
Sistema ansul	Empaquetaduras/sellos	Falla	Desgaste, Mala calidad, Humedad
Sistema de admisión	Cámaras	Mal funcionamiento, Obstrucción	Suciedad, Mala regulación
Sistema de chasis	Chasis, Articulación central, Abrazaderas, Cantoneras, Carril	Rotura, Desgaste, Desalineamiento	Sobrecarga, Falta de engrase, Mala instalación, Incidente
Sistema de compresor	Acumuladores	Mal funcionamiento, Fuga	Desgaste, Mala operación, Humedad
Sistema de lubricación	Carter, Empaquetaduras/sellos, Chumaceras	Desgaste prematuro, Fuga, Rozamiento	Falta de lubricación, Mala calidad, Falta de inspección

Sistema de perforación	Unidad de rotación, Telescópico	Rotura, Desgaste excesivo, Desalineamiento	Carga pulsante, Desgaste, Mala operación, Mala regulación
Sistema de posicionamiento	ECM (Módulo de Control Electrónico)	Mal funcionamiento, Corte de energía, Fluctuaciones	Falla de diseño, Cortocircuito, Desequilibrio de secuencia de fase
Sistema de sostenimiento	Por identificar	Rotura, Desgaste, Desalineamiento	Sobrecarga, Base inestable, Mala instalación
Sistema de transmisión	Caja, Ejes, Diferenciales, Cardanes, Crucetas	Rotura, Desgaste, Desalineamiento	Falta de engrase, Carga excesiva, Mala operación
Sistema eléctrico	Arrancador Alternador, Bocina / Claxon, Borneras, Breaker, Cables, Circulina, Faros	Corte de energía, Mal funcionamiento, Cortocircuito, Falso contacto	Sobrecarga, Cortocircuito, Mala instalación, Humedad
Sistema hidráulico	Bomba hidrostática, Motor hidrostático, Cilindros, Tanque hidráulico, Empaquetaduras/sellos	Fuga, Mal funcionamiento, Desgaste	Humedad, Desgaste, Mala operación
Sistema motor diésel	Admisión, Escape, Combustible, Refrigeración, Motor, Carter	Mal funcionamiento, Obstrucción, Calentamiento	Suciedad, Mala regulación, Falta de lubricación
Sistema de dirección	Sistema de dirección	Desgaste, Desalineamiento, Mal funcionamiento	Mala operación, Mala regulación, Falta de inspección
Sistema hidrostático	Bomba hidrostática, Motor hidrostático	Fuga, Mal funcionamiento, Desgaste	Humedad, Desgaste, Mala operación
Llantas	Llantas	Desgaste, Rotura, Desequilibrio	Mala operación, Sobrecarga, Sub- dimensionamiento

Las fallas presentadas en la tabla comparten la característica de que pudieron haberse evitado mediante una segunda fase de control o una inspección previa a la operación continua de las máquinas. Asimismo, se trata de fallas de tipo correctivo, es decir, eventos que implicaron desgaste excesivo o rotura del componente, lo cual obligó al reemplazo del elemento afectado. Esta situación incrementa considerablemente tanto el tiempo de parada de los equipos como los costos asociados, especialmente en aquellos casos en los que la pieza de repuesto no se encuentra disponible de manera inmediata, y debe ser importada o fabricada nuevamente.

El gráfico de Pareto presentado en la Figura 26, basado en el número de fallas por equipo, revela una distribución no uniforme entre los distintos sistemas. Se observó que el sistema identificado como «en blanco o pendiente por identificar» concentró el mayor número de fallas, seguido por el sistema de posicionamiento, el sistema de sostenimiento y el sistema de perforación, los cuales acumularon una cantidad significativa de incidencias. Estos cuatro

sistemas representaron aproximadamente el 80 % del total de fallas, evidenciando la aplicación del principio de Pareto. En contraste, sistemas como el sistema Ansul y el sistema de lubricación presentaron un número de fallas considerablemente menor. El análisis del porcentaje acumulado confirmó la concentración de fallas en los primeros sistemas listados, lo que indica la necesidad de priorizar la investigación y el mantenimiento en estas áreas. La información obtenida sugiere que la implementación de medidas preventivas y correctivas en los sistemas con mayor incidencia podría generar una reducción significativa del número total de fallas.

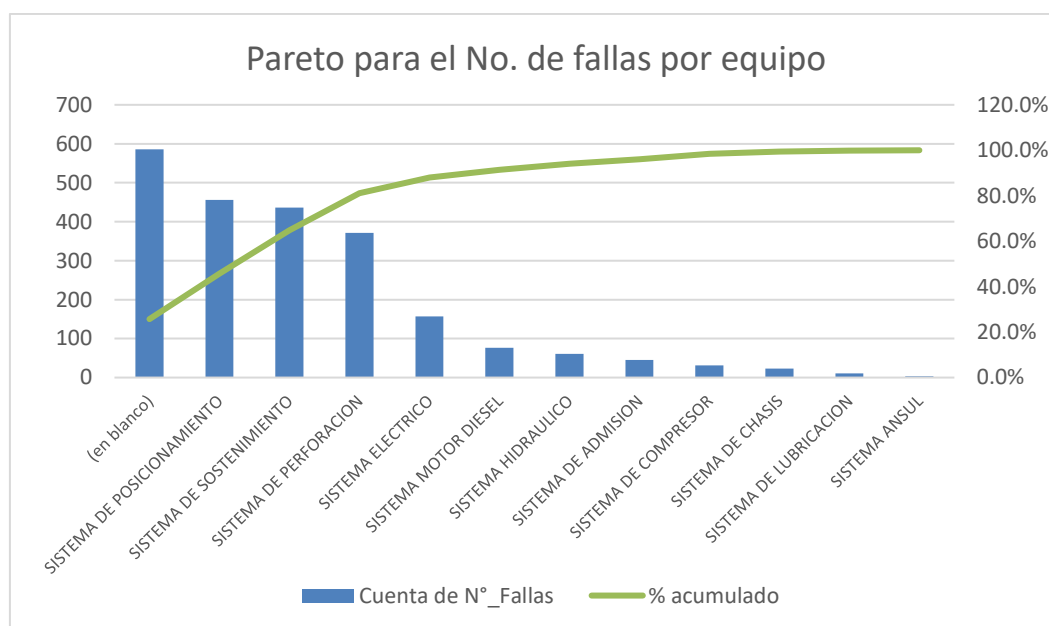


Figura 26. Pareto para el N.º de fallas por equipo

Por este motivo, la propuesta de mejora a las actividades de mantenimiento consiste en el diseño de un formato que permita registrar las actividades realizadas en los distintos equipos de perforación. Este formato incluye una sección destinada a la verificación de la inspección ejecutada, lo que permite asegurar que el procedimiento fue realizado de forma correcta y se evita así la ocurrencia de fallas por mantenimiento inadecuado, falta de inspección, regulación incorrecta u operación deficiente.

Adicionalmente, es necesario incorporar a los operarios de los equipos en las actividades de mantenimiento, dado que son ellos quienes permanecen mayor tiempo en contacto con las máquinas y quienes pueden detectar con mayor facilidad sonidos anómalos o comportamientos inusuales. Por esta razón, se ha diseñado un formato que los operadores deben completar diariamente en relación con el funcionamiento del equipo. Este formato tiene un carácter exclusivamente informativo para los técnicos de mantenimiento. Cabe señalar que se

asume que los operarios cuentan con la calificación adecuada para operar los distintos equipos, por lo que las fallas atribuibles a una mala operación deberían ser mínimas o inexistentes.

A continuación, en las Tablas 11 y 12 se presentan, respectivamente, los formatos propuestos para el control de las actividades mencionadas y para el registro de situaciones inusuales por parte de los operarios

Tabla 11. Registro de cumplimiento y verificación de actividades de mantenimiento

Registro de Cumplimiento y Verificación de Actividades de Mantenimiento		
Responsable:	Fecha:	
Actividad de mantenimiento:		
Equipo:	Sistema:	
Subsistema:	Elemento:	
Hora de inicio actividad:		
Hora de fin actividad:		
El formato sugiere esperar un lapso de 10 a 15 minutos y realizar una inspección de la actividad realizada.		
Hora de inicio de inspección:	SI	NO
La actividad realizada se complementó de forma satisfactoria		
La actividad realizada afecto a otro sistema, subsistema u elemento del equipo		
Considera usted que es necesario la intervención de un equipo que garantice que la actividad se realizó de forma correcta		
Observaciones:		
Hora de fin de inspección:		

Nota: En caso de que todas las casillas se llenen con respuestas positivas, se considera que la actividad se realizó de forma satisfactoria y de igual manera la inspección, caso contrario es necesario la intervención del equipo de mantenimiento y de un análisis particular.

Tabla 12. Registro de los operarios

Operario:	Fecha:		
Equipo:			
	Registro de Control		
	SI	NO	
¿El equipo presenta un sonido extraño a sus condiciones de operación habitual?			
¿El equipo presenta fugas de aceite, lubricantes o líquidos ajenos?			
¿Los elementos que conforman el mecanismo se encuentran trabajando de forma correcta?			
¿Los indicadores del tablero funcionan de forma correcta?			
¿Las luces y faros se encuentran operando de forma correcta?			
¿Existió durante la jornada laboral un evento en el cual el equipo haya sido sobre cargado para cumplir el cronograma establecido?			
Observaciones:			

El registro diario que deben completar los operarios permite prevenir actividades de mantenimiento no programadas y reducir los tiempos de parada. Los operarios desempeñan un papel fundamental en la extensión de la vida útil de los equipos, al ser quienes mantienen un contacto continuo con ellos. De este modo, cualquier evento inusual es advertido al equipo de mantenimiento, el cual tomará las acciones correspondientes.

5.2. Logros alcanzados

Para analizar la efectividad de los resultados obtenidos, se utilizaron los indicadores de mantenimiento disponibles en la base de datos de la empresa, específicamente el tiempo medio entre fallas (MTTF) y el tiempo medio entre reparaciones (MTTR). Las Figuras 20 y 21, presentadas a continuación, muestran la evolución de estos indicadores durante el periodo comprendido entre enero y agosto del año 2024, en el cual se puede observar una tendencia decreciente desde el inicio del año.

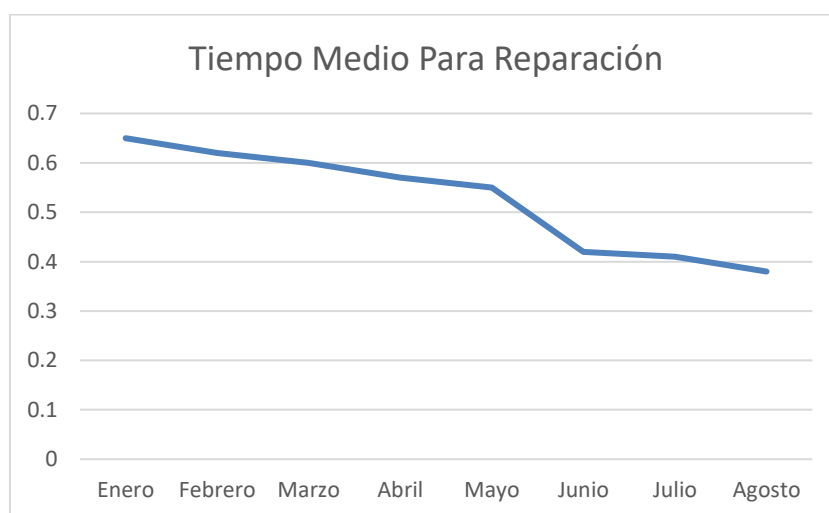


Figura 27. Tiempo medio para reparación – enero/agosto

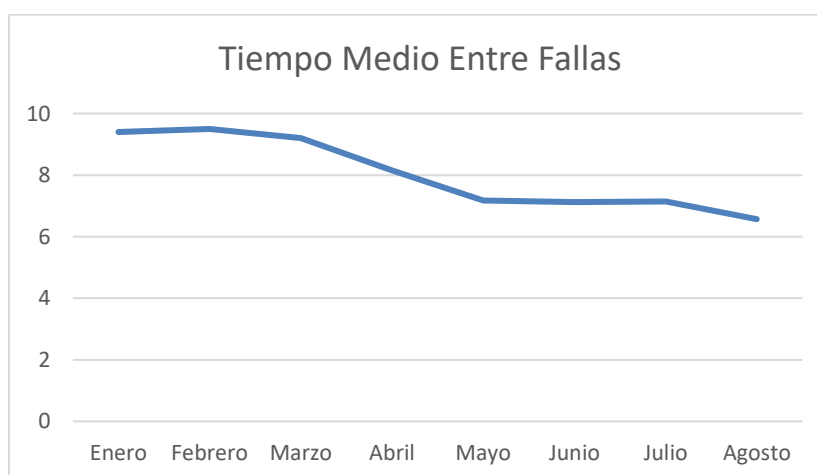


Figura 28. Tiempo medio entre falla – enero/agosto

De igual manera, se proponen las siguientes actividades de mantenimiento orientadas a los equipos y sistemas que concentran la mayor proporción de fallas en la empresa. Esta propuesta se presenta en la Tabla 14.

Tabla 13. Estrategias de mantenimiento

Sistema (según Pareto)	Estrategias de mantenimiento
(en blanco)	* Investigar a fondo la naturaleza de las fallas en este sistema. (Identificar el sistema). * Realizar un análisis detallado de las causas raíz de las fallas. * Evaluar la severidad de las consecuencias de estas fallas. * Determinar la frecuencia de ocurrencia de las fallas. * Analizar la efectividad de los métodos de detección actuales. * Priorizar la implementación de acciones correctivas basadas en el NPR resultante.
Sistema de posicionamiento	* Realizar un análisis de modos de falla y efectos (AMFE) específico para este sistema. * Recopilar datos históricos de fallas para determinar la ocurrencia. * Evaluar la efectividad de los sensores y sistemas de monitoreo para la detección. * Establecer un plan de mantenimiento preventivo enfocado en los componentes críticos. * Calcular el NPR para los modos de falla más críticos y priorizar acciones.
Sistema de sostenimiento	* Realizar inspecciones y pruebas no destructivas para evaluar la integridad del sistema. * Evaluar el impacto de las fallas en la seguridad y la producción. * Determinar la frecuencia de fallas debido a desgaste o fatiga. * Evaluar la capacidad de detectar fallas a través de inspecciones visuales o monitoreo. * Desarrollar un plan de mitigación de riesgos basado en el NPR.
Sistema de perforación	* Analizar las fallas relacionadas con la unidad de rotación y el sistema telescópico. * Evaluar la severidad de las fallas en términos de tiempo de inactividad y costos. * Recopilar datos sobre la frecuencia de fallas debido a carga pulsante o desgaste. * Evaluar la efectividad de los sistemas de control y monitoreo para la detección temprana. * Implementar un programa de mantenimiento predictivo basado en el NPR.
Sistema eléctrico	* Analizar las fallas de cada uno de los elementos que componen el sistema eléctrico. * Evaluar las consecuencias de los cortos circuitos, pérdidas de energía, y fallos de los controladores electrónicos. * Evaluar la calidad de los componentes eléctricos y su tiempo de vida útil. * Evaluar la capacidad de la detección de fallas en cada uno de los subsistemas y elementos. * Realizar un plan de mitigación de riesgos en base al NPR de los elementos con mayor criticidad.

5.3. Dificultades encontradas

Las propuestas presentadas en el estudio consisten en la implementación de documentos técnicos de control que permitan verificar que las distintas actividades de mantenimiento se han ejecutado correctamente y que los equipos operan de manera eficiente. Para este último aspecto, resulta indispensable la colaboración de los operarios de los equipos de perforación. A continuación, se detallan las dificultades encontradas en relación con cada una de las propuestas planteadas.



Figura 29. Impacto de la verificación de actividades de mantenimiento

Al implementar un cuadro de control que verifique que las actividades de mantenimiento se han realizado de forma correcta, se requiere una mayor inversión de tiempo, e incluso podría ser necesario incrementar la cantidad de operarios. Asimismo, si la propuesta se aplica adecuadamente, es probable que se identifiquen fallas adicionales, lo que incrementaría el tiempo destinado a las actividades de mantenimiento preventivo. No obstante, esta situación conllevaría una reducción en las actividades de mantenimiento correctivo y en los paros no programados, lo cual justifica ampliamente la implementación de la propuesta.



Figura 30. Proceso de registro diario y su influencia en el mantenimiento

La segunda propuesta del estudio consiste en llevar un registro diario de control por parte de los operarios, de modo que, en caso de presentarse alguna situación inusual, el equipo de mantenimiento se mantenga informado. La principal dificultad asociada a esta propuesta radica en la alta dependencia de los operarios, su experiencia y su nivel de calificación. Por tal motivo, se requiere una capacitación constante, así como el fortalecimiento del sentido de responsabilidad y compromiso de los operarios con respecto a los equipos que manejan.

5.4. Planteamiento de mejoras

En esta sección se expone el procedimiento y la metodología aplicados para la implementación de las propuestas desarrolladas en el presente estudio. Dichas propuestas tienen como finalidad reducir los tiempos de paro derivados de actividades de mantenimiento no programadas, lo cual se traduce en un ahorro económico para la empresa.

5.4.1. Metodologías propuestas

Las propuestas formuladas en este estudio corresponden a herramientas empleadas en metodologías de gestión de proyectos, en particular, listas de verificación (*checklists*) y cuadros de control. La aplicación de estas técnicas conlleva ciertas ventajas en relación con el control de calidad y la ejecución de las actividades de mantenimiento:

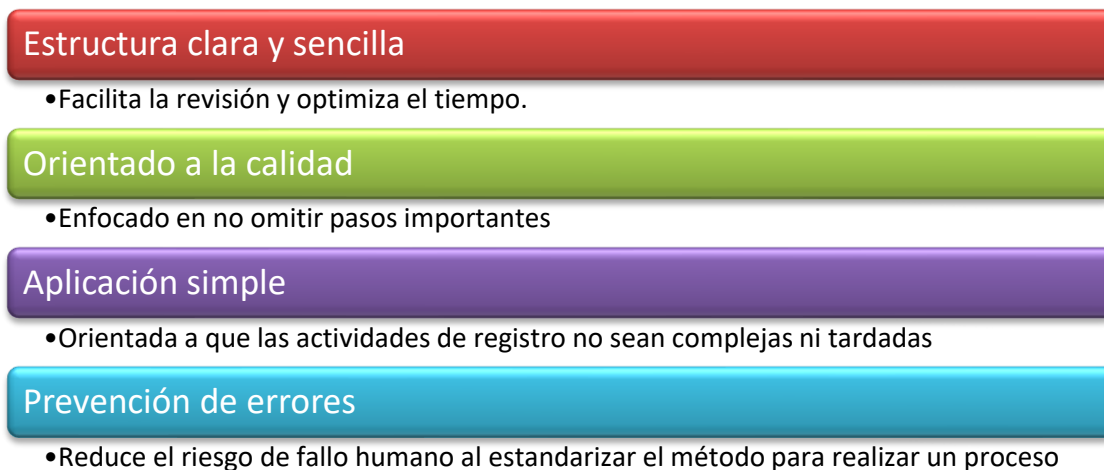


Figura 31. Secuencia de mantenimiento preventivo propuesto para mejorar la disponibilidad

5.4.2. Descripción de la implementación

Para llevar a cabo la implementación de las propuestas mencionadas, es necesaria la aprobación del comité ejecutivo, dado que se requiere un presupuesto que contemple cursos de capacitación, formatos y hojas de evaluación relacionadas con la aplicación de las nuevas propuestas. A continuación, se detallan los pasos para su implementación:

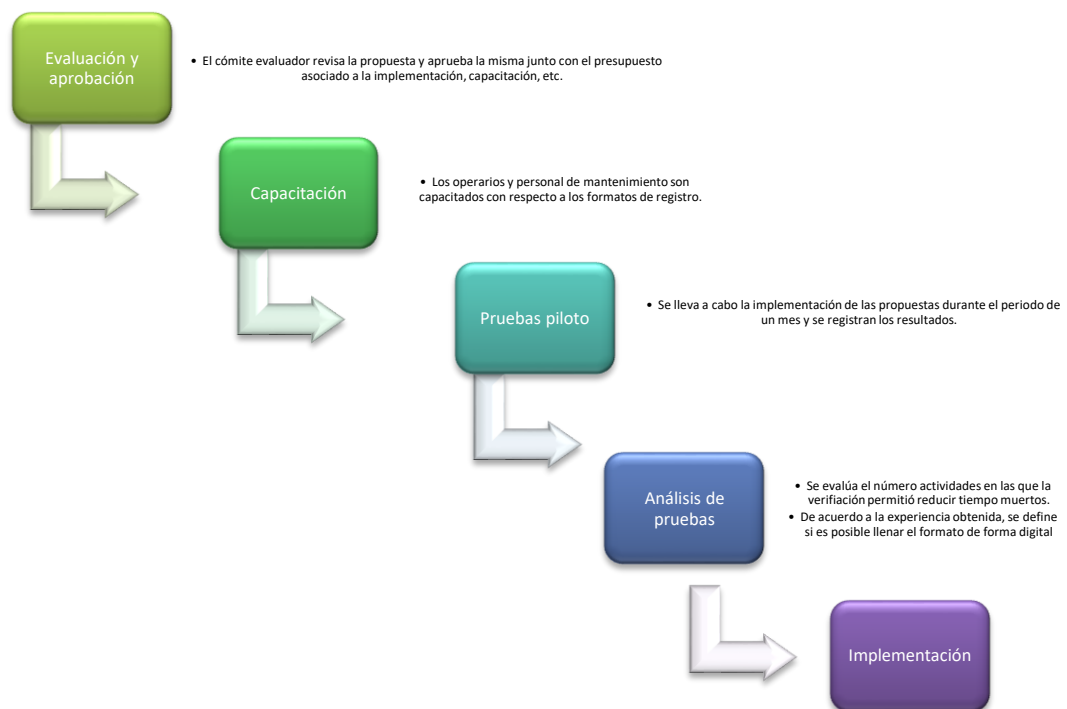


Figura 32. Proceso de Implementación de mejoras en mantenimiento

5.5. Análisis

Las actividades de mantenimiento de los equipos Jumbo Sandvik DS311, DD311 y DS331 se registran diariamente en una base de datos interna de la empresa Sandvik. A partir del análisis de dichos registros, el presente estudio identificó que las tareas de mantenimiento que demandan mayor tiempo son las correspondientes al mantenimiento correctivo. En contraste, las actividades de mantenimiento preventivo, como el reemplazo programado de lubricantes, refrigerantes y otros fluidos esenciales, se ejecutan de forma planificada y no generan tiempos muertos.

Por otro lado, se observó que las actividades de mantenimiento correctivo representan aproximadamente el 87 % de los tiempos muertos no programados. El análisis detallado de los componentes que presentaron fallas y provocaron la detención de los equipos permitió establecer que el 95 % de estas fallas fueron ocasionadas por deficiencias en la inspección o en la ejecución del mantenimiento, mientras que solo el 5 % correspondió a fallas inminentes atribuibles a errores de diseño.

Las causas más frecuentes asociadas a las fallas incluyen la aplicación incorrecta de lubricantes, la falta de inspección, la acumulación de suciedad, el mantenimiento inadecuado, la sobrecarga de los sistemas, la operación incorrecta, el montaje defectuoso, el desalineamiento, la instalación inadecuada y la ocurrencia de cortocircuitos. Un análisis

transversal evidencia que la mayoría de estos factores tienen un origen humano y podrían haberse evitado mediante una adecuada capacitación del personal y la implementación de procedimientos de verificación.

Por lo tanto, este estudio propone incorporar una etapa de inspección posterior a cada actividad de mantenimiento, con el objetivo de garantizar su correcta ejecución. Asimismo, se recomienda la participación de los operadores de los equipos de perforación en el proceso de mantenimiento, mediante el uso de listas de verificación (*checklist*) estructuradas por sistemas y componentes, las cuales serán registradas por el equipo de mantenimiento. Esta práctica permitirá una planificación más precisa y contribuirá a la reducción de los tiempos muertos.

5.6. Aporte del bachiller en la empresa y/o institución

implementación de las propuestas desarrolladas en este estudio permite incrementar la calidad en la ejecución de los procesos de mantenimiento, principalmente a través de la inclusión de pasos de verificación. Aunque se requiere una inversión inicial destinada a la capacitación del personal operativo, esta se encuentra plenamente justificada por la capacidad de prevenir fallas y minimizar los tiempos de inactividad de los equipos.

Como ejemplo representativo, si se hubiera verificado correctamente la alineación del eje de la bomba durante una actividad de mantenimiento se habría evitado el cortocircuito que posteriormente provocó el paro total del equipo Jumbo empernador. Este incidente se tradujo en pérdidas económicas significativas para la empresa. Por tanto, el aporte del bachiller radica en la optimización del programa de mantenimiento mediante soluciones técnicas viables, orientadas a la mejora continua y a la eficiencia operativa de la empresa.

CONCLUSIONES

- Se determinó, mediante el presente estudio, que el tiempo dedicado a las actividades de mantenimiento correctivo supera en un 85 % al requerido por el mantenimiento preventivo. Esto se debe a que las actividades correctivas no están programadas, lo que implica demoras asociadas a la adquisición de repuestos, disponibilidad de mano de obra especializada, entre otros factores.
- El análisis de la base de datos que registra las actividades de mantenimiento permitió establecer que el 95 % de las fallas que originaron mayores tiempos muertos fueron consecuencia de una aplicación inadecuada del mantenimiento o de la falta de inspección, mientras que solo el 5 % correspondió a fallas inevitables atribuibles a defectos de diseño.
- Se comprobó que, al involucrar a los operadores de los equipos como canal principal de comunicación entre los equipos Jumbo y el área de mantenimiento, fue posible identificar de manera oportuna anomalías menores que, de no haber sido atendidas, habrían derivado en tiempos de paro no programados.
- Se evidenció que los indicadores de mantenimiento MTTR (Tiempo Medio de Reparación) y MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) mostraron una mejora aproximada del 25 % tras la aplicación de las propuestas de mejora planteadas en el presente estudio.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar la implementación de listas de verificación (checklist) en formato digital, con el fin de optimizar el tiempo empleado en el registro y control de las actividades de mantenimiento.
- Se sugiere que las preguntas incluidas en el *checklist* sean revisadas y actualizadas de manera continua, de modo que, en función de las experiencias operativas diarias, puedan ampliarse, modificarse o eliminarse para mantener su relevancia y eficacia.
- Se recomienda que las capacitaciones relacionadas con las propuestas planteadas se impartan de manera segmentada, adaptando los contenidos según el perfil del personal operativo o del equipo de mantenimiento, a fin de maximizar la asimilación y aplicación del conocimiento.
- Se sugiere incluir en la base de datos de actividades de mantenimiento los registros asociados a la implementación de las propuestas descritas en este estudio, para facilitar su seguimiento, evaluación y mejora continua.

REFERENCIAS

1. **Sandvik Group.** *Sitio oficial de Sandvik Latinoamérica.* [en línea]. Disponible en: <https://www.home.sandvik/es-la/> [consulta: 28 abr. 2025].
2. **Bedi, J. K., Rahman, R. A., Din, Z.** *Heavy Machinery Operators: Necessary Competencies to Reduce Construction Accidents.* IOP Conference Series: Earth and Environmental Science [en línea]. 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/641/1/012007> [consulta: 11 ene. 2025].
3. **Delgado, A., Aliaga, D., Carlos, C., Vergaray, L., Carbajal, C.** *Artificial Intelligence Model based on Grey Clustering for Integral Analysis of Industrial Hygiene Risk.* International Journal of Advanced Computer Science and Applications [en línea]. 2021; 12(4). Disponible en: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120449> [consulta: 3 feb. 2025].
4. **Väyrynen, S.** *Safety and ergonomics in the maintenance of heavy forest machinery.* Accident Analysis & Prevention [en línea]. 1984; 16(2). Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(84\)90036-8](https://doi.org/10.1016/0001-4575(84)90036-8) [consulta: 31 mar. 2025].
5. **Wicaksono, A. Y.** *Applying ISO:31000:2018 as Risk Management Strategy on Heavy Machinery Vehicle Division.* International Journal of Science, Engineering, and Information Technology [en línea]. 2020; 4(2). Disponible en: <https://doi.org/10.21107/ijseit.v4i2.6871> [consulta: 6 ene. 2025].
6. **Bo, H., Chen, X. A., Luo, Q., Wang, W.** *Manufacturing rescheduling after crisis or disaster-caused supply chain disruption.* Computers & Operations Research [en línea]. 2023; 157. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2023.106266> [consulta: 16 ene. 2025].
7. **Aqueveque, P., Radrigan, L., Pastene, F., Morales, A. S., Guerra, E.** *Data-Driven Condition Monitoring of Mining Mobile Machinery in Non-Stationary Operations Using Wireless Accelerometer Sensor Modules.* IEEE Access [en línea]. 2021; 9. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3051583> [consulta: 15 mar. 2025].
8. **Klathae, V., Ruangchoengchum, P.** *The Predictable Maintenance 4.0 by Applying Digital Technology: A Case Study of Heavy Construction Machinery.* Review of Integrative Business & Economics. 2019; 8(1).
9. **Castro-Puma, J. A. et al.** *Automatic learning algorithm for troubleshooting in hydraulic machinery.* Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science [en línea]. 2023; 29(1). Disponible en: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v29.i1.pp535-544> [consulta: 6 abr. 2025].
10. **Kyi Swe, K., Thaung, Z. C., Moe, K. M.** *Maintenance Management Plan of Heavy Machinery.* IRE Journals. 2019; 3(2).

11. **Hidayat, H., Aviva, D., Halik, A.** *Improving the competence of heavy machinery maintenance for the community of Loa Janan Ilir District, Samarinda.* Community Empowerment [en línea]. 2022; 7(4). Disponible en: <https://doi.org/10.31603/ce.7015> [consulta: 16 feb. 2025].
12. **Díaz-González, L. C., Alvares-Estrada, I., González-Díaz, S.** *Propuesta de diseño de un taller de mantenimiento y reparación de maquinaria agrícola.* Ingeniería Industrial. 2022; XLIII(3).
13. **Soto Ocampo, C., Cano Moreno, J., Mera, J., Gil González, R.** *Método de diagnóstico de fallas de rodamientos basado en mapas de contorno.* [en línea]. 2023. Disponible en: <https://doi.org/10.5944/bicim2022.333> [consulta: 20 ene. 2025].
14. **García, F., Shkiliova, L., Carvajal, A.** *Diagnosis of the Use of Agricultural Machinery by Mechanization-Service Providers.* Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias [en línea]. 2023; 32(2). [consulta: 25 ene. 2025].
15. **Hernández Cotrina, J. M., Serrano Bringas, J. A.** *Mantenimiento preventivo de las maquinarias en el Molino Galán EIRL, Guadalupe.* Revista Ingeniería [en línea]. 2023; 7(19). Disponible en: <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v7i19.113> [consulta: 27 ene. 2025].
16. **Osorio-Cobos, F., Rodríguez-Gámez, M.** *Mantenimiento y Puesta a Punto de Motores Fuera de Borda que Operan en la Costa Ecuatoriana.* 593 Digital Publisher CEIT [en línea]. 2023; 8(5). Disponible en: <https://doi.org/10.33386/593dp.2023.5.2030> [consulta: 18 ene. 2025].
17. **Arco, J., Lizarzaburu, A., Marín, B., Arco, A.** *¿Cómo es la gestión de mantenimiento de una empresa metalmecánica?* Ingeniar. 2023; 6(12).
18. **Zhu, S., Du, W., Wang, X., Han, G., Ren, Z., Zhou, K.** *Advanced Additive Remanufacturing Technology.* Chinese Journal of Mechanical Engineering: Additive Manufacturing Frontiers [en línea]. 2023; 2(1). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cjmeam.2023.100066> [consulta: 14 mar. 2025].
19. **Bhushan, K. et al.** *Analyzing Reliability and Maintainability of Crawler Dozer BD155 Transmission Failure Using Markov Method and Total Productive Maintenance.* Sustainability (Switzerland) [en línea]. 2022; 14(21). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su142114534> [consulta: 5 abr. 2025].
20. **Kim, S., Lee, J., Kang, C.** *Analysis of industrial accidents causing through jamming or crushing accidental deaths in the manufacturing industry in South Korea.* Safety Science [en línea]. 2021; 133. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104998> [consulta: 9 feb. 2025].
21. **Khadim, Q. et al.** *Experimental investigation into the state estimation of a forestry crane using the unscented Kalman filter.* Mechanism and Machine Theory [en línea]. 2023; 189.

- Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2023.105405> [consulta: 15 abr. 2025].
22. **Krynke, M., Knop, K., Mazur, M.** *Maintenance management of large-size rolling bearings in heavy-duty machinery*. Acta Montanistica Slovaca [en línea]. 2022; 27(2). Disponible en: <https://doi.org/10.46544/AMS.v27i2.04> [consulta: 28 ene. 2025].
 23. **Dumovic, M.** *Repair and Maintenance Procedures for Heavy Machinery Components*. 2003.
 24. **Necas, L., Novak, J.** *The Networking of Maintenance Entities for Production and Other Processes*. MM Science Journal [en línea]. 2021. Disponible en: https://doi.org/10.17973/MMSJ.2021_12_2021109 [consulta: 7 abr. 2025].
 25. **Samanta, M. S. K. B.** *Reliability centred maintenance (RCM) for heavy earth-moving machinery in an open cast coal mine*. CIM Bulletin [en línea]. 2001; 94(1056). [consulta: 12 feb. 2025].
 26. **Parmar, N. J., James, A. T., Asjad, M.** *Analysis of maintenance outsourcing challenges for belt conveyors in the Industry 4.0 era*. Journal of Global Operations and Strategic Sourcing [en línea]. 2023; 16(3). Disponible en: <https://doi.org/10.1108/JGOSS-06-2022-0050> [consulta: 19 mar. 2025].
 27. **Romanssini, M., de Aguirre, P. C. C., Compassi-Severo, L., Girardi, A. G.** *A Review on Vibration Monitoring Techniques for Predictive Maintenance of Rotating Machinery*. [en línea]. 2023. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/eng4030102> [consulta: 8 feb. 2025].
 28. **Hassan, I. U., Panduru, K., Walsh, J.** *An In-Depth Study of Vibration Sensors for Condition Monitoring*. [en línea]. 2024. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/s24030740> [consulta: 25 mar. 2025].
 29. **Jacquelyne, A., Azlis-Sani, J., Nor Azali, A., Nur-Annuar, M., Shahrul Azhar, S., Mifzal-Nazhan, M.** *Task analysis on maintenance worker (Rail Grinder) of light rail transit (LRT)*. Malaysian Journal of Public Health Medicine [en línea]. 2020; 20(Specialissue1). Disponible en: <https://doi.org/10.37268/MJPHM/VOL.20/NO.SPECIAL1/ART.704> [consulta: 10 abr. 2025].
 30. **Palosaari, J., Juuti, J., Jantunen, H.** *Piezoelectric Energy Harvesting from Rotational Motion to Power Industrial Maintenance Sensors*. Sensors [en línea]. 2022; 22(19). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/s22197449> [consulta: 13 feb. 2025].
 31. **Zhang, D., Hu, D., Xu, Y., Zhang, H.** *A framework for design knowledge management and reuse for Product-Service Systems in construction machinery industry*. Computers & Industry [en línea]. 2012; 63(4). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2012.02.008> [consulta: 21 mar. 2025].

32. **Abishek, S., Prabakaran, P. A., Sindhu Vaardini, U., Aswin Bharath, A.** *Automation in Construction Industry: Its Application and Barriers to Implementation on Construction Site*. International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology [en línea]. 2023. Disponible en: <https://doi.org/10.48175/ijarsct-13060> [consulta: 3 ene. 2025].
33. **Zheng, H., Qiao, X.** *Reliability Analysis Method of Rotating Machinery Based on Conditional Random Field*. Computational Intelligence and Neuroscience [en línea]. 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2022/7326730> [consulta: 12 ene. 2025].
34. **Khoshkerdar, M., Saeedi, R., Bagheri, A., Hajartabar, M., Darvishi, M., Gholamnia, R.** *Studying the Effectiveness of Using Intelligent Mining Machinery Systems on Health, Safety, and Environmental Parameters and Preventive Maintenance*. Journal of Health and Safety at Work. 2024.
35. **Hermawan, D., Rachmat, A.** *Análisis sobre el daño y mantenimiento de maquinaria pesada en el Departamento de Obras Públicas y Ordenamiento Territorial*. Seminar Teknologi Majalengka (STIMA) [en línea]. 2023. Disponible en: <https://doi.org/10.31949/stima.v7i0.894> [consulta: 28 ene. 2025].
36. **Bulakina, E. N., Nedzelskaya, O. N., Bikineeva, A. N., Moiseev, V. V., Pochufarov, D. O., Ketov, A. V.** *Management of maintenance service and repair of heavy-duty mining equipment during its adaptation to the working conditions*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science [en línea]. 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/823/1/012022> [consulta: 5 feb. 2025].
37. **Michalec, M., Svoboda, P., Křupka, I., Hartl, M.** *A review of the design and optimization of large-scale hydrostatic bearing systems*. Journal of Electrochemical Science and Technology [en línea]. 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2021.01.010> [consulta: 14 feb. 2025].
38. **Burggräf, P., Wagner, J., Steinberg, F., Heinbach, B., Wigger, M., Saßmannshausen, T.** *Life Cycle Assessment for Adaptive Remanufacturing: Incorporating ecological considerations into the planning of maintenance activities*. Procedia CIRP [en línea]. 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.053> [consulta: 22 feb. 2025].
39. **Kuppulakshmi, V., Sugapriya, C., Kavikumar, J., Nagarajan, D.** *Fuzzy Inventory Model for Imperfect Items with Price Discount and Penalty Maintenance Cost*. Mathematical Problems in Engineering [en línea]. 2023. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2023/1246257> [consulta: 3 mar. 2025].
40. **De Oliveira, L. B., Araújo, M. A., Dantas, M. A.** *A case study on the development of an ontology for maintenance services of heavy machinery electronic components*. ACM International Conference Proceeding Series [en línea]. 2023. Disponible en: <https://doi.org/10.1145/3615366.3625069> [consulta: 15 abr. 2025].

ANEXOS

Anexo 1. Registro de fallas frecuentes en componentes críticos del Jumbo



ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO
Inspección Equipo J-161 SEM 46
Mantenimiento Sandvik

Nro OT: 10089629
 Nro Reserva: 0
 Nro. Backlog:
 Tipo OT: PREV Tipo ACT: API

Equipo: JUM-0161-YA		JUMBO FRONTONERO DD311 J-161		N° Bitacora:	
Ubicación YA-AND-M1-JUM-FRO		FLOTA JUMBOS FRONTONEROS		N° Aviso: 10210998	
N° Plan: 33367				F. Ultimo PM: 06.11.2024	

Descripción del Aviso: Inspección Equipo J-161

Sistema: Sintoma: Causa:

Autor:

Programado	Fecha	Hora	Real	Fecha	Hora	Fecha Prevista	PARADA	
Inicio	12.11.2024	00:00	Inicio	08.11.24	10:00	PLAN 12.11.2024	SI	
Final	12.11.2024	24:00	Final	08.11.24	11:00	REAL 08.11.24	NO	X

HERRAMIENTAS DE GESTION DE SEGURIDAD

Charla	Tarjeta	Detalle de código de PETS:	PETAR	Prioridad	1-muy	Criticidad
IPERC	Candado Bloqueo		ATS	OTROS		Check List PreUso
Checklist EPP	Matriz Bloqueo		Permiso Esp.	Auditoría PETAR		PAE

TAREAS

Oper.	Descripción	Pto. Trabajo	Cantidad de Personas	Tiempo Trab. Programado	Tiempo Trabajo Real	Notificación de Hora
0010	Inspección Jum. Frontonero Sandvik	TERCER03	2	1.0	1	1

MANO DE OBRA

Pto. Trabajo	Apellidos y Nombres	Firma	Operación	H. Prog.	H. Trab. Real
Tec Mec.	Cordova ortiz Juan	<i>[Firma]</i>	0010	1	1

DIAGRAMA/OBSERVACIONES/SUGERENCIAS

Programar cambio corrector panel de control
 Programar cambio alternador



Jefe de Area Manito
 Nombre: *[Firma]*
 Fecha: *[Firma]*



Supervisor Manito
 Nombre: *[Firma]*
 Fecha: *[Firma]*



Técnico Líder
 Nombre: *[Firma]*
 Fecha: 09/11/24



V°B° Notificador
 Nombre: *[Firma]*
 Fecha: 10/11/24



Supervisor
 Nombre: *[Firma]*
 Fecha: 10/11/24

Fecha y hora de impresión: _____

Escaneado con CamScanner

REPUESTOS E INSUMOS								
Oper.	Centro / Almacén	Código	Descripción	Cant. Prog.	UN	Cant. Utilizada Real	Cantida d devuelta	Firma de Técnico Líder
			Trapo Industrial	02	kg	02	-	
			Grasa	02	kg	02	-	

OPERACIONES	
Cod. Operación	Descripción
0010	Inspección Jum. Frontonero Sandvik0010

0010 Inspección Jum. Frontonero Sandvik

NOTA: COLOCAR ENTRE LOS PARENTESIS:

(B)BUENA /(R)REGULAR /(M)MALA / (N/A) NO APLICA

- ENGRASE GENERAL

- (B) 0010 LIMPIEZA DE EQUIPO
- (B) 0020 ENFRIADOR DE ACEITE HIDRAULICO
- (B) 0030 ENFRIADOR DE ACEITE DE TRANSMISION
- (B) 0040 ARRANCADOR
- (B) 0050 ALTERNADOR
- (B) 0060 LINEA DE ADMISION
- (B) 0070 TANQUE HIDRAULICO
- (B) 0080 TABLERO ELECTRICO
- (B) 0090 TECHO DE OPERADOR
- (B) 0100 ASIENTO DE OPERADOR
- (B) 0110 CINTURON DE SEGURIDAD
- (B) 0120 GATAS DE APOYO
- (B) 0130 VERIFIC FUGAS DEL EJE DELANT Y POSTERIOR
- (B) 0140 FAROS POSTERIOR
- (B) 0150 FAROS DELANTEROS
- (B) 0160 MANGUERAS HIDRAULICAS
- (B) 0170 EXTINTOR DE INCENDIOS
- (B) 0180 SISTEMA CONTRA INCENDIOS
- (B) 0190 SEGURO DE ARTICULACIÓN CENTRAL
- (B) 0200 CAMARA DE RETROCESO
- (B) 0210 MONITOR DE CAMARA DE RETROCESO
- (B) 0220 BOMBA DE AGUA (BOOSTER)

- VIGA

- (B) 0010 CABLE DE AVANCE
- (B) 0020 CABLE DE RETORNO
- (B) 0030 SKIDS DE MESA DE PERFORADORA
- (B) 0040 CILINDRO TEMPLADOR DE CABLE
- (B) 0050 CILINDRO DE AVANCE DE PERFORADORA
- (B) 0060 SOPORTE DE CILINDRO DE AVANCE
- (B) 0070 DESLIZADERAS DE VIGA
- (B) 0080 MESA DE PERFORADORA
- (B) 0090 TAMBORA DE MANGUERA
- (B) 0100 CENTRALIZADOR DELANTERO
- (B) 0110 CENTRALIZADOR INTERMEDIO

- ✓ 0120 POLEA DELANTERA
- (✓) 0130 POLEA POSTERIOR
- (✓) 0140 POLEA DOBLE
- (✓) 0150 MANGUERAS HIDRAULICAS 2DO TRAMO
- (✓) 0160 ALINEAMIENTO DE BARRA
- (✓) 0170 TORQUE DE PERNOS DE VIGA
- (✓) 0180 BOMBA DE INFLADO
- (✓) 0190 CHUCK DE INFLADO
- (✓) 0200 DISCOS REPOSA PERNOS

- PERFORADORA

- (✓) 0010 PERFORADORA RDX5
- (✓) 0020 VALVULA DE ACUMULADOR DE BAJA
- (✓) 0030 VALVULA DE ACUMULADOR DE ALTA
- (✓) 0040 PRESION ACUMULADOR DE BAJA
- (✓) 0050 PRESION ACUMULADOR DE ALTA
- (✓) 0060 TORQUE DE PERNOS LATERALES
- (✓) 0070 PROTECTOR DE DETRITOS

- BRAZO

- (✓) 0010 CILINDRO DE BASCULACION
- (✓) 0020 CILINDRO DE MOVIMIENTO LATERAL
- (✓) 0030 MANGUERAS HIDRAULICAS 3ER TRAMO
- (✓) 0040 UNIDAD DE ROTACION
- (✓) 0050 CILINDRO HIDRAULICO TELESCOPICO
- (✓) 0060 FLANGE SOPORTE DE BOA
- (✓) 0070 COVER DE BOA 4"
- (✓) 0080 COVER DE BOA 2"
- (✓) 0090 PINES Y BOCINAS DE ARITUCLACION DE BRAZO

- HOSE DRUM

- (✓) 0010 MOTOR HIDRAULICO DE ENROLLAMIENTO DE CABLE
- (✓) 0020 COLECTOR
- (✓) 0030 MALLA PROTECTORA DE CABLE 440V
- (✓) 0040 TOPE DE CABLE 440V
- (✓) 0050 CONECTOR PENTAPOLAR

Anexo 2. Registro de control



Operario: <i>Gregorio Huaman.</i>	Fecha: <i>03-03-2024</i>	
Equipo: <i>DS-311 3417</i>		
Registro de Control		
	SI	NO
¿El equipo presenta un sonido extraño a sus condiciones de operación habitual?		✓
¿El equipo presenta fugas de aceite, lubricantes o líquidos ajenos?	✓	
¿Los elementos que conforman el mecanismo se encuentran trabajando de forma correcta?		✓
¿Los indicadores del tablero funcionan de forma correcta?	✓	
¿Las luces y faros se encuentran operando de forma correcta?	✓	
¿Existió durante la jornada laboral un evento en el cual el equipo haya sido sobre cargado para cumplir el cronograma establecido?		✓
Observaciones: <i>• Unidad de Giro presenta desgaste interno, fuga de aceite</i> <i>• Programar Cambio de Unidad de Giro</i>		


J. Bulla



Anexo 3. Registro de cumplimiento y verificación de actividades de mantenimiento



Registro de Cumplimiento y Verificación de Actividades de Mantenimiento		
Responsable: <u>JESUS PARRADO PERO</u>	Fecha: <u>10-04-2024</u>	
Actividad de mantenimiento: <u>Cambio de diafragma de perforadora</u>		
Equipo: <u>DD 311 - ISI</u>	Sistema: <u>PERCUSION</u>	
Subsistema: <u>PERFORADORA</u>	Elemento: <u>DIAFRAGMA</u>	
Hora de inicio actividad: <u>10:00 AM.</u>		
Hora de fin actividad: <u>11:30 AM</u>		
El formato sugiere esperar un lapso de 10 a 15 minutos y realizar una inspección de la actividad realizada.		
Hora de inicio de inspección: <u>10:00 AM</u>		
	SI	NO
La actividad realizada se complementó de forma satisfactoria	✓	
La actividad realizada afecto a otro sistema, subsistema u elemento del equipo		✓
Considera usted que es necesario la intervención de un equipo que garantice que la actividad se realizó de forma correcta	✓	
Observaciones:		
Hora de fin de inspección: <u>10:20 AM.</u>		

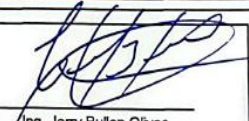
Téc. Mantenimiento
Parrado Pero, Jesus

T. Buth Olaya
Supervisor



C. Huato. V.

Anexo 4. Performance mensual

PERFORMANCE MENSUAL SETIEMBRE SANDVIK - ANDAYCHAGUA 2024																			
Item	Equipo	Modelo	Serie	Horometro Inicial D2+E	Horometro Final D2+E	Horas						N° de Fallas	N° de Paradas	D.M. Sandvik	Utiliz.	MTTR	MTBS	MTBF	CONFIAB.
						Trabajo	Inspecc	Mantenimiento			Acc/Otr								
								Prev.	Prog.	Ctvo.									
01	J-151	DD 311	L1706695	9,626.00	9,797.40	171.40	28.00	36.00	13.50	23.00	12.00	20.00	19.00	86.49%	26.64%	3.82	8.57	33.98	89.90%
02	J-161	DD 311	L2107540	2,456.00	2,625.65	169.65	28.00	43.50	15.50	5.00	6.00	58.00	57.00	87.63%	26.02%	1.12	2.92	11.99	91.44%
PROMEDIO PERFORADORES DD 311						341.05	56.00	79.50	29.00	28.00	18.00	78.00	76.00	87.06%	26.33%	2.47	5.75	22.98	90.67%
03	J-417	DS 311	L1886973	11,654.00	11,819.26	165.26	28.00	48.00	25.00	5.00	8.50	28.00	27.00	85.75%	25.90%	2.89	5.90	24.50	89.45%
PROMEDIO EMPERNADORES DS 311						165.26	28.00	48.00	25.00	5.00	8.50	28.00	27.00	85.75%	25.90%	2.89	5.90	24.50	89.45%
PROMEDIO FLOTA JUMBOS																			
 Volcan Minera S.A.C. ANDAYCHAGUA Luis E. Almeida Ing. Carlos Soto Espinoza Superintendente de Mantenimiento  Ing. Carlos Huerta Valencia Residente Sandvik del Perú S.A.  Ing. Jerry Bullon Olivas Planner Sandvik del Perú																			