

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica



**Optimización de la Confiabilidad Implementando Técnicas del
Mantenimiento 4.0 a la Flota Manlift Diesel Modelo Z62/40 de Minera del
Sur**

Tesis presentada por el Bachiller:

Farfan Bejar, Marcelo Sebastian

ORCID: 0009-0003-1359-2818

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico

Asesor:

Dr. Cáceres Núñez, Augusto Emilio Carlos

ORCID: 0000-0002-2207-9237

Arequipa – Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA MECANICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 21 de Julio del 2025

Dictamen: 013598-C-EPIMMEM-2025

Visto el borrador del expediente 013598, presentado por:

2016700591 - FARFAN BEJAR MARCELO SEBASTIAN

Titulado:

**OPTIMIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD IMPLEMENTANDO TÉCNICAS DEL MANTENIMIENTO 4.0
A LA FLOTA MANLIFT DIESEL MODELO Z62/40 DE MINERA DEL SUR**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO MECANICO

**29479140 - VALENCIA SALAS MARIO JOSE
DICTAMINADOR**



**06426119 - ALVAREZ FLOREZ DARWIN REYNALDO
DICTAMINADOR**



**46292714 - SILES NATES FERNANDO DAVID
DICTAMINADOR**



Optimización de la Confiabilidad Implementando Técnicas del Mantenimiento 4.0 a la Flota Manlift Diesel Modelo Z62/40 de Minera del Sur

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

21%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

13%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	6%
	Trabajo del estudiante	
2	hdl.handle.net	2%
	Fuente de Internet	
3	tesis.ucsm.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
4	valuekeep.com	1%
	Fuente de Internet	
5	pirhua.udep.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
6	www.coursehero.com	1%
	Fuente de Internet	
7	dspace.ups.edu.ec	<1%
	Fuente de Internet	
8	cloud.google.com	<1%
	Fuente de Internet	

DEDICATORIA

Con profunda gratitud dedico la presente tesis a mis padres Raphael y Jeanette, quienes me brindaron su apoyo incondicional para desarrollarme como profesional y como persona. Son un gran ejemplo de dedicación, esfuerzo, superación y disciplina.

A mi hermana Gabriela que es un pilar fundamental en mi vida.

A mi abuela Doris quien me apoyo y me motivó siempre para cumplir cada uno de mis objetivos.

A mis amigos Jean Pool, Rigel, Josue y Gabriela que siempre estuvieron conmigo.

A mi novia Maricielo que estuvo conmigo durante este proceso.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, por ser el pilar fundamental de mi vida. A mis amigos por estar siempre para mí en las buenas y malas, les agradezco de todo corazón que hayan compartido conmigo todos estos años.

A mis docentes del Programa Profesional de Ingeniería Mecánica, quienes me impartieron valiosos conocimientos a lo largo de mi formación universitaria. Sin su sabiduría, orientación y paciencia no hubiera llegado a ser el profesional que soy ahora.

Agradezco especialmente a mi amigo Nicolas L., porque sin su guía y apoyo en el desarrollo del aplicativo nada de esto hubiera sido posible.

Y sobre todo agradecer a Dios por darme la fortaleza para seguir adelante, ayudarme a cumplir mis objetivos y por nunca soltar mi mano a pesar de las adversidades.

El Tesista

RESUMEN

El propósito central de esta tesis es incrementar la confiabilidad en la gestión de la flota Manlift Diesel Z62/40 de una empresa minera del sur del Perú, a través de la implementación de técnicas de Mantenimiento 4.0. Inicialmente, se analizó el historial de mantenimiento de los equipos, revelando, mediante un diagrama de Pareto, que los sistemas con mayor índice de fallas son el motor y el sistema eléctrico. A partir de este hallazgo, se realizó un Análisis Modal de Fallas y Efectos (AMFEC) para evaluar y priorizar los riesgos, lo que permitió desarrollar estrategias dirigidas a aumentar la confiabilidad de la flota en un 10% al reducir las paradas no programadas. La aplicación de estas estrategias generó un ahorro anual estimado de \$82,536.4. Además de ello se implementaron herramientas de Mantenimiento 4.0, específicamente *Big Data* y *Cloud Computing*, utilizando el software AppSheet. Esta digitalización incluyó la definición de roles clave (planner, supervisores, técnicos y asistentes), lo que resultó en una significativa optimización de los tiempos de planificación y validación de informes. Los procesos de elaboración de informes se redujeron de ocho a dos días, y los de backlogs, de seis a tres días. Además, la digitalización de las cartillas de mantenimiento permitió un ahorro adicional de \$5,500 al año, eliminando los costos de digitación e impresión. Este enfoque integral no solo mejoró la eficiencia operativa y la confiabilidad del equipo, sino que también generó importantes beneficios económicos para la empresa contratista.

Palabras clave: Manlift, mantenimiento 4.0, confiabilidad.

ABSTRACT

This study focuses on increasing the reliability of a contractor's Manlift Diesel Z62/40 fleet at a southern Peruvian mining company by implementing Maintenance 4.0 techniques. An initial analysis of the maintenance history, using a Pareto diagram, identified the engine and electrical systems as the primary causes of failures. An AMFEC (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) was then applied to evaluate risks and develop strategies that reduced unscheduled downtime, increasing fleet reliability by 10% and generating an annual savings of \$82,536.4. The implementation of Maintenance 4.0 included using Big Data and Cloud Computing via the AppSheet software. This digitalization, with defined roles for key personnel (planner, supervisors, technicians, and assistants), optimized work times: report processing was reduced from eight to two days, and backlogs from six to three. Additionally, the digitalization of maintenance checklists resulted in an annual savings of \$5,500 by eliminating printing and data entry costs. In summary, this approach not only improved equipment efficiency and reliability but also provided significant economic benefits for the contractor.

Keywords: Manlift, Maintenance 4.0, reliability.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 3

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN 4

1.1. Enunciado del problema 4

1.2. Interrogantes del problema 5

1.2.1. Interrogante principal 5

1.2.2. Interrogantes Específicas 5

1.3. Área del conocimiento 5

1.4. Variables de la investigación 6

1.4.1. Variable independiente 6

1.4.2. Variable dependiente 6

1.5. Justificación del problema 6

1.5.1. Justificación metodológica 6

1.5.2. Justificación práctica 7

1.5.3. Justificación económica 7

1.5.4. Justificación medio ambiental 8

1.6. Objetivos de la investigación 8

1.6.1. Objetivo general 8

1.6.2. Objetivos específicos 8

1.7. Hipótesis.....	9
1.8. Alcances.....	9
1.9. Limitaciones de la investigación	9
CAPÍTULO II.....	10
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes.....	11
2.2. Características técnicas del Manlift Genie modelo Z62/40.....	14
2.2.1. Funcionamiento de Manlift Z62/40 de Genie.....	15
2.3. Fundamento teórico del mantenimiento	17
2.3.1. Historia del mantenimiento	17
2.3.2. Evolución del mantenimiento.....	20
2.3.2.1. Primera generación.....	20
2.3.2.2. Segunda generación.....	20
2.3.2.3. Tercera generación.....	21
2.3.2.4. Cuarta generación.....	21
2.3.2.5. Quinta generación.....	22
2.3.3. Tipos de mantenimiento	22
2.3.3.1. Mantenimiento correctivo.....	22
2.3.3.2. Mantenimiento preventivo.....	23
2.3.3.3. Mantenimiento predictivo.....	23
2.3.4. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).....	24
2.3.5. Análisis de modos de fallas y efectos (AMFEC).....	25
2.3.6. Términos importantes para considerar en el AMFEC	25
2.3.7. Técnica AMFEC.....	26
2.3.7.1. Severidad	27

2.3.7.2. Ocurrencia.....	28
2.3.7.3. Detección	29
2.3.8. Número de prioridad del riesgo	29
2.3.9. Estructura del sistema	31
2.3.9.1. Definición de los límites del sistema para el análisis	31
2.3.10. Niveles de análisis	32
2.3.11. Mantenimiento 4.0.....	33
2.3.12. Aplicativo Appsheets	34
2.3.13. Plan de mantenimiento	35
2.3.14. Cálculo de indicadores de mantenimiento.....	36
CAPÍTULO III.....	38
3. METODOLOGIA DE APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO 4.0.....	39
3.1. Introducción.....	39
3.2. Metodología de implementación	40
3.3. Etapas de aplicación	41
3.4. Esquemización del equipo	41
3.4.1. Unidad de potencia	42
3.4.1.1. Subsistema unidad de potencia.....	43
3.4.1.2. Subsistema motor básico	44
3.4.1.3. Subsistema de combustible.....	46
3.4.1.4. Subsistema de admisión y escape de aire	48
3.4.1.5. Subsistema de lubricación y enfriamiento	48
3.4.1.6. Subsistema eléctrico de arranque.....	49
3.4.2. Sistema hidráulico	50
3.4.3. Sistema eléctrico.....	54

3.4.4. Sistema estructural.....	56
3.4.4.1. Plataforma.....	56
3.4.4.2. Pluma / Boom	57
3.4.4.3. Brazo secundario	58
3.4.4.4. Brazo primario	59
3.4.4.5. Brazo plumín	60
3.4.4.6. Chasis.....	60
3.5. Diagrama de Pareto de fallas.....	61
3.6. Desarrollo del método AMFEC.....	62
3.7. Estrategias de mantenimiento.....	63
3.8. Mantenimiento 4.0.....	63
3.8.1. Proceso antiguo.....	63
3.8.2. Gestión de mantenimiento antiguo	64
3.8.3. Gestión de backlogs de repuestos	66
3.9. Determinar costos.....	66
CAPÍTULO IV.....	67
4. APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DEL MANTENIMIENTO 4.0 SOBRE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ACTUAL	68
4.1. Introducción.....	68
4.2. Etapas de implementación.....	68
4.2.1. Esquematización del equipo	69
4.2.2. Diagrama de Pareto de fallas	73
4.2.3. Desarrollo del método AMFEC.....	75
4.3. Efecto de falla.....	76
4.3.1. Severidad, ocurrencia y detección	77

4.3.2. Método NPR	78
4.4. Estrategias de mantenimiento.....	79
4.5. Mantenimiento 4.0.....	80
4.5.1. Consideraciones previas al Appsheet	80
4.5.2. Crear perfiles en el Appsheet.....	81
4.6. Implementación de ERP del Appsheet	91
4.6.1. Perfiles para la gestión de mantenimiento	91
4.6.1. Flujo de trabajo actualizado.....	97
4.7. Generar plan de mantenimiento en Aapsheet.....	98
4.8. Generar perfil de planner.....	100
4.9. Propuesta de flujo de mantenimiento	104
4.10. Determinar costos.....	104
4.10.1. Costo por paradas no planificas.....	104
4.11. Justificación del uso del aplicativo.....	109
4.12. Justificación del mantenimiento 4.0 a través de indicadores	112
4.12.1. Disponibilidad inicial	112
4.13. Aumento de la disponibilidad de la flota.....	115
4.14. Aumento de la confiabilidad de la flota	116
CONCLUSIONES	119
RECOMENDACIONES.....	121
REFERENCIAS.....	123
ANEXOS	129
ANEXO 1.....	130
ANEXO 2.....	134
ANEXO 3.....	136

ANEXO 4.....	148
ANEXO 5.....	152
ANEXO 6.....	154
ANEXO 7.....	157
ANEXO 8.....	158
ANEXO 9.....	159



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Jerarquización de la severidad de los modos	27
Tabla 2 Jerarquización de la ocurrencia de los modos	28
Tabla 3 Jerarquización de la detección de los modos	29
Tabla 4 Clasificación de la criticidad analítica del NPR (Número de Prioridad de Riesgo) ...	30
Tabla 5 Especificaciones del motor 404D-22.....	42
Tabla 6 Flota del equipo manlift Z62/40	69
Tabla 7 Fallas por sistema.....	74
Tabla 8 Modos de falla de la bomba de agua.....	75
Tabla 9 Efectos de falla de la bomba de agua.....	76
Tabla 10 Severidad, consecuencia y detección.....	77
Tabla 11 Número de prioridad del riesgo	78
Tabla 12 Perfiles en Aapsheet del personal operativo	81
Tabla 13 Visualización tipo celular para el aplicativo de técnico	83
Tabla 14 Autollenado de datos del Manlift050.....	83
Tabla 15 Información aplicativo técnico (DATA).....	85
Tabla 16 Solicitud de backlog GRUPO130.....	87
Tabla 17 Detalle ítem por ítem de cada backlog.....	88
Tabla 18 PETS cargados en el aplicativo de técnico	90
Tabla 19 Interfaz de funciones principales aplicación de técnico	91
Tabla 20 Interfaz de responsables de validación.	92
Tabla 21 División según tipo de trabajo	93
Tabla 22 Validación de trabajos de supervisión contratista.....	93
Tabla 23 Seguimiento de validación de reportes	94
Tabla 24 Validación de trabajos de supervisión mina	95

Tabla 25 Visualización de asistente de supervisión.....	96
Tabla 26 Validación de backlog y colocación de número de correlación	97
Tabla 27 Ratios de mantenimiento calculados de la base de datos.....	99
Tabla 28 Proyección de mantenimientos calculados por el aplicativo	99
Tabla 29 Información de proyección por equipo	100
Tabla 30 Programar trabajos en el aplicativo	101
Tabla 31 Costo de cambio de componentes.....	105
Tabla 32 Costos adicionales por intervención	105
Tabla 33 Costos mano de obra e inoperatividad.....	106
Tabla 34 Repuestos por tipo de PM.....	107
Tabla 35 Aceites por tipo de PM	108
Tabla 36 Costos adicionales para mantenimientos	108
Tabla 37 Costos finales de mantenimiento	109
Tabla 38 Costos plan de mantenimiento.....	109
Tabla 39 Cotización de formatos de mantenimiento	110
Tabla 40 Ejemplo de cálculo de disponibilidad para los meses de septiembre a diciembre 2023	113
Tabla 41 Aumento de la disponibilidad reduciendo el MTTR y aumentando el MTBF.....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Manlift genie Z62/40	15
Figura 2 Taxonomía de los equipos	16
Figura 3 Proceso de aplicación de la técnica AMFEC	26
Figura 4 Flujo de Aplicación de la metodología.....	41
Figura 5 Motor Perkins 404d-22.....	43
Figura 6 Sistemas de la unidad de potencia	43
Figura 7 Bloque de motor	45
Figura 8 Culata de motor	45
Figura 9 Carter de motor.....	46
Figura 10 Flujo de combustible	47
Figura 11 Circuito de lubricación	48
Figura 12 Bomba de tracción.....	51
Figura 13 Bomba de elevación	51
Figura 14 Bomba auxiliar	52
Figura 15 Cilindro de boom primario	52
Figura 16 Accesorios eléctricos de manlift.....	55
Figura 17 Sistema estructural.....	56
Figura 18 Canastilla y control de manlift	57
Figura 19 Estructura de elevación de un manlift	58
Figura 20 Brazo secundario	59
Figura 21 Brazo primario.....	59
Figura 22 Brazo de plumin	60
Figura 23 Chasis de manlift	61
Figura 24 Ejemplo de diagrama de Pareto.....	62

Figura 25 Responsables de la Validación de informes	64
Figura 26 División de la taxonomía y partes del manlift Genie modelo Z62/40.....	70
Figura 27 Jerarquización del sistema estructural del manlift.....	70
Figura 28 Jerarquización del sistema hidráulico del manlift	72
Figura 29 Jerarquización del sistema eléctrico del manlift.....	72
Figura 30 Frecuencia de fallas por sistema Manlift Genie modelo Z62/40.....	74
Figura 31 Jerarquización de la unidad de potencia.....	71
Figura 32 Interfaz del perfil de técnico.....	82
Figura 33 Visualización cartilla de respaldo.....	84
Figura 34 Iteración de actividades de acuerdo con el tipo de PM	86
Figura 35 Formato de solicitud de backlog para el TELE045	89
Figura 36 Visualización del punto de encuentro dentro del aplicativo.....	90
Figura 37 Interfaz de perfil supervisor operativo	92
Figura 38 Interfaz de perfil del supervisor de mina.....	94
Figura 39 Interfaz de perfil asistente de supervisión	96
Figura 40 Elaborar interfaz de perfil de planner.....	101
Figura 41 Trabajos programados en el aplicativo.....	102
Figura 42 Visualización de horas programadas por día.....	102
Figura 43 Costo por paradas no planificadas	106
Figura 44 Reportes Cargados por áreas	111
Figura 45 Disponibilidad flota manlift modelo Z62/40.....	112
Figura 46 Disponibilidad flota manlift modelo Z62/40 del último año.....	114
Figura 47 Confiabilidad de la flota del último año	117

INTRODUCCIÓN

El Análisis Modal de Fallas y Efectos (AMFE) y las estrategias de Mantenimiento 4.0 son herramientas esenciales para evaluar y mitigar los impactos adversos en las plantas o instalaciones de procesos. Según Barrientos (2017), estas metodologías son fundamentales para identificar los principales escenarios de riesgo y formular acciones correctivas, minimizando así su impacto.

La industria minera enfrenta un desafío que, a su vez, representa una oportunidad real para la innovación tecnológica mediante la adopción de la transformación digital y la Industria 4.0. Lean (2020) afirma que esta es una solución viable, aunque requiere un cambio de mentalidad para integrar gradualmente tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), Big Data y Cloud Computing en la gestión del mantenimiento.

Cuando se combinan las metodologías de optimización de la confiabilidad con el Mantenimiento 4.0, es posible mejorar significativamente la gestión de cualquier flota. Como señala Cabeza (2018), este análisis debe incluir una jerarquía de criticidad de riesgos para una comprensión integral del sistema. Estos avances tecnológicos, que se enmarcan en la Transformación Digital, benefician a toda la organización, su capital humano, grupos de interés y al medio ambiente, según Arredondo (2023).

La tesis se estructura en etapas clave: desde la jerarquización del equipo y la aplicación del diagrama de Pareto y AMFEC, hasta el desarrollo de estrategias de mantenimiento. Posteriormente, se aplican las técnicas de Mantenimiento 4.0 mediante la creación de una aplicación en AppSheet para cada perfil. El trabajo también incluye un análisis de costos y un cálculo del aumento de la confiabilidad.

El estudio está organizado en cuatro capítulos:

Capítulo 1: Se abordan el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos y la definición de las variables.

Capítulo 2: Contiene el marco teórico.

Capítulo 3: Detalla la metodología del Mantenimiento 4.0, desde el análisis de la información hasta su integración con un ERP.

Capítulo 4: Se presenta la aplicación práctica de la metodología y la justificación económica del proyecto.

Este enfoque integral no solo optimiza la gestión de activos, sino que también promueve la sostenibilidad y la innovación continua dentro de la empresa. Al utilizar un marco de trabajo que prioriza la confiabilidad, se asegura una mayor disponibilidad de los equipos, lo que se traduce directamente en una mejora de la productividad y una reducción de los costos operativos. La implementación de estas tecnologías digitales crea un ecosistema de trabajo más eficiente y seguro, preparando a la organización para los desafíos futuros y consolidando su posición en el mercado.



1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Enunciado del problema

La confiabilidad es clave en la gestión moderna del mantenimiento. En el contexto de la Industria 4.0, se analiza cómo utilizar el conocimiento, la información y los datos disponibles para mejorar las estrategias de mantenimiento. Esto incluye implementar soluciones que procesan grandes volúmenes de datos de diversas fuentes, manejen las incertidumbres que afectan a los sistemas y su entorno, y permitan optimizar varios objetivos al mismo tiempo (Avila, 2023)

En una importante minera del sur del país, una flota de Manlifts enfrenta constantes fallas que requieren reparaciones frecuentes. Actualmente, estos equipos tienen una disponibilidad de poco más del 60%. Aunque no se han reportado accidentes graves, la baja confiabilidad y disponibilidad podrían generar riesgos como caídas desde distintas alturas, vuelcos, objetos cayendo sobre personas o equipos, choques, atrapamientos de operadores, contactos eléctricos, incendios o explosiones. Además, esto impacta económicamente con altos costos en repuestos y pérdida de tiempo debido a los equipos fuera de servicio

Actualmente, se realizan mantenimientos preventivos cada 250 horas y correctivos cuando ocurre una falla. Sin embargo, la minera ha expresado su descontento con la gestión de mantenimiento actual debido a la falta de información clara y al uso de registros físicos, lo que retrasa la búsqueda de datos y provoca pérdidas frecuentes. Para solucionar esto, se propone aplicar la técnica AMFEC, que ayudará a identificar los puntos más críticos de falla en los equipos. Esto permitirá mejorar los planos y guías de mantenimiento. Además, se planea implementar herramientas del mantenimiento 4.0 utilizando el software Aapsheet, que automatizará la programación, facilitará el análisis de indicadores, proporcionará acceso a información en tiempo real y almacenará los datos en una base virtual, eliminando los registros físicos (Contreras, 2020).

En resumen, este estudio en la Minera del Sur buscó lograr beneficios tanto ambientales como económicos. Para ello, se aplicaron análisis basados en datos objetivos que permitió evaluar el estado, los efectos y la gravedad de las fallas en la flota de Manlift Diesel modelo Z62/40. También se utilizó la metodología AMFEC junto con tecnologías como Big data y Cloud Computing para mejorar el análisis y la gestión de estas fallas.

1.2. Interrogantes del problema

1.2.1. Interrogante principal

¿De qué manera se optimizará la confiabilidad utilizando técnicas del mantenimiento 4.0 en la flota Manlift Diesel modelo Z62/40 de Minera del Sur?

1.2.2. Interrogantes Específicas

- ¿Cómo se puede utilizar las técnicas del mantenimiento 4.0 *Big data* y *cloud computing* para poder mejorar los costos y tiempos de gestión administrativa usando el software Appsheets?
- ¿Cómo se puede crear el perfil de planner dentro del software Appsheets que permita generar el plan de mantenimiento que optimice la confiabilidad de la flota Manlift Diesel modelo Z62/40 de Minera del Sur?
- ¿De qué manera se puede realizar la jerarquización de los componentes del equipo para generar un detalle de las partes del Manlift Diesel modelo Z62/40 de Minera del Sur?
- ¿De qué manera se puede aplicar el método AMFEC con el fin de realizar un análisis de mejora de ahorro de mantenimiento y generación de Cartillas?

1.3. Área del conocimiento

Según la clasificación de áreas y subáreas del conocimiento establecida por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, la presente investigación se clasifica de la siguiente manera:

- Área: Ingeniería y tecnología
- Sub-área: Ingeniería Mecánica
- Línea: Gestión de Mantenimiento

1.4. Variables de la investigación

1.4.1. Variable independiente

Técnicas del mantenimiento 4.0 a la Flota Manlift Diesel modelo Z62/40

1.4.2. Variable dependiente

Optimización de la confiabilidad, Optimización de proceso administrativo

1.5. Justificación del problema

1.5.1. Justificación metodológica

En esta parte, se resaltó el uso de estrategias como el *cloud computing* y *big data* del mantenimiento 4.0, además de partir de un análisis con el método AMFEC lo cual nos permite hacer un análisis íntegro del Manlift Diesel modelo Z62/40. Este análisis fue esencial para organizar y planificar el mantenimiento, integrando criterios de confiabilidad y riesgos para optimizar el rendimiento de los equipos y reducir, controlar y evaluar el riesgo de fallas. Además, se implementó el software Appsheets para mejorar la gestión de mantenimiento, realizar proyecciones y analizar indicadores de manera eficiente.

Paso 1: Esquematización del equipo

Paso 2: Diagrama de Pareto

Paso 3: Aplicar método AMFEC

Paso 4: Crear estrategias de mantenimiento

Paso 5: Aplicar Técnicas del mantenimiento 4.0 (Appsheets)

Paso 6: Determinar Costos

Paso 7: Cálculo de indicadores de mantenimiento

1.5.2. Justificación práctica

Para optimizar la confiabilidad de la flota Manlift Diesel modelo Z62/40 de la Minera del Sur, se implementó el método AMFEC (Análisis Modal de Fallos, Efectos y Criticidad) complementado con técnicas propias del mantenimiento 4.0. Permitiendo un enfoque sistemático para identificar, analizar y priorizar los modos de falla más críticos, así como las acciones preventivas y correctivas necesarias. La integración de herramientas digitales y análisis en tiempo real, características del mantenimiento 4.0, posibilitó una recolección y gestión eficiente de datos en todas las fases del proceso: planificación, ejecución, control y evaluación. Esto no solo mejoró la detección temprana de fallas, sino que también optimizó la planificación del mantenimiento, reduciendo los tiempos de inactividad no programados y costos operativos.

Los resultados obtenidos demuestran que el uso combinado del método AMFEC y las tecnologías 4.0 tiene un impacto positivo en los indicadores clave de mantenimiento, como la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia de los equipos. Por lo tanto, esta experiencia práctica sirve como modelo replicable para otros sectores industriales, justificando su implementación como una estrategia para reducir fallas y aumentar la productividad de equipos críticos.

1.5.3. Justificación económica

Aplicar esta metodología a la flota de Manlift Diesel modelo Z62/40 ayudará a optimizar la compra de repuestos, manteniendo un stock mínimo en almacén o incluso reduciendo las compras necesarias. Además, aumentará la disponibilidad de los equipos, disminuyendo los tiempos de inactividad y, con ello, las pérdidas por interrupción en la producción. Esto mejorará tanto la calidad como la rentabilidad del mantenimiento de estos equipos.

1.5.4. Justificación medio ambiental

Desde hace siglos, la actividad humana, ya sean domésticas, comerciales o industriales, han generado un gran impacto en el medio ambiente. Hoy en día, la cantidad de residuos sigue aumentando rápidamente, provocando graves problemas ambientales. Este trabajo buscó abordar aspectos como fugas y emisiones de CO₂, con el objetivo de reducir o eliminar estos impactos y proteger el medio ambiente.

1.6. Objetivos de la investigación

1.6.1. Objetivo general

Optimizar la Confiabilidad Implementando Técnicas del Mantenimiento 4.0 a la Flota Manlift Diesel Modelo Z62/40 de Minera del Sur.

1.6.2. Objetivos específicos

- Utilizar técnicas del mantenimiento 4.0 como el *Big Data* y *Cloud Computing* con el fin de mejorar los tiempos y costos de gestión administrativa mediante el software Appsheet
- Crear el perfil de planner dentro del software Appsheet que permita generar el plan de mantenimiento que optimice la confiabilidad de la flota Manlift Diesel modelo Z62/40 de Minera del Sur.
- Realizar la jerarquización por sistemas y subsistemas del equipo para generar un detalle de los componentes del Manlift Diesel modelo Z62/40 de Minera del Sur.
- Aplicar el método AMFEC con el fin de realizar un análisis de mejora de ahorro de mantenimiento y generación de cartillas.

1.7. Hipótesis

La aplicación las técnicas del mantenimiento 4.0 (Big Data y Cloud Computing) optimizarán la confiabilidad de la flota Manlift Diesel modelo Z62/40 de la Minera del Sur.

1.8. Alcances

Revisar los manuales de operación, mantenimiento y partes de los Manlift Diesel modelo Z62/40 permitió identificar todos los sistemas y componentes del equipo, junto con sus funciones específicas, para mejorar su disponibilidad. Al mismo tiempo, realizar la recopilación de datos directamente en el lugar ayudó a detectar las fallas más frecuentes en cada intervención e identificar los sistemas más críticos que requieren mayor atención. Además, se utilizó la interfaz y la base de datos de la aplicación AppSheet para desarrollar un plan de mantenimiento automatizado y más eficiente.

1.9. Limitaciones de la investigación

Existen ciertas limitaciones que se pudieron apreciar en la presente investigación, los cuales se consideraron:

- El historial de mantenimiento de los equipos se encontró en formato manual por lo que se hubo que pasar a una base de datos para realizar un análisis estadístico.
- Obtener y/o comprar los manuales y fichas técnicas que se encontraron almacenados en la mina, teniendo en cuenta que el modelo de manlift actualmente en uso está desactualizado.
- El trabajo de los equipos fue documentado en forma deficiente y con informes innecesarios.
- El tiempo de uso del software Appsheet dentro de la gestión de mantenimiento es muy corta, por ello se trabajó con los datos recolectados desde su implementación.



2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Jeremías (2024) su tesis se centró en mejorar la confiabilidad de los Scooptrams, vehículos esenciales en las operaciones subterráneas de J&M Minería SAC. El objetivo principal es evaluar y optimizar la confiabilidad de estos equipos mediante el uso de herramientas tecnológicas y métodos estadísticos, utilizando R-Studio para aplicar modelos de distribución de fallas. La investigación se basa en estudios previos y datos específicos de la empresa, y aborda desafíos como la falta de datos adecuados y los recursos tecnológicos limitados. El trabajo busca mejorar la eficiencia y el mantenimiento de los Scooptrams para fortalecer la competitividad de la empresa minera.

Morales (2024) en su investigación, plasmó en este contexto, las empresas buscan mejorar la gestión de sus equipos para asegurar una producción continua y eficiente. El proyecto se enfocó en usar tecnologías de la Industria 4.0 para mejorar los planos de mantenimiento predictivo de los vehículos de carga en una mina. Los objetivos incluyeron analizar cómo estas tecnologías pueden beneficiarse de cada etapa del mantenimiento, crear un plan de mantenimiento predictivo para la flota de carguío, evaluar el costo-beneficio de aplicar estas tecnologías y mejorar los tiempos de atención en el mantenimiento de los equipos. Para ello, se realizó una revisión de diversas fuentes, como tesis, artículos y libros, relacionados con la transformación digital y la Industria 4.0, lo que permitió identificar soluciones aplicables al mantenimiento de los equipos. A partir de este análisis, se propuso integrar tecnologías clave como IoT, Big Data, Cloud Computing y realidad aumentada, que pueden mejorar la gestión y el rendimiento de los equipos de carguío en las minas. El objetivo no era solo reducir costos, sino también aumentar la rentabilidad y contribuir a la sostenibilidad y eficiencia del sector

minero. Es decir, esta tesis aportó significativamente al campo de la ingeniería al integrar la Industria 4.0 en los planos de mantenimiento predictivo de una mina de tajo abierto, lo que facilita la modernización y mejora de las operaciones mineras.

Rativa (2021), esta investigación explicó cómo se realizó un análisis estadístico de confiabilidad para el equipo de elevación de personas Manlift Traccess 170, usando datos históricos de fallas. El objetivo es evaluar el estado actual del equipo y proponer mejoras en su mantenimiento. Primero, se recopilan los datos de fallas reportados en el software de mantenimiento y se filtran para seleccionar la información más útil. Luego, se utilizan tres tipos de distribuciones estadísticas (Normal, Weibull 2P y Log Normal) para entender cómo ocurren las fallas y se elige el modelo más adecuado mediante pruebas estadísticas. Con los resultados obtenidos, se analiza el impacto de las fallas y se hace un análisis financiero para mostrar cómo el análisis de confiabilidad puede ser útil. Al final, se presentan las conclusiones de ambos análisis.

Centeno (2021) esta investigación se centró en una empresa que alquilaba grúas a empresas mineras, especialmente en el sur del Perú. La empresa enfrenta problemas con la disponibilidad de sus equipos, lo que le impide atender varias solicitudes de alquiler al mismo tiempo. Esto afecta su credibilidad y calidad de servicio, lo que lleva a sus clientes a buscar opciones en la competencia y reducir su participación en el mercado. Para solucionar este problema, se propuso aplicar la Teoría de Restricciones. Se realizaron análisis preliminares utilizando herramientas como la Matriz FODA, el Diagrama de Ishikawa y el Diagrama de Pareto, los cuales mostraron fallas en la gestión de la empresa. La información obtenida se procesó en tablas para su análisis y comparación con los resultados de las estrategias implementadas, las cuales se validarán con el software STATGRAPHICS.

La investigación de Zuñiga (2021), plasmó que los tractores de orugas tienen una gran demanda por su practicidad y versatilidad en grandes proyectos. También, los tractores tienen ventajas que los convierten en equipos ideales para toda acción. Por otro lado, tras obtener y procesar información de Mota Engil Perú S.A., se pudo observar en el diagrama de Pareto que los sistemas con mayor índice de fallas son la unidad de potencia y el sistema hidráulico con 193 fallas de 243 fallas de la flota de tractores. Por lo tanto, el uso del método NPR en ambos sistemas presenta grandes riesgos en los inyectores en bloque, turbocompresores, radiadores, bombas de agua, enfriadores de aceite, bombas de aceite, cigüeñales, compresores de aire acondicionado, generadores, arrancadores, motores hidráulicos y bomba de pistón.

En su tesis Contreras (2020), manifestó que la industria mundial está experimentando cambios tecnológicos constantes, y Perú no es la excepción. En el país se está impulsando el desarrollo de nuevas tecnologías como la Inteligencia Artificial, el trabajo colaborativo, el Big Data y el Internet de las Cosas (IoT), que nos están llevando hacia la cuarta revolución industrial, también conocida como Industria 4.0. En este contexto, uno de los equipos más importantes en la industria es el motor de inducción. Por ello, es necesario aplicar un mantenimiento predictivo utilizando Inteligencia Artificial, que permitirá monitorear el estado del motor y predecir el momento adecuado para cambiar sus partes, evitando paradas inesperadas que generen altos costos y mejorando la competitividad de las industrias locales. Este proyecto usará el aprendizaje supervisado de Machine Learning para predecir el estado de los rodamientos del motor de inducción, utilizando datos experimentales obtenidos de la base de datos públicos de la Case Western Reserve University, que fueron recolectados en pruebas controladas en laboratorio.

La investigación de Espinal (2020), estableció que este trabajo se enfocó en mejorar el mantenimiento del proceso de transporte de mineral en una empresa minera en el norte del Perú. Se utilizará la metodología AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Fallas) para mejorar

el mantenimiento preventivo y predictivo de las bombas y otros equipos. El proceso incluyó 4 bombas Wirth TPK 2200 que transportaban mineral a alta presión, pero a veces presentaban paradas que afectaban el funcionamiento y dañaban las bombas. También se encontraron fallas en los carretes que, si no se controlaban, podían causar problemas en el transporte y el ambiente. El objetivo del proyecto fue identificar las fallas más graves que afectaban las bombas y los spools para mejorar el mantenimiento y aumentar la durabilidad de estos componentes. Se utilizaron registros de paradas e informes de inspección, encontrando que el 64,7% de los carretes presentaban fallas y el 87,5% de las bombas tenían fallas de alta o media gravedad. Como resultado, se tomaron medidas correctivas y ajustes en la frecuencia de mantenimiento para mejorar la confiabilidad y aumentar la vida útil de los equipos.

2.2. Características técnicas del Manlift Genie modelo Z62/40

Lizarraga (2018) manifestó que el manlift modelo Z62/40 Genie es una plataforma articulada diseñada específicamente para elevar personas, junto con sus herramientas y materiales, a lugares altos. Es ideal para trabajos de construcción al aire libre y aplicaciones industriales, ya que puede desplazarse en todo tipo de terrenos y ofrece una elevación versátil. Cualquier tarea que implique el uso de un Manlift es crítica, ya que se trata de elevar personas a varios metros de altura. Por ello, Genie incorpora características especiales en sus plataformas para garantizar la seguridad de los usuarios mientras trabajan en altura y permitirles bajar de forma segura al terminar.

Determinar la vida útil del equipo depende de varios factores, ya que dentro del diseño se tiene considerar condiciones climáticas y muchas veces estos equipos están trabajando en situaciones que el fabricante no ha previsto, por ello influye el deseo del propietario por mantener el equipo y la operación. El peso máximo que este modelo de Manlift Genie puede elevar es de 227 kg a una altura máxima de 20.87m (Maisueche, 2019). Pero existen algunos elementos a tomar en cuenta para lograr una vida útil económica de esta máquina:

- Llevar a cabo los mantenimientos preventivos de acuerdo al manual.
- Programar y efectuar inspecciones de la maquina
- Realizar las pruebas a la maquina
- Asegurarnos que el equipo transite por lugares adecuados y respetar el diagrama de cargas.

Figura 1

Manlift genie Z62/40



Nota: Vida útil para maquinarias; Plataformas Articuladas Genie Z62/40, 2024.

2.2.1. Funcionamiento de Manlift Z62/40 de Genie

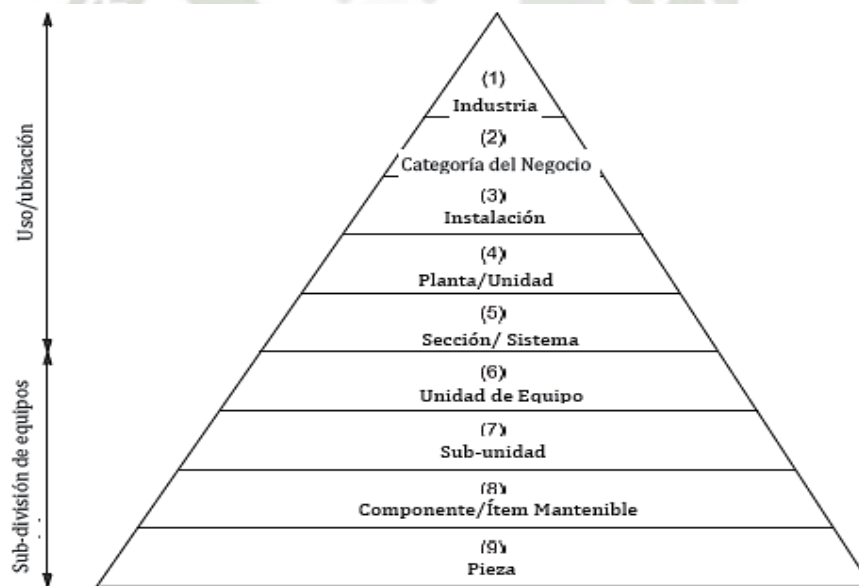
Marfán & Meller (2019) expusieron que el manlift Z62/40 de la marca Genie está compuesto por varios sistemas y subsistemas, que, aunque tienen diferentes componentes, no funcionan de forma completamente independiente. Muchos de los componentes trabajan en conjunto para cumplir funciones en varios sistemas al mismo tiempo. De acuerdo con la norma ISO 14224, que se utiliza en la industria de petróleo y gas, pero es aplicable a otras industrias, la taxonomía es una clasificación sistemática que agrupa elementos según características

comunes, como ubicación, uso o subdivisión del equipo. En esta jerarquía, los niveles del 1 al 5 clasifican el equipo por uso y ubicación, mientras que los niveles del 6 al 9 detallan sus subdivisiones. Esta clasificación ayuda a organizar y entender mejor los sistemas y componentes del equipo.

En el análisis del Manlift Z62/40 se identificaron diferentes niveles según los componentes del equipo. Por ejemplo, el motor se ubicó en el nivel 5, así como los sistemas de lubricación, la inyección de combustible y la refrigeración se clasificaron en el nivel 7. Finalmente, los repuestos más pequeños, como anillos y sellos, se colocaron en el nivel 9.

Figura 2

Taxonomía de los equipos



Nota: Taxonomía del análisis ManliftZ62/40; British Standards Institution, 2016b.

Basándonos en la norma ISO 14224 y el manual del fabricante GENIE, los sistemas del manlift Z62/40 se dividen en:

- Unidad de potencia
- Sistema hidráulico

- Sistema eléctrico
- Sistema estructural

Según Cabeza (2018) este equipo clasificado como un elevador articulado, ofrece gran versatilidad al levantar, extender y posicionar cargas con precisión, incluso en zonas de difícil acceso. Puede maniobrarse en espacios estrechos, sortear obstáculos y alcanzar lugares elevados, ya sea en interiores o exteriores. Es ideal para trabajar en superficies delicadas como césped, pisos pavimentados, aeropuertos, centros comerciales y teatros, permitiendo realizar múltiples tareas con eficiencia.

2.3. Fundamento teórico del mantenimiento

2.3.1. Historia del mantenimiento

El objetivo principal de cualquier activo o equipo construido por el hombre es brindar algún tipo de beneficio, mediante la realización de una cierta función para la cual fue creada. Por ello la función concreta del mantenimiento es sostener la funcionalidad o el cuerpo de un activo para que cumpla la función para la cual fue creada (Ortega, 2017).

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) en el documento Clasificación internacional uniforme de ocupaciones (CIUO) emitido en 1988, define para la ingeniería en general, entre muchas otras, las funciones de construir, reparar y mantener objetos, producto de la ingeniería (Mora, 2009). Pero si nos enfocamos a la fundamentación del ejercicio profesional de la ingeniería mecánica se basa en el diseño, la proyección, el funcionamiento, la conservación y la reparación, siendo las 2 últimas características las más importantes para el mantenimiento de maquinaria de instalaciones, sistemas industriales, etc.

Los procedimientos de mantenimiento se han utilizado desde la Revolución Industrial. Comenzaron a exigir mejores trabajos, lo que llevó a que las tareas se volvieran más difíciles y necesitaran organización y recursos especializados. En aquel momento se trataba

principalmente de tareas correctivas. La Segunda Guerra Mundial dio origen a la idea de confiabilidad, lo que significó que el objetivo del mantenimiento pasó de solucionar los problemas a evitar que ocurrieran (Moubray, 2004).

Esta época acopia una gran cantidad de inventos, creaciones, bosquejos, mecanismos, máquinas, conocimientos, explicaciones, etc., para lograr un desenfrenado avance en la producción industrial. La creación de la máquina de vapor pone un punto de quiebre en el desarrollo de la ingeniería. Y es cuando se logra aplicar el concepto según el cual las máquinas no requieren al hombre para funcionar (Mora, 2009).

La ingeniería de mantenimiento es la rama de la ingeniería que es responsable de lograr los siguientes objetivos: reducir el periodo fuera de servicio, reducir costos de producción, alargar la vida útil de la maquinaria, etc. La rápida recuperación del funcionamiento de los equipos, una vez que se encuentra el modo de falla es primordial dentro de la ingeniería de mantenimiento ya que aumenta el beneficio-costos y la productividad de las operaciones. Para ello se debe definir procedimientos, planes, métodos, técnicas, etc. Que deben ser orientados a la buena aplicación de los planes de mantenimiento aprovechando las oportunidades del presente (Moubray, 2004). Uno de los pilares para la gestión del mantenimiento es la disponibilidad, es uno de los factores importantes en la gestión del mantenimiento. Debido a que es intolerable tener un equipo fuera de servicio por un período prolongado de tiempo, la mayoría de los usuarios afirman que la disponibilidad del equipo es tan importante como la seguridad.

Actualmente las actividades de mantenimiento se concentran en la realización de investigaciones sobre equipos y procesos propensos a fallar, el uso de técnicas estadísticas, metodologías de medición, gestión económica de procedimientos e integración multidepartamental, entre otros, que permitan planificar las tareas y los recursos adecuados para evitar fallas o paradas en la producción. Para lograr un control óptimo de operaciones tan

complejas, que tienen un impacto significativo en la seguridad, confiabilidad, costo, prestigio y otros factores clave para la conducción competitiva, es necesario tener en cuenta tanto los recursos como las restricciones durante un proceso de mantenimiento (Ortega, 2017).

Política basada en fallas: Bajo esta política, los procedimientos de mantenimiento correctivo se realizan luego de generada la falla, o luego de la presentación de anomalías en la operación o desempeño del activo. Por lo tanto, este enfoque de mantenimiento podría caracterizarse como reparación de averías, reparación de fallas o mantenimiento no programado. La regla general es que esta política es aplicable a piezas cuya falla no tiene ningún efecto sobre el medio ambiente, el personal o la seguridad (Mora, 2009).

Política basada en la vida operativa del equipo o sistema: Esta política de mantenimiento establece que las tareas de mantenimiento deben realizarse con una frecuencia específica, en horarios designados, durante toda la vida operativa del equipo o sistema. Este enfoque, también conocido como política de mantenimiento preventivo o planificado, tiene como objetivo principal la prevención de fallas y sus efectos (Mora, 2009). Para proyectar todas las actividades requeridas y brindar todo el soporte requerido, el mantenimiento se realiza en momentos predeterminados. Incluso antes de que el equipo o sistema comience a funcionar, se pueden determinar las frecuencias donde se debe intervenir. Esta política de mantenimiento se puede utilizar eficazmente en equipos o sistemas que cumplan algunos de los siguientes criterios: completar la tarea reduce la probabilidad de fallas posteriores; el costo de aplicar esta política es significativamente menor que el de la política de mantenimiento basado en fallas; y la observación del estado del artículo no es técnicamente factible o económicamente inaceptable (Moubray, 2004).

Política basada en la condición: Históricamente, los líderes de la industria preferían las políticas de mantenimiento preventivo y correctivo, pero con el tiempo llegaron a comprender sus limitaciones y desventajas. Por tanto, existe un interés creciente en la creación

de políticas de mantenimiento alternativas fruto de la necesidad de una estrategia de mantenimiento que garantice la seguridad y reduzca los costes de mantenimiento. El enfoque más recomendado es la política basada en la condición, que reconoce que la justificación principal para realizar el mantenimiento es un cambio en la condición y/o los beneficios y que la ejecución de las tareas de mantenimiento preventivo debe basarse en el estado real del equipo (Ortega, 2017).

2.3.2. Evolución del mantenimiento

Con el tiempo, la forma de entender el mantenimiento ha cambiado debido a la necesidad de ofrecer productos de mejor calidad. Esto ha llevado a que los equipos sean más automatizados y complejos. Para adaptarse, se han desarrollado nuevas técnicas y metodologías para analizar, planificar y ejecutar el mantenimiento. Además, las empresas exigen que sus equipos estén siempre disponibles, pero con el menor costo posible. Esto ha impulsado la búsqueda de estrategias basadas en modelos modernos de mantenimiento que ofrecerán mayores beneficios (Duffuaa et al., 2006).

2.3.2.1. Primera generación

En la primera generación, que abarca hasta la Segunda Guerra Mundial, la industria no estaba muy mecanizada, por lo que las máquinas eran simples y fáciles de reparar. Esto hacía que los tiempos de inactividad no fueran un problema importante y no se requería un sistema complejo de mantenimiento ni mucho personal especializado. Las características principales de esta etapa eran: máquinas robustas, poca importancia a las paradas, ausencia de mantenimiento rutinario y bajos niveles de producción (Barrientos, 2017).

2.3.2.2. Segunda generación

Durante la Segunda Guerra Mundial, la demanda de bienes creció, pero había menos trabajadores industriales, lo que impulsó la mecanización. Para la década de 1950, las máquinas eran más numerosas y complejas, y la economía empezó a depender de ellas. Esto destacó la

importancia de reducir los tiempos de inactividad, dando origen al concepto de mantenimiento preventivo para evitar fallas. En la década de 1960, las reparaciones frecuentes elevaron los costos de mantenimiento, superando otros gastos operativos. A veces el tener gran cantidad de maquinas significaba tener mayor ganancia pero también perdida por gastos operativos. En esta etapa, el mantenimiento se centra en garantizar la durabilidad, la integridad física y la máxima disponibilidad de los equipos (Barrientos, 2017).

2.3.2.3. Tercera generación

Desde mediados de los años setenta, los cambios industriales han avanzado rápidamente gracias a nuevas expectativas, investigaciones y técnicas. El tiempo de inactividad de las máquinas sigue afectando la producción, ya que ralentiza las operaciones, aumenta los costos y afecta la atención al cliente. En la tercera generación, el mantenimiento incorpora objetivos como garantizar la seguridad de las personas, asegurar la calidad de los productos y proteger el medio ambiente. Con el aumento de la mecanización, las fallas tienen consecuencias más graves para la seguridad y el entorno, y los estándares más estrictos han hecho que el mantenimiento sea aún más exigente. Además, los costos de mantenimiento han seguido aumentando y, en algunas industrias, son los más altos dentro de los gastos operativos. En esta etapa, controlar esos costos se ha convertido en una clave de prioridad (Barrientos, 2017).

2.3.2.4. Cuarta generación

La gestión del mantenimiento, basada en los conceptos anteriores, ahora se enfoca en satisfacer al cliente. Esto incluye la externalización del servicio, la implementación de indicadores medibles para evaluar su calidad, y la aplicación de bonificaciones o penalizaciones según los resultados. Los responsables deben estar bien informados sobre las normativas para evitar problemas legales. En esta etapa, el mantenimiento busca asegurar mayor disponibilidad y confiabilidad de los equipos, garantizar la seguridad en cada mejora, mejorar la calidad del producto y cumplir con los estándares ambientales. También se trabaja

para extender la vida útil de los equipos, aplicando estrategias eficientes y reduciendo costos. Además, es clave identificar y eliminar patrones de fallas para optimizar el rendimiento (Barrientos, 2017).

2.3.2.5. Quinta generación

A finales del siglo XX y comienzos del XXI, la eficiencia energética se convirtió en una prioridad debido al costo y la limitación de los recursos energéticos. Esto llevó a que las empresas de mantenimiento asuman, en algunos casos, la gestión de contratos energéticos, encargándose de comprar energía primaria, transformarla y vender la energía útil, cumpliendo con indicadores establecidos en los contratos. Este enfoque marca el inicio de lo que se conoce como la quinta generación de mantenimiento. En esta etapa, el objetivo es mantener y mejorar la eficiencia técnica y económica de los equipos durante todo su ciclo de vida. Además, se establecerán las bases para crear un modelo de gestión y operación del mantenimiento que combine la tecnología y una logística integral de los equipos (Barrientos, 2017).

2.3.3. Tipos de mantenimiento

2.3.3.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento "a rotura" consiste en intervenir los equipos solo cuando fallan, adoptando una postura pasiva y esperando a que presenten problemas. Aunque parece un enfoque despreocupado, es común en muchas industrias, especialmente cuando el costo de los componentes es bajo o los equipos son auxiliares y no afecta directamente la producción. Si la falla no interrumpe la producción, la reparación puede hacerse sin impactar la operación de la empresa, y los costos suelen ser menores en comparación con otros tipos de mantenimiento (Duffuaa et al., 2006). Este método no requiere planificación ni organización de tareas, ya veces se combina con el cuidado básico de los equipos. Sin embargo, este enfoque implica riesgos, como averías inesperadas que pueden resultar muy costosas, generar problemas que afecten la producción o incluso causar accidentes.

2.3.3.2. Mantenimiento preventivo

El objetivo del mantenimiento es garantizar que los equipos e instalaciones estén siempre disponibles, logrando el mejor rendimiento de la inversión en equipos, personal y recursos. Para esto, el mantenimiento preventivo es clave, ya que busca reducir o evitar reparaciones inesperadas a través de inspecciones planificadas y el cambio programado de piezas desgastadas. Durante las inspecciones, se desarma parcial o totalmente la máquina para revisar los componentes, reemplazando aquellos que estén en mal estado tras una inspección visual (Hernandez & Pabón, 2012). Algunas piezas se reemplazan regularmente según el tiempo de uso o los ciclos de trabajo del equipo. El éxito del mantenimiento preventivo depende de elegir correctamente los intervalos entre inspecciones. Si el tiempo es demasiado largo, podrían ocurrir fallas inesperadas, pero si es muy corto, afectará la producción. La clave es encontrar un equilibrio entre los costos de inspección y los costos de reparaciones inesperadas, algo que suele determinarse por experiencia (Duffuaa et al., 2006).

Otro tipo de mantenimiento preventivo es el "entretenimiento de equipos", que no requiere desarme las máquinas. Incluye tareas como cambiar lubricantes, limpiar, engrasar y reemplazar piezas vitales regularmente. Aunque todo esto se considera mantenimiento preventivo, también se le llama mantenimiento rutinario

2.3.3.3. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento según estado o condición surge como una solución para reducir los costos asociados con los métodos tradicionales de mantenimiento preventivo y correctivo. Su enfoque se basa en monitorear el estado real del equipo. Esto permite reemplazar piezas solo cuando realmente están en malas condiciones y podrían afectar el funcionamiento, evitando inspecciones innecesarias y minimizando paradas imprevistas al detectar anomalías antes de que se conviertan en fallas graves. Cada componente de una máquina suele "avisar" antes de fallar. Si se monitorean los parámetros funcionales correctos, es posible identificar de forma

temprana los problemas potenciales. Según (Dueñas et al., 2020), este tipo de mantenimiento presenta importantes ventajas que lo hacen una opción eficiente, y son:

- Detectar e identificar anticipadamente los posibles fallos que pudieran aparecer sin necesidad de para la producción.
- Identificar aquellos defectos que solo se manifiestan en el funcionamiento del equipo.
- Elaborar un historial de funcionamiento de la maquina a través de la evolución de sus parámetros y su relación con cualquier evento significativo.
- Programar la parada para poder corregir el defecto, haciéndola coincidir con algún tiempo muerto o parada programada del proceso de producción.
- Aumentar la seguridad de funcionamiento de la máquina, y en general de toda la instalación.

2.3.4. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)*

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) fue desarrollado hace más de 30 años para la industria de la aviación civil. Este método ayuda a identificar las tareas de mantenimiento más adecuadas para cualquier equipo físico. Hoy en día, es utilizado por millas de empresas en todo el mundo, desde grandes industrias petroquímicas hasta fuerzas armadas y sectores como la minería, generación eléctrica y petróleo. Cada equipo se adquiere con un propósito específico, es decir, tiene funciones que cumplir. Si estas funciones se ven afectadas parcial o totalmente, esto impacta de alguna manera a la organización (Ellmann, 2020). La magnitud de este impacto depende de diversos factores que se analizan en el enfoque RCM. La influencia global sobre la organización depende de:

- La función de los activos en su contexto operacional.
- El funcionamiento de los activos en ese contexto.

Como resultado de lo anterior, el RCM comienza definiendo las funciones y los estándares de funcionamiento asociados a cada elemento, componente y sistema de los activos

en su contexto operacional. Cuando se establece el funcionamiento deseado, el RCM pone especial énfasis en la necesidad de cuantificar los estándares de funcionamiento siempre que sea posible. Estos estándares se extienden a la operación, la calidad del producto, el servicio al cliente, las afectaciones al medio ambiente, el costo operacional y la seguridad (Moubray, 2004).

2.3.5. *Análisis de modos de fallas y efectos (AMFEC)*

El método AMFEC es una herramienta utilizada para analizar un producto o proceso y detectar posibles puntos de fallo. Su objetivo es crear planes de acción para prevenir o reducir los riesgos. Se enfoca en la identificación de fallos, considerando su gravedad, la probabilidad de que ocurran y la dificultad para detectarlos, lo cual es importante también en la seguridad laboral (Barrientos, 2017).

Cada posible falla en un sistema de procesamiento representa un riesgo, por lo que es crucial entender cómo ocurre para poder implementar medidas preventivas o correctivas. El análisis de cómo falla una pieza de equipo se denomina "modo de falla", ya partir de él se definen las acciones de mantenimiento necesarias. El AMFEC es el método más utilizado para evaluar procesos o productos, desglosando un sistema complejo en sus partes para identificar las causas y efectos de posibles fallas y, de esta manera, prevenirlas (Ortega, 2017).

2.3.6. *Términos importantes para considerar en el AMFEC*

Según (Barrientos, 2017) se tiene:

- **Elemento:** Es cualquier componente, dispositivo o pieza que se puede tomar por separado o que forma parte de una máquina o sistema.
- **Sistema:** Es un grupo de componentes que trabajan juntos para cumplir un propósito específico al relacionarse entre sí o interactuar entre sí.
- **Falla:** Es la condición de un elemento cuando no puede realizar una función necesaria para la que estaba destinado.

- **Modo de falla:** Se define como la causa de cada falla funcional, en otras palabras, el modo de falla es el que provoca la pérdida de la función total o parcial de un activo en su contexto operacional.
- **Seguridad de funcionamiento:** Debido a las diferencias inherentes entre la seguridad y confiabilidad operativa de cada elemento, al analizar la seguridad operativa es necesario anticipar las fallas y sus posibles modos de ocurrencia.

2.3.7. Técnica AMFEC

La técnica AMFEC (Análisis de Modos de Falla, Efectos y Crítica) es una metodología utilizada para identificar y analizar los posibles fallos en un producto, proceso o sistema. Su objetivo principal es prevenir los fallos antes de que ocurran, garantizando la seguridad, confiabilidad y eficiencia del sistema (Ortega, 2017).

Figura 3

Proceso de aplicación de la técnica AMFEC



Nota: Metodología para identificar y analizar posibles fallas en un producto. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024

Modo de falla: Se define como la causa de cada falla funcional, en otras palabras, el modo de falla es el que provoca la pérdida de la función total o parcial de un activo en su contexto operacional (Ortega, 2017). Las listas de modos de falla deben contener todas las causas potenciales de falla funcional, como deterioro, fallas en el diseño y errores humanos, ya sean provocados por los operadores o mantenedores.

Efecto de falla: Esta falla explica lo que ocurriría si no se realiza una tarea particular para prever, prevenir o detectar la falla. Se ocupa de describir los efectos no deseados de una falla que se pueden ver o sentir, y siempre debe expresarse en términos del desempeño o efectividad de un sistema, proceso o producto. Cuando se analiza solo una parte se tendrá en cuenta la repercusión negativa en el conjunto del sistema, para así poder ofrecer una descripción más clara del efecto g(Ortega, 2017).

2.3.7.1. Severidad

La clasificación del daño depende de quién lo está haciendo, pero la gravedad identifica qué tan grave es la falla del sistema que se ha encontrado en el sistema (Ortega, 2017). Se tienen las posibles situaciones en la Tabla 1, donde la frecuencia va como muy baja, baja, moderada, alta y muy alta, donde la última se refiere a un daño potencial muy crítico que afectaría la seguridad y la producción.

Tabla 1

Jerarquización de la severidad de los modos

Frecuencia	Criterio	Valor
Muy baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, este observará un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable.	2 – 3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema.	4 – 6

Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7 – 8
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10.	9 – 10

Nota: Jerarquización de la severidad de los modos; Belloví et al., n.d.

2.3.7.2. Ocurrencia

El término puede interpretarse como la probabilidad de que ocurra o no una falla. La ocurrencia demuestra con qué frecuencia ocurre la falla en el sistema. Por lo tanto, la probabilidad del modo de falla de surgir de una causa de falla es su probabilidad (Ortega, 2017).

La jerarquía de modos de falla se muestra en:

Tabla 2

Jerarquización de la ocurrencia de los modos

Ocurrencia	Criterio	Valor
Muy baja Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2 – 3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4 – 5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6 – 8
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9 – 10

Nota: Jerarquía de modos de falla; Belloví et al., n.d.

2.3.7.3. *Detección*

Si no se detecta la falla, es probable que se produzcan daños adicionales en el sistema o que se detenga. La detección indica la probabilidad de que la falla esté localizada en el sistema. Los efectos en el sistema podrían ser más graves cuanto más difícil sea detectar una falla (Ortega, 2017). La jerarquía de detección de modos de falla se muestra en la jerarquización de detección de los modos descritos en la Tabla 3.

Tabla 3

Jerarquización de la detección de los modos

Detectabilidad	Criterio	Valor
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posterior.	2 – 3
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción.	4 – 6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7 – 8
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final.	9 – 10

Nota: Jerarquía de detección de modos de falla; Ortega, 2017.

2.3.8. *Número de prioridad del riesgo*

Dado que NPR es una metodología cuantitativa de criticidad, la aplicaremos en esta situación. Para evaluar el riesgo se utiliza una medición subjetiva de la gravedad del efecto y una estimación de la probabilidad de que ocurra dentro de un período de tiempo determinado.

Puede ser necesario utilizar un AMEF no numérico en una forma más simple en algunas circunstancias cuando estas mediciones no están disponibles (Arredondo, 2023).

Algunas aplicaciones AMFE o AMFEC diferencian entre niveles de detección de fallas del sistema. En estas aplicaciones, se requiere una segunda aplicación para identificar la falla D y crear el número de prioridad de riesgo NPR.

$$NPR = S * O * D$$

Donde:

S: El número adimensional que se encarga de simbolizar la severidad, el cual solo representa una estimación de la frecuencia con la que se manifiesta un modo de falla en un sistema o equipo.

O: Denota la probabilidad de que ocurra un modo de falla en un momento específico.

D: Expresa la posibilidad de identificar, detectar y eliminar un modo de falla antes de que suceda.

Las actividades que deben priorizarse para la mitigación del modo de falla se pueden realizar utilizando el número de prioridad de riesgo. La gravedad del modo de falla también afecta directamente la decisión de mitigación, lo que significa que, si hay múltiples NPR con el mismo modo de falla, se priorizan las NPR con el valor de falla más alto de gravedad. Utilizando el NPR como guía, se organizan los modos de falla. Las diferentes formas de AMFEC utilizan varias escalas para determinar los valores de S, O y D. Mientras que algunas usan una escala de 1 a 4, otras, como AMFEC, usan una escala de 1 a 10 para los tres atributos (Lizarraga, 2018).

Tabla 4

Clasificación de la criticidad analítica del NPR (Número de Prioridad de Riesgo)

NPR	
NPR > 100	ALTO
100 > NPR > 25	MEDIO
25 > NPR	BAJO

Nota: Diferentes formas del AMFEC de criticidad analítica del NPR; Lizarraga, 2018.

Consideraciones generales

A lo largo de la historia han existido muchas maneras de cómo realizar un AMFEC. Este análisis se realiza normalmente identificando los modos de fallo, las respectivas causas relacionadas y los efectos inmediatos y finales. Y como entregable final se puede represar todo el análisis en una hoja de trabajo que contenga un núcleo de información esencial para el sistema completo. Se muestran las formas en la que los sistemas podrían llegar a fallar potencialmente, los componentes y sus modos de fallo. Para poder analizar la causa de cada fallo individual (Lizarraga, 2018).

Se considera al AMFEC como un método para identificar la severidad de modos de fallo potenciales y proporcionar información para tomar soluciones que mitiguen o reduzcan el riesgo. Adicional en muchas oportunidades el AMFEC incluye también una estimación de la probabilidad de ocurrencia de los modos de fallo. Esto mejora el análisis proporcionando una medida de la probabilidad del modo de fallo (Moubray, 2004). Cuando se crea un AMFEC puede actualizarse y mejorarse para las futuras generaciones de ese diseño, lo que sirve de base y disminuye el esfuerzo que el realizar un análisis completamente nuevo (Barrientos, 2017).

2.3.9. Estructura del sistema

2.3.9.1. Definición de los límites del sistema para el análisis

La definición de límite del sistema estará influenciada por el diseño y el uso previsto, el origen del suministro o criterios comerciales. Sin embargo, cuando sea posible, es preferible definir los límites para facilitar el AMFEC del sistema y su integración y su integración con otros estudios relacionados con el programa. Especialmente si el sistema es funcionalmente complejo con múltiples interconexiones entre elementos dentro de los límites y múltiples salidas que atraviesan el límite. En estos casos podría resultar ventajoso definir un límite de

estudio desde el punto de vista funcional en lugar de hacerlo desde el punto de vista del hardware y del software para limitar el número de conexiones de entrada y salida con otros sistemas (MCP SA, 2023).

Al hablar de un límite nos referimos a la interfaz física y funcional entre un sistema y su entorno, este concepto incluye otros sistemas con los que podría interactuar. Es por ello que el límite del sistema para este análisis debería corresponder con el límite definido para el diseño y el mantenimiento. Esto debería aplicarse en cualquier nivel en un sistema y definir explícitamente los componentes que estarán fuera de los límites para su exclusión (Mora, 2009).

2.3.10. Niveles de análisis

Es importante determinar el nivel de subdivisión del sistema que se usará para el análisis. Por ejemplo, los sistemas pueden descomponerse por funciones o en subsistemas, unidades reemplazables, o componentes individuales. Las reglas básicas para seleccionar niveles de subdivisión del sistema para el análisis dependen de los resultados deseados y de la disponibilidad de información de diseño (Palacio, 2018).

Para poder definir el nivel, se debe considerar las siguientes pautas:

- Seleccionar el nivel más alto dentro del sistema a partir de la concepción del diseño y de los requisitos de salida especificados.
- El nivel más bajo dentro del sistema en el que el análisis es eficaz, es aquel para el que se dispone de información para establecer la definición y la descripción de funciones. Puede justificarse un análisis menos detallado para un sistema basado en un diseño maduro.
- El mantenimiento especificado o previsto y el nivel de reparación pueden ser una valiosa guía para determinar los niveles más bajos del sistema.

En el AMFEC, las definiciones de modos de fallo, causas de fallo y los efectos de los fallos dependen del nivel de análisis y de los criterios de fallo del sistema. A medida que avanza el análisis, los efectos de los fallos identificados en un nivel inferior pueden convertirse en modos de fallo de un nivel superior. Los modos de fallo de un nivel inferior pueden convertirse en las causas de fallo de un nivel superior y así sucesivamente (Mora, 2009).

Cuando se dispone un sistema a nivel de sus elementos, los efectos de una o más de las causas de los modos de falla constituyen a un modo de fallo que a su vez es una causa del efecto a nivel superior. El fallo de un componente es entonces la causa de un fallo del módulo, que en sí mismo es una causa de un fallo del subsistema. El efecto de una causa a un nivel del sistema se convierte en una causa de otro efecto a un nivel superior.

2.3.11. Mantenimiento 4.0

Generalmente, cuando es necesario recopilar datos sobre el estado de las máquinas recurrimos a técnicos especializados en esta área. En el Mantenimiento 4.0, con el desarrollo de nuevas tecnologías conectadas, existen máquinas que realizan esas tareas, de modo a maximizar la vida útil de los componentes de las máquinas y evitar fallos. Con las tecnologías del Mantenimiento 4.0, los datos buscan el ser humano y no el revés. Los procesos de mantenimiento han evolucionado del modelo preventivo hacia el predictivo. Así, el enfoque deja de estar solamente centrado en la prevención, pasando a la previsión (Cabeza, 2018).

Acompañar la inversión y rentabilidad de los equipamientos, superar fronteras de comunicación o impulsar la organización en el mercado son algunas de las ventajas de esta nueva era digital. El Big Data, por ejemplo, es un importante aliado del mantenimiento centrado en la fiabilidad de los equipamientos. La tecnología del Big Data, junto con la Inteligencia

Artificial (AI), consigue determinar con mayor precisión la vida útil de los equipamientos, el riesgo de fallo y el respectivo impacto en el sistema (Pérez, 2019).

- **Big Data:** Big Data es el término que describe el gran volumen de datos estructurados y no estructurados que forman parte de las empresas. El Big Data puede ser útil en la toma de decisiones y mejorar las estrategias de negocio.
- **Inteligencia Artificial:** Muchas empresas están invirtiendo en el desarrollo de mecanismos de inteligencia artificial en el área del mantenimiento. Estos mecanismos surgen cada vez más rápido y desempeñan un papel fundamental en la rutina diaria del departamento de mantenimiento.
- **Internet de las Cosas (Internet of Things):** El acrónimo IOT significa Internet of Things. Esta tecnología corresponde a la capacidad de asignar a aparatos u objetos una conexión permanente a internet. Después de conectados, estos equipamientos pasan a ser reconocidos en la red y consiguen intercambiar información en tiempo real.
- **Computación en la Nube (Cloud Computing):** La computación en la nube es la provisión de servicios de computación, incluyendo servidores, almacenamiento, bancos de datos, red, software, análisis e inteligencia, por internet (“la nube”) de modo a ofrecer innovaciones más rápidas, recursos flexibles y economías de escala.

2.3.12. *Aplicativo Appsheet*

AppSheet es una plataforma que permite crear aplicaciones personalizadas sin necesidad de saber programar, ideal para usuarios de cualquier nivel de habilidad. Facilita la automatización de procesos y mejora la colaboración al combinar tecnología sin código con la inteligencia artificial de Google. Con AppSheet, puedes desarrollar aplicaciones rápidamente y automatizar tareas para ahorrar tiempo y trabajar desde cualquier lugar (Tume, 2022).

Recoge datos de formas más inteligentes, tanto online como offline sobre el terreno. AppSheet utiliza la potencia de tus dispositivos para añadir datos más valiosos, como ubicaciones GPS, imágenes, dibujos, escaneos de códigos de barras y reconocimiento de caracteres. Anticipa y automatiza la recogida de datos para optimizar procesos, ahorrar tiempo a los empleados y mejorar la calidad de los datos. Busca y da órdenes en tus aplicaciones con el procesamiento del lenguaje natural (PLN), captura y anota imágenes con la visión artificial y crea modelos predictivos que aprendan a generalizar a partir del historial de datos de tu aplicación; todo ello sin ningún tipo de experiencia en aprendizaje automático (Barrientos, 2017).

Gestiona y controla las aplicaciones de tu organización para que tanto los desarrolladores como el equipo trabajen juntos de forma eficiente. Configura políticas y personaliza la experiencia para mostrar solo las funciones e información necesarias según el rol del usuario. Las aplicaciones son flexibles, compatibles con dispositivos móviles y navegadores, y su interfaz puede diseñarse usando plantillas para crear listados, mapas, calendarios, paneles de control y más (Turco, 2022). Asimismo, puedes incorporar flujos de trabajo automatizados en las aplicaciones para realizar tareas como:

- Enviar notificaciones.
- Generar correos.
- Crear informes personalizados.
- Modificar los datos de cualquier fuente conectada

2.3.13. Plan de mantenimiento

Tradicionalmente, hay muchas variaciones sobre cómo se realizan y presentan los AMFEC. Siempre que sea posible, se debe formar un grupo de trabajo para el análisis crítico y funcional compuesto por (Mora, 2009):

- Profesional de producción (experto en la conducción y el funcionamiento del sistema).
- Profesional de mantenimiento (experto en el mantenimiento del sistema).
- Técnicos del proceso de producción y de mantenimiento.
- Otros especialistas en caso necesario.

El AMFEC (Análisis Metódico de Fallos, su Efecto y Criticidad) y el análisis de árbol de fallos son herramientas clave para diseñar o mejorar un plan de mantenimiento preventivo (PMP), permitiendo identificar y priorizar soluciones frente a posibles fallos en los sistemas. Estos métodos analizan las causas, efectos y criticidad de las fallas, ayudando a optimizar los planos iniciales recomendados por fabricantes o desarrollados por técnicos. Antes de su aplicación, es esencial recopilar toda la documentación relevante para asegurar un análisis completo y fundamentado (Barrientos, 2017). Por ello, antes de comenzar a estudiar un PMP es necesario reagrupar todos los documentos necesarios y existentes:

- Fichas y gamas de mantenimiento preventivo existentes (auto mantenimiento y mantenimiento programado).
- Histórico de fallos.
- Recomendaciones de los fabricantes de los equipos.

2.3.14. Cálculo de indicadores de mantenimiento

De acuerdo con Valencia (2022) la disponibilidad se calcula dividiendo el tiempo que un equipo o sistema está operativo entre el tiempo total planificado para su funcionamiento. En esencia, es una medida de la confiabilidad y la capacidad de un activo para realizar su función cuando se necesita

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Donde:

MTBF = Tiempo medio entre fallas, es el tiempo en promedio en el que se espera que un equipo falle, en otras palabras, se podría decir que es el tiempo que hay entre una falla y la otra.

MTTR = Mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación desde que el equipo quedó inoperativo por alguna falla.

Según (Mendoza, 2023), para poder hacer el cálculo de la confiabilidad del equipo se requiere obtener previamente el dato del MTBF, en la siguiente figura se muestra la fórmula que se debe aplicar para poder obtener la confiabilidad.

$$\text{CONFIABILIDAD} = R(t) = e^{-\lambda * t}$$

En donde el factor λ es equivalente a:

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}}$$

El tiempo t son las horas que el equipo debe funcionar, se puede considerar como el tiempo total que el equipo debe estar funcionando.



3. METODOLOGIA DE APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO 4.0

3.1. Introducción

En este capítulo se va a detallar la metodología que se utiliza durante el proceso de implementación de la metodología 4.0 para la flota de Manlift Z62/40 de una importante minera del sur. Se detalla el paso a paso desde un análisis de fallas para mejorar las estrategias de mantenimiento hasta llegar a la implementación del ERP. Cabe recalcar que el mismo proceso se replica para las demás flotas de la minera.

En este estudio se aplicó desde la perspectiva de una empresa contratista que brinda servicio de mantenimiento a una importante minera del sur de nuestro país. La empresa minera ha experimentado un rápido crecimiento en los últimos años y se ha logrado posicionar entre las mineras más rentables del país; esto se debe no solo a la calidad de la ley del material sino a la cantidad y el producto final que ofrece. En los próximos años se proyecta construcción de una tercera concentradora, por lo que la proyección es llegar a ser la minera más grande del Perú.

Este crecimiento además se ve reflejado directamente en la flota auxiliar de equipos que se va adquiriendo para el 2024; se cuenta con una flota de más de 600 equipos, entre las cuales se observan montacargas, manlifts, generadores, barredoras, chancadoras, zarandas, torres de iluminación, soldadoras, etc. Estos equipos se encuentran distribuidos por todas las áreas de la mina (Cabeza, 2018). Actualmente la gestión de la flota está a cargo de un grupo muy capacitado de personas que forman parte del departamento de mantenimiento, pero las estrategias que se utilizan se basan básicamente en mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo, esto debido al aumento de la flota, variedad de familias de equipo; cuyos esfuerzos llegan a tornarse sobre lo humano. Por ello, se requiere implementar diferentes alternativas para que el departamento de mantenimiento y la minera en general puedan soportar la operación con equipos de alto nivel de disponibilidad y confiabilidad.

El plan de mantenimiento es la base sobre la cual se construye la disponibilidad y la confiabilidad en todos los diferentes tipos de industria a nivel mundial, se define a un equipo como un instrumento que se utiliza para poder realizar un trabajo o brindar un servicio. Dentro del proceso de mantenimiento surge un factor de alto impacto relacionado con el uso de los recursos (financieros, humanos, tecnológicos) por lo que se tiene que tomar decisiones para poder direccionar bien y para ello se desarrollan estrategias como planes de mantenimiento óptimos (Crespo & Parra, 2012).

3.2. Metodología de implementación

Los autores Hernandez y Pabón (2012) manifestaron que para iniciar con la metodología AMFEC es necesario identificar el sistema, subsistema y componentes; en la siguiente figura se visualiza la descomposición jerárquica del tren de potencia y se tomó como referencia el subsistema de refrigeración. Es decir, la metodología AMFEC es fundamental en la gestión de riesgos, utilizada para identificar, evaluar y priorizar los posibles modos de falla en un sistema, subsistema o componente.

Es necesario que se describan las funciones de cada uno de los componentes a identificar, se tomará como ejemplo la bomba de agua que tiene como función principal elevar la presión del refrigerante para que pueda circular por el block y la culata del motor, de esta manera realizar la función de refrigeración. Si la función principal del componente no se define correctamente entonces no se podrá identificar correctamente los modos de falla y el análisis podría salir errado (Barrientos, 2017).

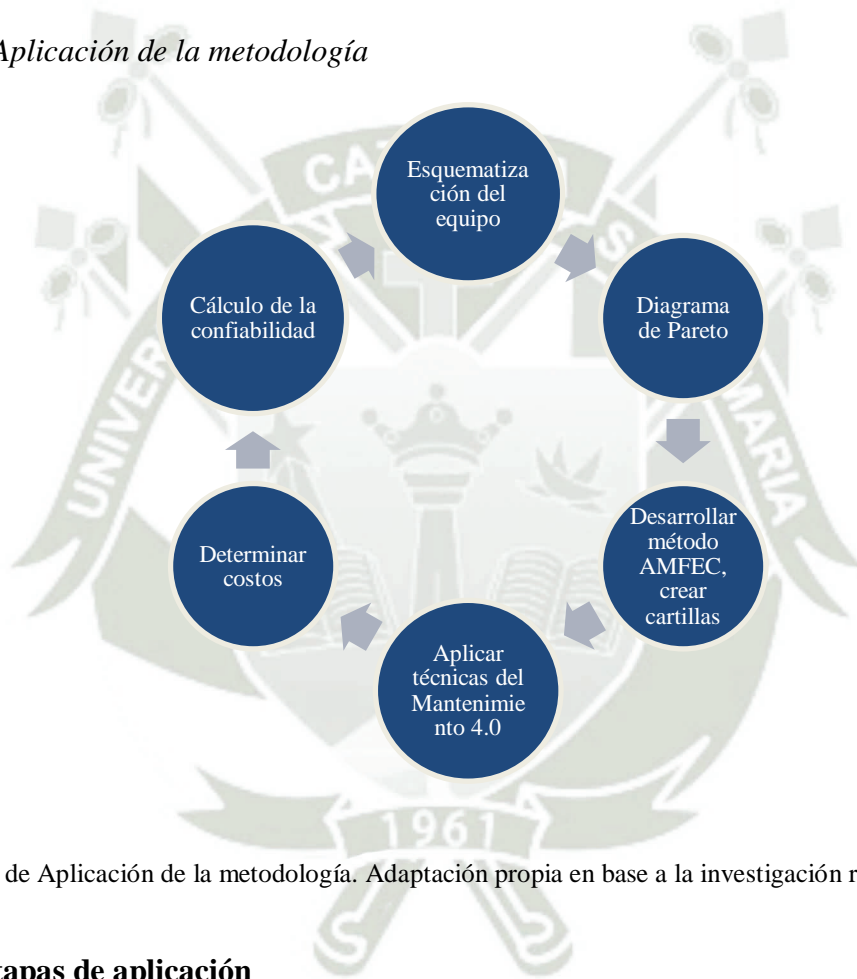
Avila (2023) expuso que la industria en la actualidad está tomando un papel muy importante, el cual se considera un motor de innovación y crecimiento, a su vez no se puede negar que la competencia actual es cada vez más intensa y solo aquellas empresas que logren conseguir sus objetivos con mayor eficiencia disminuirán tiempo y gastos innecesarios, se estos se volverán más competitivas. Una solución a la altura de estos tiempos son las técnicas que constituyen al mantenimiento 4.0 como el Big Data y Cloud Computing que nos permiten hacer

un manejo de información con mucha practicidad, lo que permitirá mover todos los recursos a otro tipo de análisis sin necesidad de gastar horas y hombre de forma innecesaria.

En la Figura 4 se muestra el paso a paso de cómo se completó la aplicación de las estrategias de mantenimiento sobre la flota de manlift de la empresa minera. En este capítulo se dará el alcance teórico de la metodología utilizada.

Figura 4

Flujo de Aplicación de la metodología



Nota: Flujo de Aplicación de la metodología. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

3.3. Etapas de aplicación

3.4. Esquematación del equipo

Esta etapa del proceso es muy importante ya que nos permite poner los límites de estudio que se han identificado para cada uno de los sistemas, subsistemas y componente que se han analizado; es decir desde un punto de inicio hasta un punto final.

Por otro lado, los límites del sistema estuvieron probablemente influenciada por el diseño, criterios comerciales, uso previsto de desarrollo de la taxonomía del equipo, manual de

operaciones, mantenimiento de las partes para delimitar correctamente los sistemas y subsistemas del equipo (Barrientos, 2017).

Hacer una esquematización correcta ayuda a la correcta identificación de sistemas y subsistemas del equipo, nos dará una visualización correcta de lo que se debe evaluar y si hubiera efectos secundarios de la falla ya se podrá identificar que sistemas podrían ser los afectados.

3.4.1. Unidad de potencia

El manlift diesel modelo Z62/40 cuenta con un motor Perkins 404D-22 es un motor de 4 cilindros en línea con una potencia máxima de 38 kW. Los cilindros del motor tienen una carrera de 100 mm y una cilindrada de 2.216 L. El sistema de inyección del motor es de tipo indirecto, por lo que el combustible es inicialmente enviado a una pre-cámara o colector de admisión y después recién va a la cámara de combustión, una de las principales ventajas de este sistema es que genera menos emisiones contaminantes (Díaz, 2020).

Tabla 5

Especificaciones del motor 404D-22

Especificaciones del motor 404D-22	
Velocidad de operación máxima (rpm)	2500 rpm
Cilindros y configuración	Cuatro cilindros en línea
Calibre	84,0 mm (3,31 pulg)
Carrera	100,0 mm (3,94 pulg)
Cilindrada	2,216 L (135,229 pulg ³)
Aspiración	No disponible
Relación de compresión	23,3:1
Orden de encendido	1-3-4-2
Ajuste del juego de las válvulas (admisión)	0,20 mm (0,008 pulg)
Ajuste del juego de las válvulas (escape)	0,20 mm (0,008 pulg)
Inyección	Indirecta

Nota: Manlift diesel modelo Z62/40; Díaz, 2020.

Figura 5

Motor Perkins 404d-22

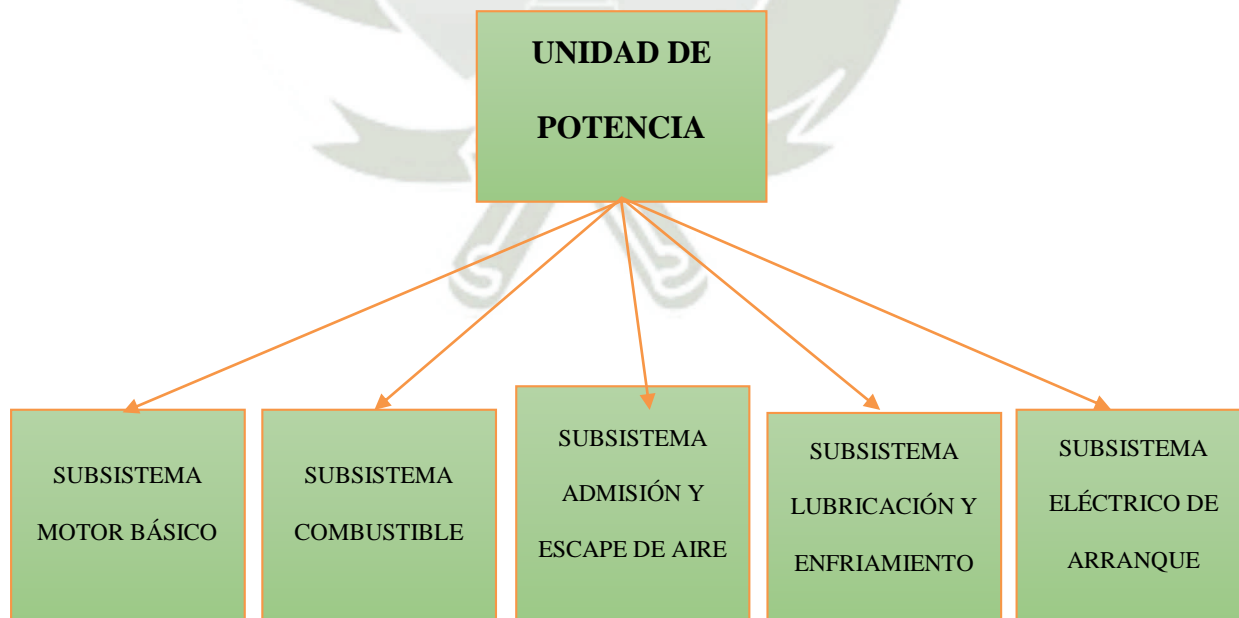


Nota: Manlift diesel modelo Z62/40 motor Perkins; Contreras, 2020.

3.4.1.1. Subsistema unidad de potencia

Figura 6

Sistemas de la unidad de potencia



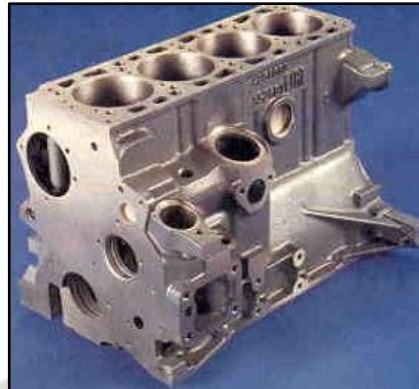
Nota: Sistema de la unidad de potencia. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

3.4.1.2. *Subsistema motor básico*

Según Contreras (2020) el motor 404D-22 es un modelo de 4 cilindros con una capacidad de 2,2 litros que funciona sin turbo. Genera hasta 38 kW de potencia, destacándose por su fuerza a bajas velocidades, bajo costo de mantenimiento y un funcionamiento silencioso y suave. Este motor comparte la mayoría de sus piezas con otras de la serie 400D, lo que lo hace muy versátil y fácil de mantener. La serie 400 ofrece varias opciones para cubrir necesidades de energía en equipos compactos. Perkins es reconocido por fabricar motores duraderos y confiables, incluso para trabajos pesados fuera de carretera. Un motor de combustión interna tiene tres partes principales: el bloque (donde están los cilindros), la culata (donde se controlan las válvulas) y el cárter (que protege las piezas internas). También incluye sistemas esenciales como los de alimentación, encendido, distribución, refrigeración y lubricación.

El bloque del motor Figura 7 es la pieza más grande y fundamental, donde se ubican los cilindros en los que los pistones se mueven hacia arriba y abajo. En su parte superior se fija la culata mediante espárragos, y por él circulan los sistemas de lubricación y refrigeración. Por lo general, está fabricado con aleaciones de hierro y aluminio, combinadas con pequeñas cantidades de cromo y níquel, ya que debe soportar las altas temperaturas generadas durante los procesos de expansión y escape de gases en los cilindros. Las partes principales del bloque incluyen la junta de culata, los cilindros, los pistones, los anillos, los bulones y las bielas, entre otros (Díaz, 2020)

Las fallas más comunes en el bloque de motor son por desgaste, grietas, fugas de aceite o refrigerante y la prueba que se utiliza para poder revisar el estado de los cilindros es un análisis de compresión. Estas fallas son causadas por el sobrecalentamiento, defectos de fabricación o un desgaste normal del equipo. Si el desgaste es por tiempo de utilización que es lo ideal, se podría sentir en el equipo una pérdida en la compresión.

Figura 7*Bloque de motor*

Nota: Principales bloques de la junta de culata; Contreras, 2020.

La culata que se ve en la Figura 8 está ubicada en la parte superior del motor y contiene las válvulas de admisión y escape, las bujías, el árbol de levas y las cámaras de combustión. Al igual que el bloque del motor, tiene conductos para el sistema de refrigeración y lubricación. Esta pieza que cierra la parte superior de los cilindros y sella las cámaras de combustión en un motor de combustión interna. Se la considera la parte más "elástica" del motor, ya que alcanza mayores temperaturas. Sirve de soporte para otros muchos elementos y componentes. Sus principales componentes son: la cámara de combustión, las válvulas, las guías, los asientos de las válvulas, el árbol de levas, las bujías, entre otros.

Figura 8*Culata de motor*

Nota: Bloque motor para sistemas de refrigeración y lubricación; Contreras, 2020.

El cárter que se ve en la Figura 9 se encuentra en la parte inferior del motor, acá se deposita el aceite para el sistema de lubricación. En la parte inferior se tiene un tapón para el vaciado de este. El Carter generalmente está provisto de aletas en la parte exterior para mejorar la transferencia de calor. El material usual para su fabricación es aluminio, aunque tiene pequeñas porciones de cobre y zinc. Cerca al cárter se ubica el cigüeñal, cojinetes y volante de motor (Dueñas et al., 2020).

Figura 9

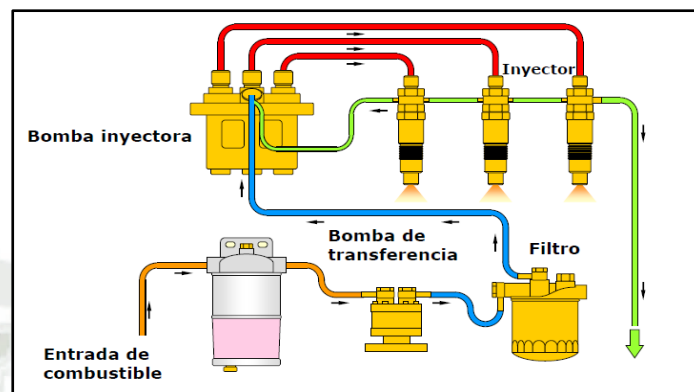
Carter de motor



Nota: Carter de aletas de transferencia de calor; Dueñas et al., 2020.

3.4.1.3. Subsistema de combustible

El combustible es extraído del tanque de combustible y fluye a través del filtro primario que atrapa las partículas pequeñas además de separar el agua del combustible en la parte inferior del filtro primario a la admisión a la bomba de combustible de inyección indirecta simple y robusta. El combustible va por tuberías de alta presión hacia uno inyectores de boquilla de perno simple (ISO 55000, 2014). De acuerdo al tipo de motor las bombas de combustible se calibrarn si es que el equipo va a trabajar en altura, de no hacerlo el motor puede comentar a humear. En la Figura 10 se puede ver el circuito de combustible.

Figura 10*Flujo de combustible*

Nota: Combustible extraído del tanque de combustible del filtro primario; ISO 55000, 2014.

La calidad del combustible es crítica para el rendimiento del servicio, y la vida del motor. El agua en el combustible puede generar un desgaste excesivo en el sistema de combustible. La condensación ocurre durante el calentamiento y el enfriamiento del combustible. La condensación ocurre en la línea de combustible y en la línea de retorno al tanque. Esto genera la acumulación de agua en el Carter.

- **Bomba de transferencia:** La bomba de transferencia crea un vacío para forzar el combustible del tanque. La presión se crea para bombear el combustible a la bomba inyectora. El diagrama previene que el combustible pase dentro del bloque. La válvula de salida y la válvula de entrada operan como válvulas de control (ISO 55000, 2014).
- **Filtro de combustible:** Existen 2 tipos de filtro de combustible que se pueden instalar en estos motores: con elemento o con canister.
- **Bomba inyectora:** Este motor emplea una bomba inyectora tipo cassette, y su ajuste es clave para controlar el momento en que la bomba envía el combustible a los inyectores, se recomienda de igual forma hacer análisis de compresión cada PM2000. Es fundamental conservar los calces con sus espesores originales para asegurar que la inyección ocurra en el momento adecuado y evitar problemas de funcionamiento (Marfán & Meller, 2019).

3.4.1.4. Subsistema de admisión y escape de aire

Cuando el motor funciona frecuentemente a temperaturas menores a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0\text{ }^{\circ}\text{F}$), es recomendable tomar aire desde el filtro ubicado en el compartimiento del motor. El calor que emite el motor ayuda a calentar este aire, y se puede retener más calor aislando dicho compartimiento (Duffuaa et al., 2006). Algunos motores tienen un manómetro que mide la diferencia de presión en el sistema de admisión de aire. Este dispositivo compara la presión del aire antes y después del filtro. Cuando el filtro se ensucia, la diferencia de presión aumenta, indicando la necesidad de mantenimiento. Se debe revisar el indicador de servicio del filtro de aire. Es necesario limpiar o cambiar el filtro si ocurre alguna de estas situaciones:

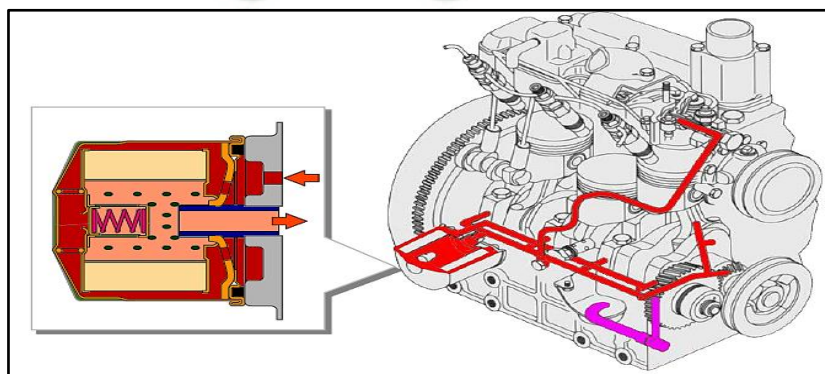
- El indicador amarillo llega a la zona roja.
- El pistón rojo queda bloqueado en una posición visible.

3.4.1.5. Subsistema de lubricación y enfriamiento

El sistema de lubricación Figura 11 incluye una bomba y un filtro de aceite. Es importante seguir un procedimiento adecuado al cambiar el aceite. No debe drenar cuando el motor esté frío, ya que las partículas se acumulan en el fondo del cárter y no se eliminan correctamente. Para un drenaje efectivo, el motor debe estar apagado, pero con el aceite caliente, lo que permite que las partículas suspendidas salgan junto con el aceite (Stavrou et al., 2001).

Figura 11

Circuito de lubricación



Nota: Circuito de lubricación de aceite Perkins; Stavrou, Sedding, & Penman, 2001.

El sistema de refrigeración consta de una bomba de refrigerante accionada por correa, viene equipado de un ventilador para tener un enfriamiento directo en el radiador, un sensor de temperatura del refrigerante.

Esto garantiza que el refrigerante siga moviéndose incluso en condiciones frías. El termostato comienza a abrirse cuando el agua del motor alcanza la temperatura mínima necesaria. A medida que el refrigerante se calienta, el termostato se abre más para permitir que fluya hacia el radiador, donde se elimina el exceso de calor (Zhang et al., 2020).

El motor tiene un termostato de agua que regula la circulación del refrigerante. Cuando el refrigerante está por debajo de la temperatura ideal de funcionamiento, este circula dentro del bloque y la culata del motor, regresando por un conducto interno que evita la válvula del termostato.

Antes de evaluar se tiene que tener en claro las temperaturas de apertura y cierre del termostato, para poder usar el pirómetro y saber si la medida que obtenemos está dentro del rango de temperatura de trabajo.

3.4.1.6. Subsistema eléctrico de arranque

El sistema eléctrico tiene tres circuitos principales: el de carga, el de arranque y el de accesorios de bajo amperaje. Algunos componentes, como la batería, los sensores y los cables, son compartidos entre estos circuitos. El circuito de carga funciona cuando el motor está encendido. En este, el alternador genera electricidad para recargar la batería con ayuda de un regulador de voltaje que controla la energía para mantenerla completamente cargada. Por otro lado, el circuito de arranque solo opera cuando se activa el interruptor de encendido (Stavrou et al., 2001). Para que el sistema eléctrico del motor y del vehículo funcione de manera eficiente y confiable, es importante que estén correctamente conectados a tierra.

Asegúrese de que el alternador y el cargador de baterías funcionen bien. Si las baterías están cargadas correctamente, el amperímetro debería marcar cerca de cero. Es importante

mantener las baterías cargadas ya una temperatura adecuada, ya que el frío afecta la potencia para arrancar el motor. Si la batería está muy fría, el motor no se encenderá. Además, si el motor no se usa por mucho tiempo o solo se enciende por períodos cortos, las baterías podrían no cargarse por completo (Zhang et al., 2020).

3.4.2. Sistema hidráulico

Un motor con bomba hidráulica genera la fuerza necesaria para que un manlift pueda mover objetos. Este sistema combina un motor de combustión, una bomba de pistones y una bomba de engranajes, todas conectadas en un mismo eje.

La bomba de pistones se encarga del desplazamiento y el freno, mientras que la bomba de engranajes controla el movimiento del brazo, la plataforma giratoria y la dirección (Serrano, 2019). El manlift tiene cuatro bombas con diferentes funciones:

- Bomba de elevación
- Bomba de tracción
- Bomba de carga
- Bomba auxiliar

La bomba de tracción Figura 12 es bidireccional y de pistones con desplazamiento variable. Puede alcanzar hasta 2500 rpm, con un caudal de 32,4 gpm y una presión máxima de 3750 psi.

Es el componente hidráulico encargado de generar caudal con la suficiente potencia para superar una presión inducida por la carga al elevar los brazos del manlift además de la carga que se coloque encima de la canastilla. Es importante esta bomba ya que se encarga de mover al equipo, Es importante resaltar que el manlift es un equipo que se mueve a muy baja velocidad por lo que es activado por un sistema hidráulico, por ello las pendientes en los traslados puede generar un bloqueo del equipo.

Figura 12*Bomba de tracción*

Nota: Sistema hidráulico de bomba de tracción; Serrano, 2019.

La bomba de carga es la que mantiene la presión en el sistema es de tipo gerotor va hasta las 2500rpm con un caudal de 9gpm y una presión de carga de 310 psi.

Para la elevación de los brazos se tiene un sistema de 2 bombas de engranajes Figura 13 en tándem las 2 bombas pueden girar hasta 2500 rpm. La primera bomba da un caudal de 14gpm y la segunda 2gpm (Serrano, 2019).

Figura 13*Bomba de elevación*

Nota: Bomba de carga de elevación; Stavrou, Sedding, & Penman, 2001.

La bomba auxiliar Figura 14 funciona cuando el circuito de alguna forma eventual se pudiera quedar sin energía, es una bomba de engranajes con un caudal de 1.7gpm y con una presión de 3200psi.

Figura 14

Bomba auxiliar



Nota: Bomba auxiliar de forma eventual de engranajes; Stavrou, Sedding, & Penman, 2001.

Las partes principales del sistema hidráulico de un manlift son:

- **Cilindros:** Son actuadores lineales que tienen la función de convertir la presión hidráulica en fuerza mecánica, dentro de los principales se tienen: cilindros de extensión tanto para el brazo primario y secundario, cilindro maestro, cilindro esclavo, cilindro plumón, etc. (Stavrou, Sedding, & Penman, 2001).

Figura 15

Cilindro de boom primario



Nota: Presión hidráulica con fuerza mecánica de cilindro de boom primario; Stavrou, Sedding, & Penman, 2001.

- **Tanque hidráulico:** Tiene la función de almacenamiento del aceite hidráulico para todo el sistema, en el caso de GENIE se fabrican de plástico y de latón.
- **Mangueras hidráulicas:** Son las responsables de llevar el flujo hidráulico a diferentes partes del circuito, pueden variar su dimensión, diámetro y presión de trabajo. Y pueden presentar un número diferente de almas de acero.
- **Conexiones hidráulicas:** Se encargan de la unión de las mangueras con las válvulas, pueden ser de tipo JIC, SAE, etc. Esas conexiones normalmente son la causa más común de fallas reportadas por fuga.
- **Filtros:** Son los responsables de evitar la contaminación del sistema hidráulico, tienen un tiempo de vida útil, de no cambiarse según el programa de mantenimiento pueden comprometer el funcionamiento de todo el sistema.
- **Manifold:** También se le conoce como bloque de válvulas, es construido de aleaciones de aluminio y se encarga de la distribución de aceite por todo el sistema. Tiene diversas cavidades donde son alojadas las válvulas y las conexiones de mangueras.
- **Válvula direccional:** Responsable de direccionar el flujo para el funcionamiento deseado del circuito, se presenta de muchas maneras de acuerdo a la necesidad ya sea por el número de vías, posiciones y configuración.
- **Válvula de alivio:** Responsable de limitar la presión máxima del sistema.
- **Válvula reguladora de caudal:** Responsable de limitar el flujo máximo del sistema para controlar la velocidad de los actuadores.
- **Válvula anti retorno:** Tienen la función de controlar el flujo del aceite solo en un sentido.
- **Interruptor de presión:** Responsable de informar una determinada presión en el sistema a través de una señal eléctrica.

3.4.3. Sistema eléctrico

Las baterías utilizadas por las plataformas GENIE son de 2 tipos: las de partida y las de ciclo profundo. Las baterías de partida tienen la característica de que entregan una cantidad de corriente mucho más grande en un corto espacio de tiempo, sufren una descarga del 20% de su capacidad y después son recargadas todo el tiempo. Las baterías de ciclo profundo tienen la característica de que entregan una cantidad pequeña de corriente en un largo espacio de tiempo y sufren una descarga del 70% y después son recargadas (Crespo & Parra, 2012). La gran mayoría de las plataformas GENIE usan baterías de plomo ácido. Se debe tener mucho cuidado con el electrolito.

El sistema eléctrico es uno de los principales puntos de falla de los manlift, ya que por la cantidad de polvo que suele haber en las zonas de trabajo de los equipos y sumando a los terrenos poco uniformes se llegan a soltar los sensores. Existen gran variedad de sensores dentro del manlift que trabajan de la mano con el sistema hidráulico para poder hacer de una forma segura y regulada los movimientos de los brazos extensibles. Un falso contacto de alguno de ellos puede llegar a generar desde una señal en la pantalla hasta dejar inoperativo en el equipo, por ello es muy importante mantener una limpieza correcta y revisar las conexiones en los mantenimientos que se le programa

Los relés más comunes utilizados en las plataformas de GENIE son los denominados relés BOSCH. Estos relés tienen la siguiente configuración.

- A – Terminal 87A – Normalmente Cerrado
- B – Terminal 85 – Señal negativa de la bobina
- C – Terminal 30 - Común
- D – Terminal 86 – Señal positiva de la bobina
- E – Terminal 87 – Normalmente abierto

Los micro interruptores están colocados en diversos lugares de la máquina tienen la función de indicar la posición en que se encuentra un equipamiento (elevado, recogido, extendido, etc.) Se configuran para que estén normalmente abiertos o cerrados (Galeano & Pérez, 2017).

Los manlift poseen una gran cantidad de sensores y Switches colocados estratégicamente para poder monitorear las condiciones de trabajo del equipo. Lo más importante es que nos manden una alerta cuando algo no este funcionando de forma correcta. Los sensores tienen un sistema eléctrico bien complejo y cualquier anomalía podría significar el bloqueo del equipo.

Los accesorios eléctricos Figura 16 usados en un manlift son circulinas, faros (chasis y canastilla). Los faros suelen ser cuadrados de 4 pulgadas y con luces led, ya que necesitan buena iluminación para los traslados. Las circulinas se utilizan como un estándar en empresas mineras, se requiere implementar para poder certificar el equipo antes de su uso (Galeano & Pérez, 2017).

Figura 16

Accesorios eléctricos de manlift



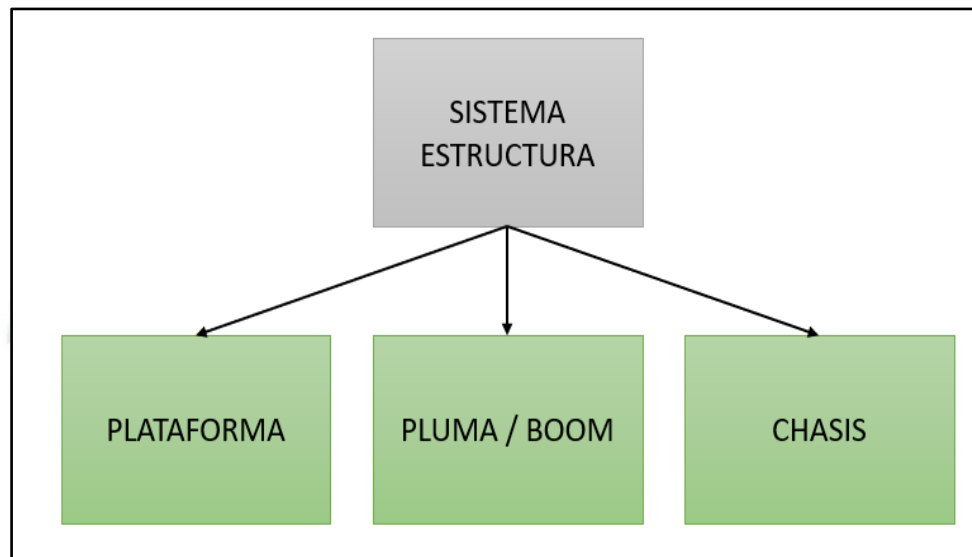
Nota: Accesorios eléctricos de manlift con circulinas; Galeano & Pérez, 2017.

3.4.4. Sistema estructural

En la Figura 17 se muestra los subsistemas del sistema estructural.

Figura 17

Sistema estructural



Nota: Sistema estructural. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

3.4.4.1. Plataforma

El sistema de control principal, basado en un microprocesador, se encuentra en el panel de control en tierra y fue desarrollado en colaboración con Sunstrand hace casi tres años. Este sistema utiliza una palanca de mando (joystick) para realizar diversas funciones, como dirigir, subir y bajar el brazo, extenderlo, retraerlo y girar la plataforma Figura 18. Además, los movimientos laterales del joystick controlan la dirección, mientras que los interruptores de palanca permiten nivelar y girar la plataforma, así como realizar funciones de subida y bajada (Duffuaa, Raouf, & Campbell, 2006). El sistema también ofrece opciones adicionales como extender o retraer ejes, cambiar el modo de dirección, ajustar las RPM del motor, arrancarlo, usar la bomba auxiliar, controlar la velocidad, activar la bocina o el generador, entre otras, todas estas activadas mediante botones específicos en el panel.

Figura 18

Canastilla y control de manlift



Nota: Canastilla y control del Manlift; Galeano & Pérez, 2017.

3.4.4.2. Pluma / Boom

Como ocurre con todos los modelos la sección final del brazo, la sección flotante, se alimenta mediante cables. Es posible realizar una inspección visual para detectar daños y desgaste recurrente en terminales de cable y poleas. En la parte trasera del brazo es posible separar el cilindro de extensión y el conjunto de cables (con poleas) (Ellmann, 2020). En la Figura 19 se visualizan las partes principales de la estructura del manlift.

Figura 19

Estructura de elevación de un manlift



Nota: Estructura de elevación de una Manlift de inspección visual de daños y desgaste; Ellmann, 2020.

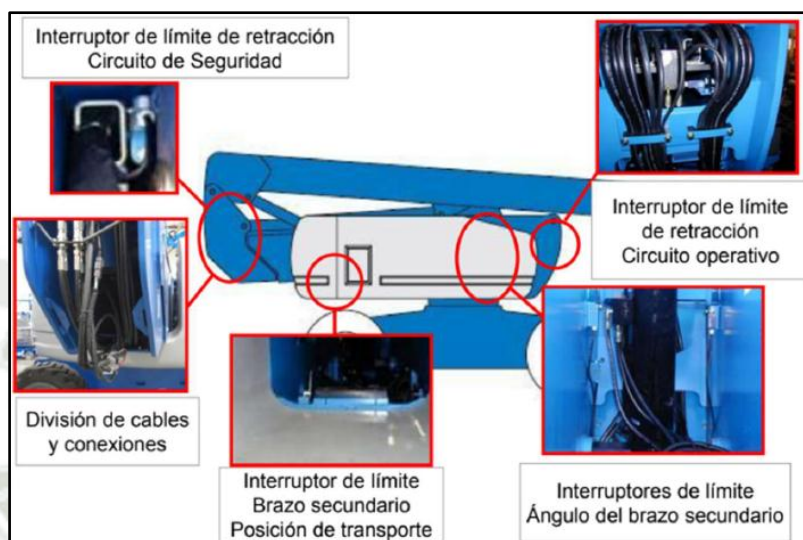
3.4.4.3. Brazo secundario

Cuando el brazo primario esté completamente arriba, el brazo secundario comenzará a extenderse automáticamente. La extensión se haya retraído completamente, el brazo secundario descenderá automáticamente en secuencia (Mora, 2009). El descenso y la extensión del brazo secundario no funcionarán si el brazo secundario no está completamente extendido cuando no está completamente levantado.

El brazo secundario que se muestra en la Figura 20 se activa mediante una bomba de carga que funciona de apoyo, cuando ya se tiene extendido completamente el brazo primario el secundario debe cargar con el peso de lo que se tenga en la canastilla, la misma canastilla, el brazo plumín y el brazo primario. Es importante recalcar que existen pruebas para medir la operatividad del equipo y una de ella examina el buen funcionamiento del sistema hidráulico para que se pueda mantener la carga por un tiempo determinado sin que el cilindro baje.

Figura 20

Brazo secundario



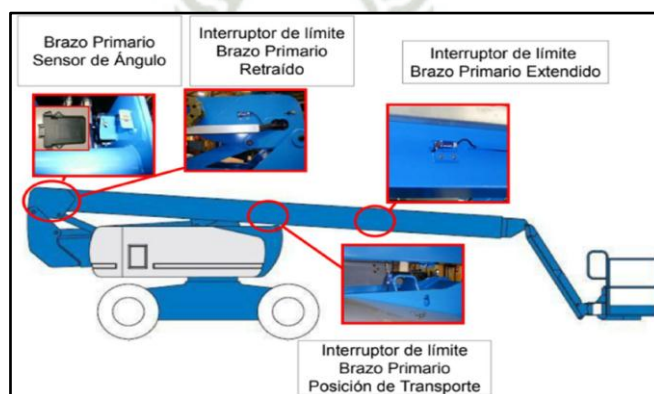
Nota: Brazo secundario con posición de transporte; Mora, 2009.

3.4.4.4. Brazo primario

La inclinación del plato giratorio a lo largo del eje Y impone restricciones al ángulo del brazo principal. El ángulo se calcula utilizando el ángulo del plato giratorio con respecto a un piso nivelado. Este boom está más pegado a la tornameasa y es el primero en extenderse (Mora, 2009).

Figura 21

Brazo primario



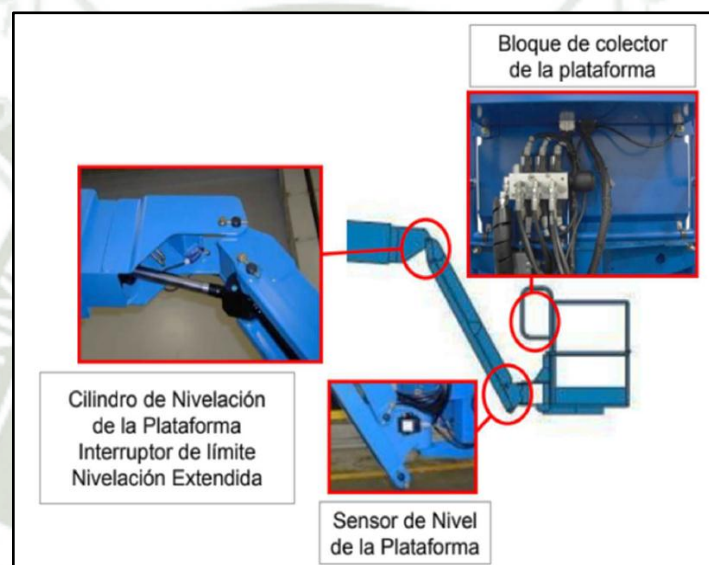
Nota: Brazo primario con posición de transporte; Mora, 2009.

3.4.4.5. Brazo plumín

El interruptor de límite de nivel extendido y el sensor de nivel de la plataforma trabajan juntos para controlar el cilindro nivelador, que es accionado por el bloque múltiple de la plataforma. Está posicionado justo antes de la canastilla como se ve en la Figura 22 (Mora, 2009).

Figura 22

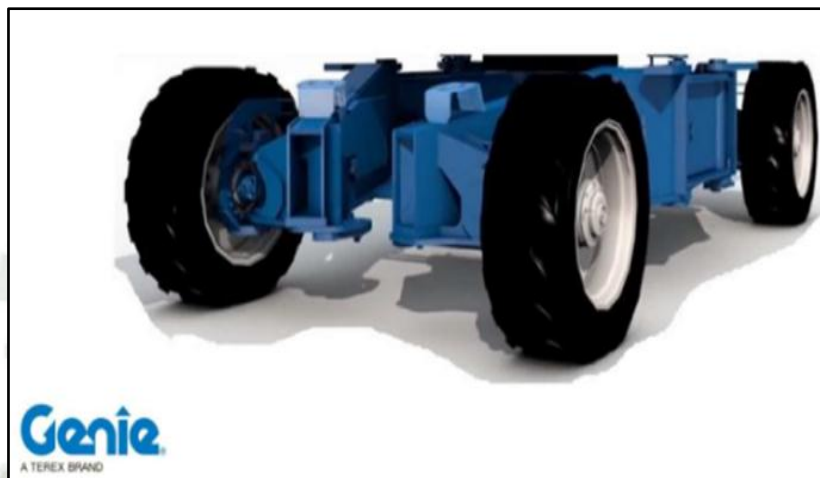
Brazo de plumín



Nota: Brazo de plumín completamente extendido; Mora, 2009.

3.4.4.6. Chasis

Para mover la tracción sólo se pueden utilizar los controles de la plataforma. Según la demanda del joystick, la velocidad de tracción es infinitamente proporcional. El sistema tiene dos motores de accionamiento de dos velocidades que ofrecen alta velocidad en terreno plano y un alto par para subir. Si la pluma no está retraída, la velocidad de tracción se restringe a 0,70 mph y se limita aún más a 0,4 mph si la pluma primaria y el plumín están extendidos (Lean, 2020). Cuando la plataforma giratoria pasa más allá de los neumáticos en la zona de conducción libre, se pierde tracción y el operador debe presionar el botón de activación para reactivar la función de conducción.

Figura 23*Chasis de manlift*

Nota: Chasis de Manlift; Lean, 2020.

3.5. Diagrama de Pareto de fallas

Posterior al desarrollo de la esquematización del equipo se debe hacer una limpieza y alineamiento de todos los reportes cargados en el historial de mantenimiento del equipo. De tal forma que se pueda extraer estadística de las fallas más comunes o de los componentes con mayor ocurrencia de falla. Por lo general en las industrias que cuentan con activos físicos se realiza un análisis de control estadístico respecto a un tiempo determinado con el fin de medir indicadores.

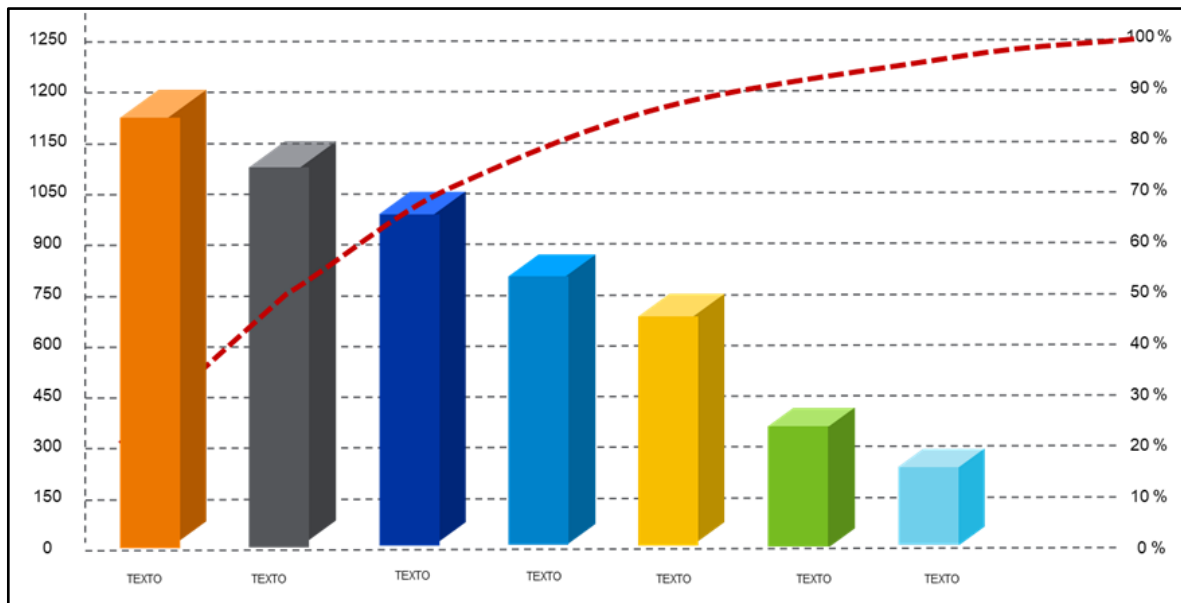
En este caso se utiliza el diagrama de Pareto, una herramienta que indica que la ley natural de distribución establece que el grupo minoritario del veinte por ciento posee el ochenta por ciento del fenómeno (Hernandez & Pabón, 2012). Este gráfico nos mostrará la frecuencia de las fallas encontradas, así como el impacto acumulado.

Los diagramas de Pareto son muy útiles cuando se quiere identificar a que defectos en el proceso se tiene que dar mayor prioridad. Es la combinación de un gráfico de barras y uno de líneas y es importante recalcar que los principales contribuidores son denominados como los “pocos vitales” y los contribuidores menores como los “muchos triviales”.

En la Figura 24 se muestra un boceto de Diagrama de Pareto, lo que se debe hacer es una línea horizontal en 80% y las barras que superen esta línea serán denominados los pocos vitales.

Figura 24

Ejemplo de diagrama de Pareto



Nota: Ejemplo de Diagrama de Pareto; Hernández & Pabón, 2012.

3.6. Desarrollo del método AMFEC

Cuando se tiene identificado el sistema o sistemas en los cuales se tiene mayor incidencia de falla se les aplicará el análisis de modos de falta y criticidad (AMFEC) con el fin de poder elaborar estrategias de mantenimiento.

Esta situación no se define de manera arbitraria, a pesar de toda la experiencia que se tenga. En la actualidad existe una gran cantidad de factores involucrados, es así como se aplican métodos usados en el RCM, igualmente se trata de un análisis de modos de falla, efectos y criticidad a la flota de la manlift diesel modelo Z62/40 debido a que dentro de la estructura de la minera esta como criticidad 1. Esta familia de equipo es utilizada para la elevación de

personas para hacer trabajos en altura como soldadura, inspecciones, análisis, etc. Por el uso que se le da se vuelve un equipo crítico que debe dar confiabilidad.

3.7. Estrategias de mantenimiento

Las estrategias de mantenimiento son planes integrales para minimizar el tiempo de inactividad, controlar costos y asegurar el funcionamiento óptimo de los equipos. Las cartillas de mantenimiento, por otro lado, son guías que detallan las tareas y los intervalos de mantenimiento para diferentes equipos, como vehículos, máquinas industriales, etc. Posterior al desarrollo del método AMFEC se debe desarrollar un plan para poder disminuir la ocurrencia de fallas, previo a la aplicación de las estrategias del mantenimiento 4.0, se puede mejorar las cartillas de mantenimiento, programación de inspecciones, realizar trabajos de mantenimiento predictivo, etc.

Lo importante que sean estrategias que mejoren el plan de mantenimiento del equipo, que los costos sean justificables en el tiempo y para ello se tienen que sacar indicadores como disponibilidad, confiabilidad, etc. Para poder medir el avance y mejora de la gestión del equipo.

3.8. Mantenimiento 4.0

En el Perú diversas compañías mineras que operan para la obtención de diversos materiales solicitan como parte de sus iniciativas de innovación buscar en obtener una digitalización total con el propósito de establecer un entorno de producción más avanzado. Es importante definir como fue el proceso antiguo y marcar los antecedentes para poder aplicar las estrategias del mantenimiento 4.0.

3.8.1. Proceso antiguo

Desde la perspectiva de la empresa contratista que brinda servicios de mantenimiento a una importante minera del sur, existen varios procesos que engloban la participación de ambas partes (personal contratista y personal de mina); se identifica que por varios factores existen demoras, solicitudes incompletas y hasta pérdida de la información.

Sin la aplicación de técnicas actuales de mantenimiento, la empresa contratista se enfocaba en la programación de mantenimientos, atender los correctivos programados y no programados, digitalizar información y solicitar backlogs. Por lo que se invierten muchas horas hombre por parte del técnico en escribir el informe y otras horas en digitalizar todo, pero en ese transcurso se tienen varios factores en contra, como tiempos de entrega, tiempos de validación por parte de supervisión ya que toda la información se mantenía en informes impresos llenados con lapicero.

3.8.2. *Gestión de mantenimiento antiguo*

Mendoza (2023) manifestó que la gestión de mantenimiento antiguo, está determinado dentro de los flujos más importantes e identificados y de mayor demanda de tiempo que se consumen, así como: Programar equipos para mantenimiento (plan de mantenimiento), desarrollar – validar informes de mantenimiento y gestión de solicitudes de backlogs de repuestos. En la Figura 25 se pueden apreciar los responsables de la validación de informes.

Figura 25

Responsables de la Validación de informes



Nota: Validar informes; Hernández & Pabón, 2012.

- **Programar equipos (plan de mantenimiento):** Desde la perspectiva de la empresa contratista se le entrega la proyección de equipo cada 2 semanas, y los planes o

programadores se encargaban de repartirlo durante los días de la semana, agruparlos según área, criticidad, etc.

No se tiene el proceso completo de mantenimiento, por lo que parte de la entrega de la programación de equipos culmina con la validación de los trabajos que se hicieron al final de cada día (Mendoza, 2023).

- **Desarrollar – Validar informes de mantenimiento:** Primero se tiene que mantener un stock de cada cartilla de mantenimiento, para que los técnicos puedan llenar de acuerdo con la relación de trabajos diarios que les haya tocado.

Posteriormente, que se haya realizado la atención o a fin de turno se pone a llenar las cartillas de mantenimiento de los trabajos ejecutados (pueden entregar el mismo día o al día siguiente) y se entregan al supervisor. Este supervisor revisa la información, luego valida las horas de trabajo poniendo de manifiesto que todas las observaciones que se hayan levantado sean entregadas al asistente de supervisión. En ese entender, el asistente de supervisión digitaliza los trabajos realizados, levanta las observaciones con los técnicos y lleva los informes al cliente (personal de mina). Por otro lado, el cliente revisa las cartillas y posteriormente la firma (validación), sin esa validación la empresa contratista no puede cobrar por las horas en que se realizaron trabajos. A veces hay observaciones y el supervisor tiene que ir presencialmente a levantar o explicar lo observado. Finalmente, el cliente entrega las cartillas a la empresa contratista para que sean trasladadas a la sucursal y sean escaneadas por el asistente administrativo. Este proceso de traslado a la sucursal se debe hacer de forma instantánea para que se pueda almacenar de forma correcta, muchas veces pasa que se pierde información si es que se quedan en mina.

El asistente administrativo debe validar las atenciones del reporte diario con los informes en físico para poder presentar los EDP a contratos y que pueda hacer el cobro. Este

proceso es muy extenso y se hace por semana de mantenimiento, además puede durar varios días de acuerdo con la disponibilidad para validar el tiempo de entrega del técnico, digitalizar la información y muchas veces se puede perder información valiosa en el camino.

3.8.3. *Gestión de backlogs de repuestos*

El proceso de validación de backlogs funciona de forma parecida a la de los informes, posteriormente a la atención del equipo el personal técnico llena la cartilla de solicitud de repuestos, ahí tiene que indicar ítems, números de parte, sistema al que pertenece, causa que lo ocasionó y la falla del equipo, adicional a todo esto por un grupo de WhatsApp envía las fotos de lo solicitado. En primera instancia, el formato se le entrega al supervisor para que pueda ser validado, posteriormente se entrega al cliente para que lo pueda verificar y validar; es necesario que ese formato físico este firmado para incluirlo en el correo de solicitud.

El formato firmado llega al asistente de supervisión, lo digitaliza, valida números de parte, revisa las fotos y las incluye, y posteriormente envía un correo con el formato digital y el físico (firmado) al área de planeamiento mina para que solicite los repuestos. El proceso se vuelve más largo cuando el técnico se olvida de tomar fotos, por lo que se tiene que regresar al lugar de inicio, no coloca el detalle de lo que está solicitando y por tanto se demora la validación, si pasa mucho tiempo se pierde la información, etc.

3.9. *Determinar costos*

Para poder determinar los costos de mantenimiento, es crucial identificar los gastos involucrados, es importante determinar cuánto costará desde la implementación de repuestos, software, mano de obra, etc. El análisis de costos resulta muy importante para evaluar la factibilidad de la implementación del mantenimiento 4.0, ya que no solo debe haber mejoras de procesos si no también verse reflejado monetariamente.



4. APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DEL MANTENIMIENTO 4.0 SOBRE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ACTUAL

4.1. Introducción

En este capítulo se tiene el desarrollo de la metodología del apartado anterior, pero solo para la flota de Manlift Diesel modelo Z62/40 de una importante minera del sur. Para la gestión de mantenimiento de activos físicos es de suma importancia mejorar la confiabilidad y disponibilidad de las flotas, para lograrlo es de suma importancia implementar una innovación inteligente, que pueda ayudar a mejorar los tiempos en los procesos de la gestión de mantenimiento, sin la necesidad de contratar recurso humano adicional y optimizar los tiempos de termino de entregables a mina como las cartillas de mantenimiento, los estados de pago, backlogs, etc.

Por lo mencionado en esta parte se describirá como es que las técnicas del mantenimiento 4.0 ayudarán a mejorar la gestión de mantenimiento de la importante minera del sur, usando como base la flota de manlift diesel modelo Z62/40.

4.2. Etapas de implementación

La flota de manlift de la importante minera del sur son 32 unidades de diferentes marcas y modelos. Pero el análisis presentado se hará de la marca GENIE y el modelo Z62/40 que es una flota de 6 unidades que nos servirá como muestra y los resultados los podemos replicar para toda la familia de manlift (Duffuaa et al., 2006).

Dentro del historial de mantenimiento que se utiliza en el seguimiento de las flotas de equipos y específicamente enfocando en la familia de manlift, se tiene que los de modelo Z62/40 son lo que más fallan y que también están colocados en zonas estratégicas como los son los relaves por lo que enfocaremos el análisis en esta flota

En la siguiente tabla se muestra el detalle de la flota de manlift sobre la cual se realizará el análisis.

Tabla 6

Flota del equipo manlift Z62/40

Equipo	Modelo	Serie	Año
Manlift049	Z-62/40	Z6215A-277	2015
Manlift050	Z-62/40	Z6215A-427	2015
Manlift051	Z-62/40	Z6215A-365	2015
Manlift052	Z-62/40	Z6215A-301	2015
Manlift053	Z-62/40	Z6215A-329	2015
Manlift057	Z-62/40	Z62H-4352	2019

Nota: Flota de manlift modelo Z62/40. Adaptación propio en base a la investigación realizada 2024.

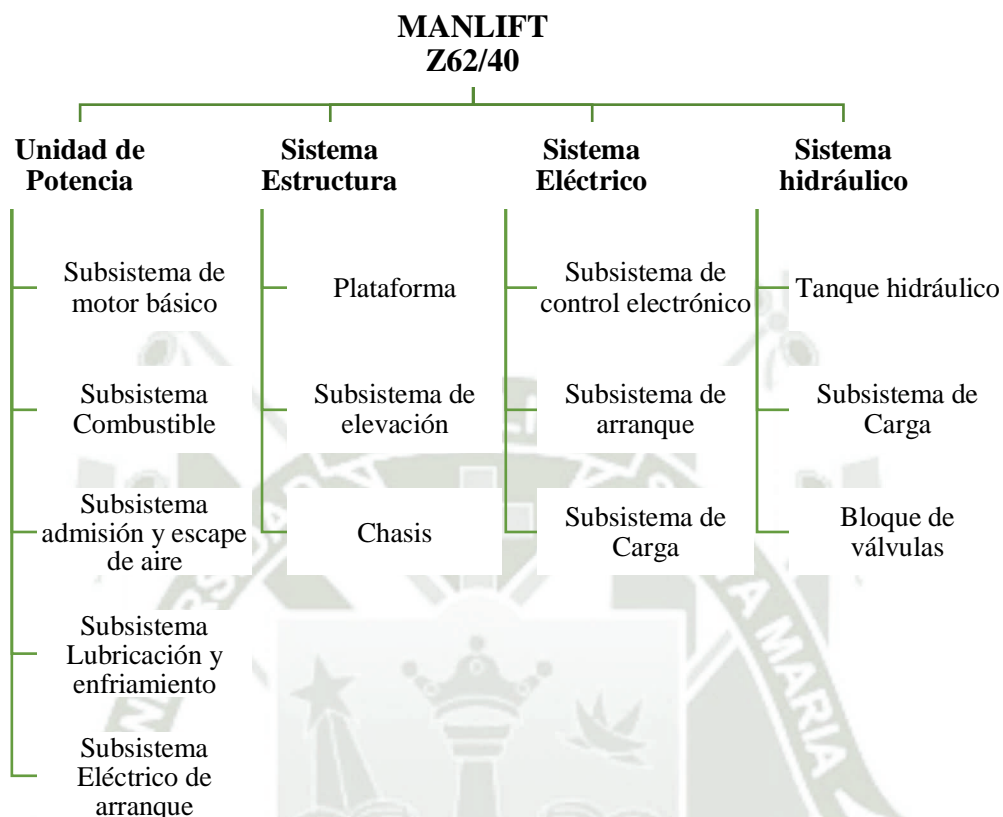
4.2.1. Esquematización del equipo

En la Figura 26 se muestra la división según la taxonomía y el manual de partes realizada al equipo de Manlift Genie modelo Z62/40 Para esta etapa de la metodología se hace un resumen de la taxonomía explicada en el capítulo anterior. El fin es poder desglosar el equipo en sistemas y subsistemas y evaluar equipo por componente.

El manlift Diesel modelo Z62/40 cuenta con 4 sistemas los cuales son unidad de potencia, sistema estructura, sistema eléctrico y sistemas hidráulico. El sistema más complejo es a unidad de motor ya que cuenta con 5 subsistemas internos: motor básico, combustible, admisión / escape, lubricación / enfriamiento y el sistema eléctrico de arranque. Cuando se haga el análisis de data del reporte diario se podrá distinguir con mayor facilidad a que sistema pertenece cada una de las fallas del equipo y se podrá determinar cuál es el sistema con mayor número de fallas. Se utiliza este modelo como muestra porque ya se tiene mas de 3 años de información de las atenciones a esta flota de equipos, por lo que se puede visualizar de mejor manera las fallas más comunes y replicarlo para toda la familia de equipo manlift.

Figura 26

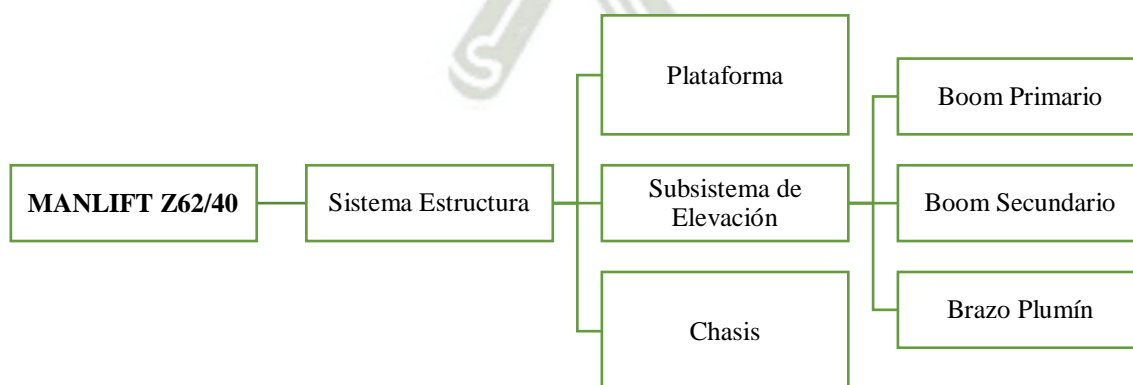
División de la taxonomía y partes del manlift Genie modelo Z62/40



Nota: Sistemas y subsistemas del manlift Genie modelo Z62/40. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

Figura 27

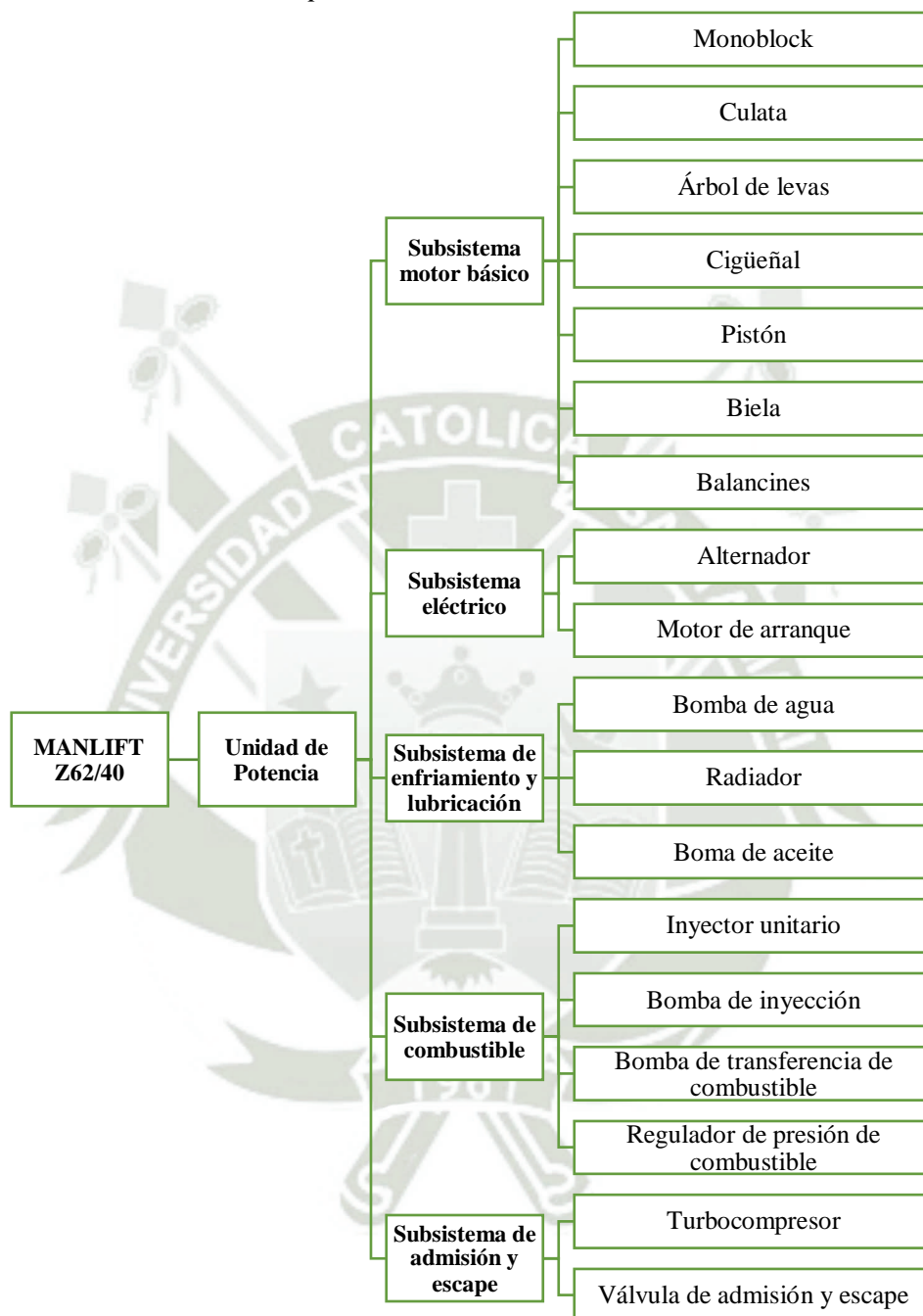
Jerarquización del sistema estructural del manlift



Nota: Jerarquización del sistema estructural del manlift. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

Figura 28

Jerarquización de la unidad de potencia

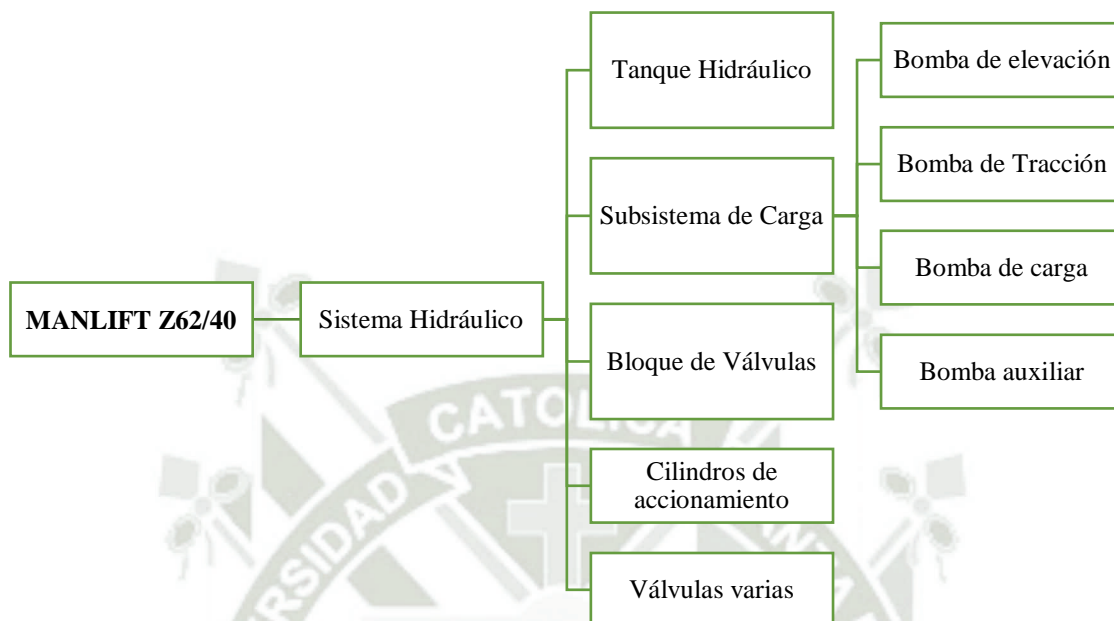


Nota: Metodología AMFEC para identificar el sistema, subsistema y componentes. Adaptación propia de en base a la investigación realizada, 2024.

En la Figura 28 se muestra la esquematización por cada subsistema del sistema Unidad de Potencia, importante para el desarrollo de la tesis, en la Figura 27, Figura 29 y Figura 30 se muestra la esquematización para los otros 3 sistemas del Manlift Z62/40.

Figura 29

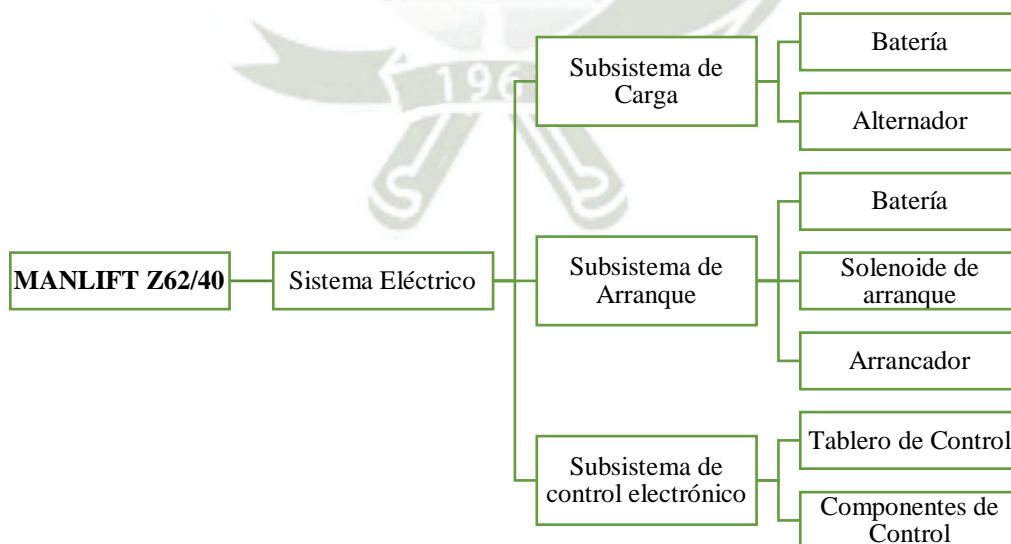
Jerarquización del sistema hidráulico del manlift



Nota: Jerarquización del sistema hidráulico del manlift. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

Figura 30

Jerarquización del sistema eléctrico del manlift



Nota: Jerarquización del sistema eléctrico del manlift. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

4.2.2. *Diagrama de Pareto de fallas*

Una vez realizada la jerarquización de los sistemas, se procede con el levantamiento de información de todas las fallas y atenciones de los equipos esta información es recopilada del reporte diario que es alimentado por planeamiento. El proceso natural es que el técnico realice la atención en taller o en campo, llena la cartilla de mantenimiento sea preventiva o correctiva, le lleva el formato físico al supervisor para que éste haga la validación de la información y sea cargada por planeamiento o el asistente de supervisión al reporte. También se tiene el conocimiento que una parte de la información no es reportada por el personal técnico ya que los reportes se hacen a final de día, y adicional se pierde información no por falta de conocimiento sino por la capacitación que tuvo el personal, puede que no se hayan identificado todas las fallas (Hernandez & Pabón, 2012).

Luego de ejecutar la revisión y procesamiento de la información, se encuentra que en la flota de equipos durante el último año de operación se logró identificar 607 intervenciones en general; por lo que enfocarse en todos los sistemas y tratar de resolver todos los modos de falla se vuelve impráctico ya que no atacamos lo más importante. Según (Lean, 2020) al desdoblar un poco más la información se tiene que hubo 351 atenciones correctivas que representarían el 100% de las fallas, pero cabe recalcar que estamos analizando una flota de toda la familia de manlift de la minera del sur, por lo que se puede inferir la cantidad de fallas para las 32 unidades de equipos. Para poder analizar de manera visual la información se aplicará el método de Pareto que nos ayudará a identificar lo que realmente es prioridad dirigiendo toda nuestra atención a los sistemas, subsistemas y componentes que representan la mayor parte de las paradas no planificadas, el método de Pareto básicamente explica que al aplicar el 20% del esfuerzo para conseguir el 80% de resultados, en nuestro análisis se da de la siguiente manera.

En la Tabla 7 se visualiza la frecuencia de fallas por sistemas evaluados donde 351 fallas son el 100% de las paradas correctivas. Aplicando la regla del 80/20 la unidad de potencia y el sistema eléctrico tienen 142 y 98 atenciones respectivamente lo que representaría el 80% de las intervenciones, realizando el desfogue funcional de ambos sistemas y diseñando

estrategias de mantenimiento adecuadas para poder mitigar o reducir la cantidad de fallas. Se pondrá mayor atención a estos sistemas para obtener grandes beneficios.

Tabla 7

Fallas por sistema

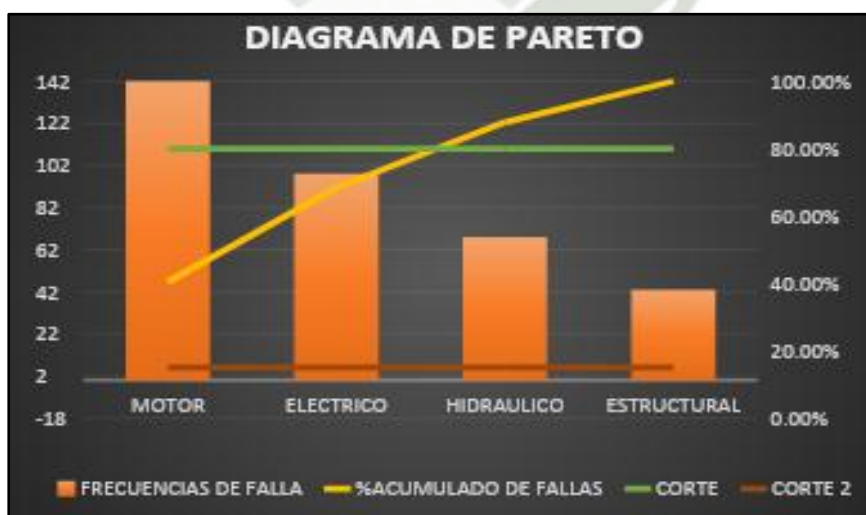
Sistemas del Manlift Z62/40	Frecuencias de fallas	% Individual de fallas	% Acumulado de fallas	Acumulado de fallas	Clasificación	Corte	Corte 2
MOTOR	142	40.46%	40.46%	142	A	80.00%	15.00%
ELECTRICO	98	27.92%	68.38%	240	A	80.00%	15.00%
HIDRAULICO	68	19.37%	87.75%	308	B	80.00%	15.00%
ESTRUCTURA							
L	43	12.25%	100.00%	351	C	80.00%	15.00%

Nota: Revisión y procesamiento de la información de las fallas por sistema. Adaptación propia de en base a la investigación realizada, 2024.

Una vez que se tiene claro que sistemas se van a analizar se aplicará la metodología AMFEC, todos los datos que se muestran en la tabla anterior están registrados el reporte diario, como se aprecia en los anexos. En la Figura 30 se muestra el diagrama de Pareto que muestra que los sistemas que más tienen incidencia de falla son Motor y Eléctrico.

Figura 31

Frecuencia de fallas por sistema Manlift Genie modelo Z62/40



Nota: Frecuencia de fallas por sistema manlift Genie modelo Z62/40. Adaptación propia de en base a la investigación realizada, 2024.

4.2.3. Desarrollo del método AMFEC

Como ejemplo para el desarrollo utilizaremos el sistema motor, en la Figura 28 se muestra detallado la jerarquización del sistema motor para poder hacer el ejemplo de aplicación del método AMFEC. Como se puede apreciar el sistema de motor tiene varios subsistemas complejos, se tomará uno de los componentes como ejemplo para poder hacer un modelo de la aplicación del análisis modal de fallas y efectos y poder hallar el número de prioridad de riesgo.

En la Tabla 8 se visualiza la función principal de la bomba de inyección y harness eléctrico al ser componentes de alto costo, para esta función se identificaron 4 modos de falla que afectaron directamente al funcionamiento, y serían los responsables de que esta función no pueda ser cumplida según las expectativas del cliente o del propietario y los estándares de calidad de los proveedores o dealer (Barrientos, 2017).

Tabla 8

Modos de falla de la bomba de inyección y harness eléctrico del manlift Z62/40

Subsistemas	Componente	Función que desempeña	Modo de fallo
ELECTRICO	Harness	Agrupa y facilita la conexión de un grupo de cables por el equipo	Circuito abierto
			Corto circuito
			Degradar aislamiento
UNIDAD DE POTENCIA	Bomba de Inyección	Baja presión en salida de bomba	Fallas de conexión
			Baja presión en salida de bomba
			Fuga externa
			Ruido
			Temperatura elevada

Nota: Función principal de la bomba de refrigerante de agua. Adaptación propia de en base a la investigación realizada, 2024.

4.3. Efecto de falla

Hernandez y Pabón (2012) refuerzan que cada modo de falla puede contener más de un efecto de falla y a su vez el mismo efecto de falla puede repetirse en más de un modo de falla. En la Tabla 9 se observan los efectos para los modos de falla identificados previamente, los cuales son de suma importancia al ser identificados los modos de falla. La clave de la metodología NPR se basa en llegar hasta el punto de inicio (la raíz) de los problemas, si un efecto de falla no es identificado correctamente no podrá realizarse la evaluación de forma correcta, es importante revisar cada posible situación.

Tabla 9

Efectos de falla de la bomba de inyección y harness eléctrico del manlift Z62/40

Subsistemas	Componente	Función que desempeña	Modo de fallo	Efectos de los fallos
ELECTRICO	Harness	Agrupa y facilita la conexión de un grupo de cables por el equipo	Circuito abierto	Pérdida de la conexión
			Corto circuito	Interrupción de Cables
			Degradar aislamiento Fallas de conexión	Cortocircuito Funcionamiento errático
UNIDAD DE POTENCIA	Bomba de Inyección	Baja presión en salida de bomba	Baja presión en salida de bomba	Válvula de retención parcial abierta Desgaste camisas de pistones
				Atascamiento de rodamiento
				Ralladura de pistón actuador
			Fuga externa	Desgaste de empaquetadura Elementos sueltos
			Ruido	Eje desalineado Rodamiento fatigado
	Temperatura elevada	Fluido contaminado		

Nota: Flota de manlift de modos y efectos de falla. Adaptación propia de en base a la investigación realizada, 2024.

4.3.1. Severidad, ocurrencia y detección

Se puede observar en la Tabla 10 la valorización que se proporciona a las causas de las fallas, muchos de ellos pueden tener una severidad elevada por daños que puede causar un impacto que se llega a tener en el sistema; pero también cuentan con una ocurrencia baja porque no es muy común que se den esas situaciones, es decir, se pueden usar los equipos en zonas que no considera el fabricante por lo que podrían estar propensos a desgaste por las horas, mala operación o factores externos que justifica una vez más la aplicación de este método (Villegas, 2023).

Tabla 10

Severidad, consecuencia y detección la bomba de inyección y harness eléctrico del manlift Z62/40

Subsistemas	Componente	Función que desempeña	Modo de fallo	Efectos de los fallos	Causas de los fallos	Severidad	Ocurrencia	Detección
ELECTRICO	Harness	Agrupa y facilita la conexión de un grupo de cables por el equipo	Circuito abierto	Pérdida de la conexión	Daño en aislamiento	7	6	3
						7	6	1
			Corto circuito	Interrupción de Cables	Vibración excesiva	5	7	1
						8	7	2
			Degradar aislamiento	Cortocircuito	Exponer calor, roce	7	5	1
						8	5	3
UNIDAD DE POTENCIA	Bomba de Inyección	Da presión de combustible al sistema	Fallas de conexión	Funcionamiento errático	Conectores oxidados, flojos	8	5	3
						Baja presión en salida de bomba	válvula de retención parcial abierta	Obstrucción de válvula, contaminación
			Desgaste camisas de pistones	Contaminación	7			
					Atascamiento de rodamiento	Tiempo de uso	7	5
			Ralladura de pistón actuador	Contaminación			8	2
					Fuga externa	Desgaste de empaquetadura	Tiempo de uso	6
			Elementos sueltos	Vibración				7
					Ruido	Eje desalineado	Mal ajuste	8
			Rodamiento fatigado	Desgaste de asiento de eje				9
					Temperatura elevada	Fluido contaminado	Tiempo de uso	7
6	5	3						

Nota: Prioridad de riesgo (NPR) de la severidad, consecuencia y detección de la flota de manlift. Adaptación propia de en base a la investigación realizada, 2024.

4.3.2. Método NPR

La metodología NPR ayuda a identificar fácilmente los modos de falla con riesgos altos luego de haber ejecutado la evaluación de cada uno de los criterios (severidad, ocurrencia, detección) se realiza la multiplicación de los valores usando la Tabla 11 de la teoría; esto se puede categorizar en 3 niveles de riesgo. A continuación, se visualiza el reemplazo para el modo de falla propuesto, en la tabla siguiente se visualiza el cálculo NPR para los modos de falla de la bomba de agua. Este cálculo nos ayudará a enfocar la atención en los modos de falla más importantes, ver donde debemos intervenir con el equipo para reducir las paradas no planificadas (Val, 2018).

Tabla 11

Número de prioridad del riesgo de la bomba de inyección y harness eléctrico

Subsistemas	Componente	Función que desempeña	Modo de fallo	Efectos de los fallos	Causas de los fallos	Severidad	Ocurrencia	Detección	Npr	Riesgo
ELECTRICO	Harness	Agrupa y facilita la conexión de un grupo de cables por el equipo	Circuito abierto	Pérdida de la conexión	Daño en aislamiento	7	6	3	126	Alto
					Cables pelados	7	6	1	42	Medio
			Corto circuito	Interrupción de Cables	Contaminación	5	7	1	35	Medio
					Vibración excesiva	8	7	2	112	Alto
			Degradar aislamiento	Cortocircuito	Exponer calor, roce	7	5	1	35	Medio
					Conectores oxidados, flojos	8	5	3	120	Alto
UNIDAD DE POTENCIA	Bomba de Inyección	Da presión de combustible al sistema	Baja presión en salida de bomba	Funcionamiento errático	Obstrucción de válvula, contaminación	7	2	7	98	Medio
					Contaminación	7	3	4	84	Medio
			Atascamiento de rodamiento	válvula de retención parcial abierta	Tiempo de uso	7	5	4	140	Alto
					Contaminación	8	2	4	64	Medio
			Fuga externa	Desgaste de empaquetadura	Tiempo de uso	6	4	4	96	Medio
					Vibración	7	4	6	168	Alto
			Ruido	Eje desalineado	Elementos sueltos	8	5	5	200	Alto
					Mal ajuste	8	5	5	200	Alto
			Temperatura elevada	Rodamiento fatigado	Desgaste de asiento de eje	9	5	5	225	Alto
					Tiempo de uso	7	3	5	105	Alto
Fluido contaminado	Rodamiento fatigado	Tiempo de uso	7	3	5	105	Alto			
		Contaminación	6	5	3	90	Medio			

Nota: Modos de falla con número de prioridad de riesgos altos Adaptación propia de en base a la investigación realizada, 2024.

4.4. Estrategias de mantenimiento

De acuerdo con Díaz, et al. (2016) en esta etapa después de analizar la unidad de potencia y revisar el sistema eléctrico, se prestará especial atención a los que tengan el número NPR más alto en la mayoría de sus modos de falla, de esta manera se propondrá una cartilla de mantenimiento actualizada y de estrategias de mantenimiento con el fin de disminuir este número.

Luego de haber aplicado el método NPR al subsistema motor se obtiene que hay 7 componentes con alto riesgo, a los cuales se dirigirán los recursos. Para el caso del sistema eléctrico no se aplica el método NPR porque el 52% de las fallas se deben a cambios de faro, cambio de focos o instalación de circulina. Por lo que se crea una estrategia de mantenimiento, que se denominará “Sopleteo eléctrico, inspección de fugas y revisión de niveles” (Ellmann, 2020).

La cartilla de mantenimiento que se utilizaba ignoraba muchos puntos y había errores en su construcción por lo que se diseñó una cartilla que se utilizará para toda la familia de manlift de la importante minera del sur que se encuentra en anexos; donde se incluye un mayor énfasis en la revisión de los componentes críticos del motor y revisión de algunos componentes eléctricos como harness, tableros, módulos, etc. (Díaz et al., 2016).

Para la cartilla de mantenimiento que se encuentra en anexos se le hizo una revisión adicional con el personal supervisor de otros proyectos mineros, para que se pueda mejorar antes de ser implementada. En la siguiente figura se muestra la nueva cartilla de la estrategia de mantenimiento que ayudará a mejorar los correctivos por fallas eléctricas. Se trata de hacer una inspección quincenal, donde se hará un sopleteo a los puntos eléctricos. La ubicación de los manlift dentro de la minera del sur es en la zona de relaves, donde existe una gran cantidad de polvo y arenilla. Posteriormente se revisará la operatividad de los focos, faros, circulina, etc.; y al final se hará un engrase a los puntos móviles del equipo. Uno de los puntos más

importantes de esta estrategia es poder identificar posibles fallas futuras del equipo para poder generar tanto el backlog de atención como el backlog por repuesto, al igual como se hacen con los montacargas y con la estrategia de lubricaciones quincenales (Díaz et al., 2016).

Esta estrategia ya se estuvo tratando de implementar, pero por no haber una cartilla donde se describan las tareas obligatorias o los puntos de inspección es que no se desarrolló de la mejor manera, el personal técnico realizaba la atención según su criterio y de acuerdo al tiempo que tenía el equipo; el detalle de la atención se colocaba en un informe de correctivo. En la siguiente tabla se detalla la nueva cartilla de mantenimiento, donde se implementaron los puntos de mejora y una sección para revisar el estado de la cartilla, el tiempo de mantenimiento no debe cambiar mucho ya que está diseñado para que se haga por 2 técnicos. En la parte izquierda se visualiza que actividades se debe hacer para el tipo de mantenimiento que le toca (250hr, 500hr, 1000hr y 2000hr) (Zhang et al., 2020).

4.5. Mantenimiento 4.0

4.5.1. Consideraciones previas al Appsheets

Para poder generar el nuevo diseño de gestión de mantenimiento es necesario asegurar que los elementos que se van a migrar estén debidamente actualizados y que la base de datos que se desea utilizar sea confiable. Dentro del ERP propuesto se puede visualizar desde las cartillas los PETS, manuales de los equipos y más, hasta los puntos de reunión dentro de la mina que se usan para llenar el IPERC. Entonces, antes de poder migrar toda la información internamente se hicieron campañas de recolección y actualización de información, además se ejecutaron bocetos de los procesos que se podía incluir en el ERP; esta recolección duro aproximadamente 2 meses.

Adicionalmente, se compraron celulares para que los técnicos operativos pudieran llenar los formularios, para ello también se tuvo que considerar el plan de telefonía, cobertores y micas; y se colocó un usuario responsable por cada equipo, pero se debe tener en consideración que estos tienen que revelarse para luego ser guardados en almacén.

Las cartillas se realizaron a través de una campaña con los asistentes de supervisión y técnicos para su actualización, posteriormente se enviaron a supervisión para ser validados y finalmente colocados en la base de datos del Aapsheet. En paralelo los supervisores de seguridad y operativos actualizaron los PETS que se incluirá en el aplicativo de los técnicos.

4.5.2. *Crear perfiles en el Aapsheet*

El objetivo es poder automatizar todos los puestos de trabajo, es decir, la finalidad del ERP es poder facilitar la gestión de mantenimiento debido a que se tiene la información digital, por otra parte, también nos ayuda a que las horas hombre sean utilizadas en estrategias a largo del plazo. En primera instancia se priorizó la parte operativa ya que, en caso de funcionar la parte de planeamiento, esta sería más sencilla de migrar. Se crearon los siguientes perfiles: técnico operativo, supervisor operativo, supervisor mina y asistente de supervisión.

Tabla 12

Perfiles en Aapsheet del personal operativo

Ubicación	Descripción
UNIMAQ	ASISTENTES
UNIMAQ SMCV	VB CLIENTE
UNIMAQ	VB UNIMAQ
UNIMAQ	REPORTE TECNICO

Nota: Perfil del Aapsheet de los sistemas operativos de mantenimiento. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Cada uno de estos objetivos tiene un rol diferente ya que están diseñados para cargar información, revisar, validar, etc. De acuerdo con las funciones del puesto, cada uno presenta una interfaz que previamente fue conversada con el usuario de cada puesto para que las opciones de visualización sean las óptimas y prácticas. En primera instancia se creó un perfil de prueba y conforme el pasó el tiempo se fue mejorando (agregando y quitando campos) para

que pueda funcionar de forma más eficiente. Como muestra e la Figura 32 el perfil de técnico, que es el que más puntos abarca ya que es el responsable de ingresar la información. Los demás perfiles de supervisión se encargan de la revisión y validación.

Figura 32

Interfaz del perfil de técnico

DATA		Table: ACTIVIDADES			
ACTIVIDADES	Source	Qualifier:	Data Source:	Source Type:	Columns: 5
ACTIVIDADES	REPORTE	ACTIVIDADES	GOOGLE	Sheets	
CAMI	SERVICIO				
BACKLOGS					
CARTILLAS	ME	TYPE	KEY?	LABEL?	FORMULA
CAMI	RowNumber	Number	X		=
CARTILLAS					
EQ. AUXILIAR	EQUIPO	Text		X	=
DAILY	pm	eNUM			=
UNIMAQ					
EQUIPOS	SISTEMA	Text			=
LISTA ITEMS	ACTIVIDAD	Long Text			=
LISTA	CARTILLA				
PERSONAL					
PETS APP					
PUNTOS DE					
ENCUENTRO					
RECURSOS BL					
REPORTE					

Nota: Interfaz del perfil técnico de información. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Lo primero que se tiene que hacer es definir cuáles son los puntos principales que tendrá cada perfil, eso se extrae de las funciones que tienen el puesto o cuál es su responsabilidad dentro de los flujos de trabajo. En el caso de los técnicos se pondrá como puntos principales el backlog y los puntos de encuentro, dentro del menú principal se tienen PETS, PM auxiliares, PM de camiones y el reporte de correctivos. Tanto las cartillas PETS y otros archivos que se carguen al aplicativo se tienen que subir en el formato Excel a una base de datos. El Appsheet lo procesará y cargará, pero nosotros manualmente debemos hacer la configuración para que

la información se llene adecuadamente. En tanto, para el aplicativo de los técnicos se visualiza de la siguiente manera (Tabla 13), es más didáctica y fácil de entender al completarla.

Tabla 13

Visualización tipo celular para el aplicativo de técnico

Visualización técnica	
EQUIPO	MANLIFT050
HOROMETRO	7374
FECHA	15/05/2024
PRIORIDAD	3 – CONDUCTO REGULAR
CARGO	CONTRATO
ACTIVIDAD	Reemplazo de retén de Cigueñal

Nota: Aplicativo técnico de la didáctica de celular. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Cabe señalar que hay varios datos que se colocan automáticamente Tabla 14 ya que son considerados desde la base de datos que se lo colocó al Appsheet; por ejemplo, una vez que se sitúa el coloquial del equipo, en este caso Manlift050 se autocompletan los campos de serie, modelo y familia del equipo.

Tabla 14

Autollenado de datos del Manlift050

Autorrellenado de datos	
EQUIPO	MANLIFT
MARCA	GENIE
MODELO	Z-62/40
SERIE	Z6215A-427

Nota: Autollenado de datos del Manlift050. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

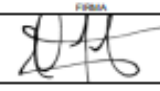

El técnico tiene que llenar todos los campos solicitados, que son los mismos que solicita un informe físico (hasta la firma), y cuando termina se envía y aparece en la base ingreso del supervisor operativo. Cuando el equipo no existe dentro del maestro lo que se hace es pasarle

la placa del equipo al asistente de supervisión para que la pueda adicionar. Esto sucede a menudo con la compra de equipos nuevos.

Una vez que se firma o valida se crea una versión de respaldo, como se puede apreciar en la Figura 33.

Figura 33

Visualización cartilla de respaldo

INFORME DE SERVICIO UNIMAQ					
OM	EQUIPO/INSTALACION	MODELO	SERIE	HOROMETRO ACTUAL	PROGR / NO PROGR
	GRUPO ELECTROGENO - GRUPO188	DE33E0	CAT00C33CEC305823	OPERATIVO 3.381	NO PROGRAMADO
FECHA	HORA INICIO	HORA FIN	CANTIDAD DE TECNICOS	TOTAL HH	USUARIO - PERSONA DE CONTACTO
27/06/2024	7:30	12:30	1	5,00	Sergio Escobedo
RESUMEN DE SERVICIO REALIZADO					LUGAR DE ATENCION
Cambio de filtro de combustible, pruebas de equipo sin carga.					Comedor enlozada relaves 1
					Trabajo Alto Riesgo:
					NO
Al INICIAR LA LABOR EL EQUIPO SE ENCUENTRA:					
OPERATIVO CON OBSERVACIONES					
TIPO DE MANTENIMIENTO:					
MANTENIMIENTO CORRECTIVO					
PROCESO DEL SERVICIO:					
1- ¿Cuál fue la falla reportada por el usuario? - ¿Cuál fue la tarea inicialmente indicada?					
Equipo se apaga, falla activa baja tensión.					
2- Descripción del trabajo realizado (Debe incluir la información si se realizó de traslado, bloqueo, coordinaciones, orden y limpieza):					
traslado al área del equipo , se coordina con usuario para autorización de ingreso a su área e intervención de equipo , se realiza el llenado de IPERC Se realiza el cambio de filtro de combustible, purgado del sistema, arranque y prueba de equipo en vacío, sin carga.					
3- ¿Cuál es el diagnóstico de la falla encontrada?					
Filtro sucio tiempo de servicio.					
4- ¿Existieron tiempos muertos o perdidos por el usuario? (Detallar)					
Espera y recojo de filtro en almacén ferreyros, traslado al punto de trabajo, demora no hay acceso por vía Kuwai estribo izquierdo, se toma la vía por estribo derecho hacia Enlozada					
EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA LABOR (GRUA, MONTACARGAS , MANIFT, ETC.)				N/A	
REPUESTOS USADOS (DESCRIPCIÓN Y CANTIDADES).					
Un filtro de combustible cat 360-8960					
TRABAJOS PENDIENTES POR EJECUTAR Y/O REPUESTOS POR SOLICITAR					
Prueba de equipo con carga.					
Al TERMINAR LA LABOR EL EQUIPO SE ENCUENTRA:					
OPERATIVO CON OBSERVACIONES					
CONCLUSIONES					
Manto correctivo					
TECNICOS A CARGO DEL SERVICIO				REVISION POR SUPERVISION	
ITEM	NOMBRE	HH	FIRMA	SUPERVISOR UNIMAQ S.A.	
1	Edwin Andres Mamani Corrales	5,00			
2					
3					
				Victor Hoyos	

Nota: Cartilla del informe física con firmas y sellos completos. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

En este caso se aprecia que no cuenta con la firma del supervisor de mina, existen momentos en los que hay cambios temporales por motivos de vacaciones y los que reemplazan a personal de mina no conocen de este ERP por lo que en estos casos se deben imprimir estos formatos para que se puedan validar.

En una situación normal, una vez validado por el supervisor se envía inmediatamente al personal de mina, con la validación de este recién se puede crear la versión oficial para su valoración.

Como se puede apreciar, el perfil de un técnico es bien completo por la cantidad de información que requiere para sus actividades Tabla 15 y además de eso la cantidad de información que ingresa al aplicativo. En la parte izquierda de la interfaz se puede apreciar toda la base de datos a de la cual se extrae y se carga la información.

Tabla 15

Información aplicativo técnico (DATA)

Información en el Aplicativo	
Actividades flota	Equipos
Actividades CAMI	Lista intems
Backlogs	Lista personal
Cartillas CAMI	PETS
Cartillas equipo auxiliar	Puntos de encuentro
Daily UNIMAQ	Reporte

Nota: Perfil técnico completo de información para actividades. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

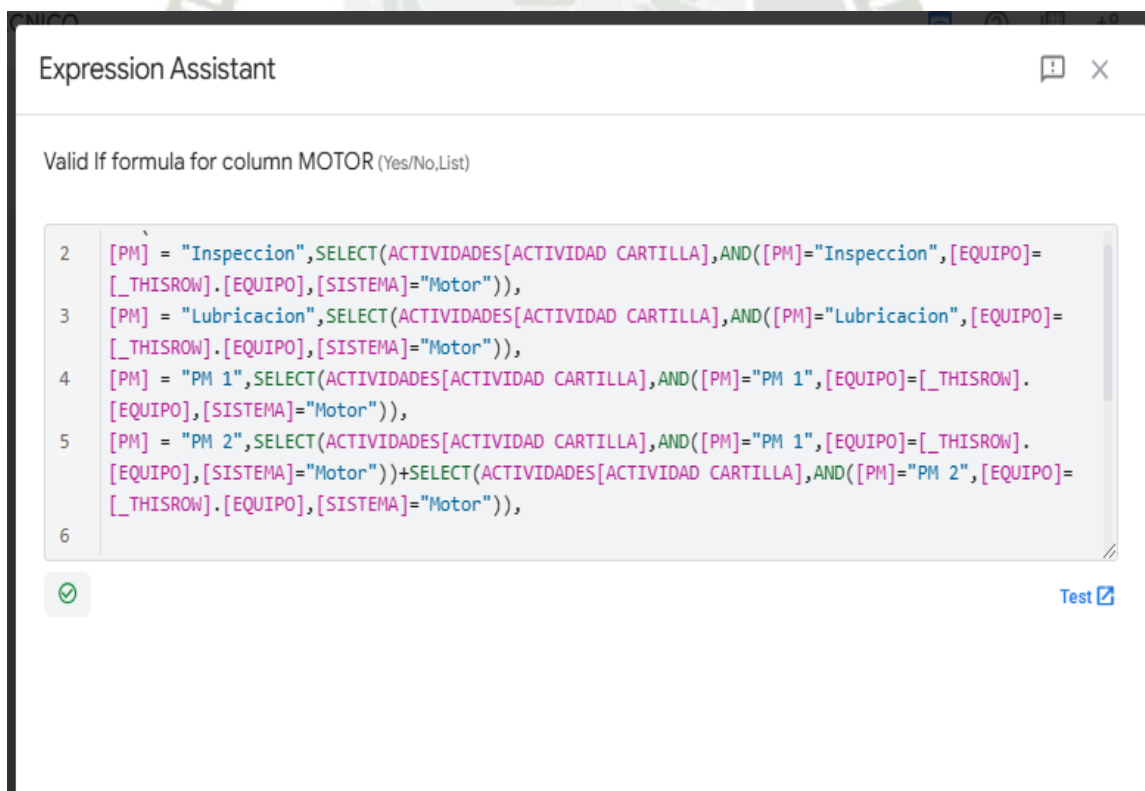
En la pestaña “Actividades” y “Actividades Camiones” se puede extraer su “daily” de trabajo que el planner de mantenimiento de la empresa contratista en la cual se debe cargar en una base de datos, se tiene cartillas de la flota de camiones, cartilla auxiliar y backlogs ahí es donde ingresan para poder llenar la información de las atenciones. Algunas de las pestañas

siguientes no se pueden ver en el aplicativo del técnico, así como en los equipos, lista de ítems, lista de personal, recursos backlogs y reporte ya que son pestañas que se usan para jalar la información; y las pestañas de PETS y puntos de encuentro si están visibles y son las que usan para llenar documentos para realizar los trabajos de forma segura. Cabe recalcar que la pestaña PETS va como *back up* ya que estos documentos siempre van impresos en la camioneta.

Cuando se trata de hacer atenciones preventivas, se debe tener en consideración que no existen 4 cartillas de acuerdo con el tipo de PM, sino que de acuerdo con el tipo que haya tocado el aplicativo va repitiendo para poder mostrar las actividades que tocan. Por ejemplo, si hablamos del sistema motor existen actividades que van de acuerdo al tipo de PM, de tratarse de un PM1 solo se haría cambio de filtros y alguna inspección, pero si hablamos de un PM4 las actividades se vuelven más complejas como una calibración de válvulas.

Figura 34

Iteración de actividades de acuerdo con el tipo de PM



```

Expression Assistant
Valid If formula for column MOTOR (Yes/No,List)

2  [PM] = "Inspeccion",SELECT(ACTIVIDADES[ACTIVIDAD CARTILLA],AND([PM]="Inspeccion",[EQUIPO]=
3  [_THISROW].[EQUIPO],[SISTEMA]="Motor")),
4  [PM] = "Lubricacion",SELECT(ACTIVIDADES[ACTIVIDAD CARTILLA],AND([PM]="Lubricacion",[EQUIPO]=
5  [_THISROW].[EQUIPO],[SISTEMA]="Motor")),
6  [PM] = "PM 1",SELECT(ACTIVIDADES[ACTIVIDAD CARTILLA],AND([PM]="PM 1",[EQUIPO]=[_THISROW].
[EQUIPO],[SISTEMA]="Motor")),
7  [PM] = "PM 2",SELECT(ACTIVIDADES[ACTIVIDAD CARTILLA],AND([PM]="PM 1",[EQUIPO]=[_THISROW].
[EQUIPO],[SISTEMA]="Motor")+SELECT(ACTIVIDADES[ACTIVIDAD CARTILLA],AND([PM]="PM 2",[EQUIPO]=
[_THISROW].[EQUIPO],[SISTEMA]="Motor")),




```

Nota: Cartilla auxiliar y backlogs de la flota de camiones del llenado de información en atenciones. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Entonces el aplicativo va iterando de acuerdo con el tipo de PM (Figura 34) que haya tocado, pero siempre es bueno recalcar que es acumulativo, lo que se hace en PM2 son las actividades del PM1 más lo adicional del PM2. Lo que hace que un PM4 se vuelva muy completo y por ende demora más tiempo en realizarse. En el caso de del desarrollo de los backlogs de igual manera se carga el formato nativo y se crea la interfaz para que los técnicos puedan llenar la información. En este caso es necesario que los técnicos agreguen una foto por cada repuesto solicitado y poner el sustento de porque ha fallado.

Tabla 16

Solicitud de backlog GRUPO130



Equipo	Grupo electrogeno 130
Horometro	1760
Fecha	07/09/2024
Prioridad	3 – conducto regular
Cargo	Contrato
Realizado en	Correctivo
Actividad a realizar	Cambio de radiador
Radiador – 1304355	
Hose – 3820665	
Abrazaderas - 3026806	

Nota: Formato nativo de la interfaz técnica de la información del backlog Grupo130. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

En la Tabla 16 se puede visualizar el pedido de backlog para el Grupo 130, donde se solicita cambio de radiador, el técnico pone los datos necesarios para luego generarlos, después empieza a detallar componente por componente, número de parte, foto y justificación técnica requerida en el informe.

Tabla 17

Detalle ítem por ítem de cada backlog

Marca	Cummins
<p>FOTO</p> 	
<p>SUSTENTO</p>	<p>Componente se encuentra con óxido y corrosión provocado por fuga de refrigerante por conductos metálicos</p>

Nota: Cambio de radiador técnico del pedido de backlog para el Grupo 130. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

En la Tabla 17 anterior se aprecia de que se tiene que colocar la justificación de cada ítem para poderlo solicitar. Cuando se culmina el backlog se envía y se aprueba por el supervisor, posteriormente aparece en el aplicativo de asistente de supervisión, donde se hacen las últimas revisiones y validaciones para generar el digital y hacer la validación por correo.

Figura 35

Formato de solicitud de backlog para el TELE045

		BACKLOG UNI-5054			
EQUIPO	HOROMETRO	FECHA	PRIORIDAD (Lead Time)	CARGO	REALIZADO EN
TELEHANDLER - TELE45	2.170	27/06/2024	3 Conducto regular	Cargo al contrato	Correctivo
ACTIVIDAD A REALIZAR:		PROBLEMA:		OBSERVACIONES:	
Cambio de batería		Camara no enciende		Bateria descargada, no mantiene carga, no cuenta con cable de poder y conector hembra se encuentra oxidado.	
TIEMPO ESTIMADO:	LUGAR PARA ATENCION:		RECURSOS HUMANOS		EQUIPOS SOPORTE:
0	CAMPO		Electricista	2	Caja de herramientas

SOLICITUD DE PARTES						
NP	SISTEMA	DESCRIPCIÓN	CANT	MARCA	SUSTENTO	FOTO
U1-36E-12	Electrico	Bateria 12v 36AH	1	Yuasa	Bateria ya no retiene la carga	
Cable Poder C13	Electrico	Cable poder cpu 110v - 220v con salida a tierra	1		Equipo no tiene cable para cargador de bateria	
Black 3p IEC 320 c14	Electrico	Black 3p IEC 320 c14 male plug	1		Conector oxidado, requiere su cambio	













TECNICO:		SUPERVISOR UNIMAQ:		SUPERVISOR SMCV:	
Ricardo Erick Mena Apaza	FIRMA: 	Victor Hoyos		FIRMA	NOMBRES

Nota: Validaciones para generar el digital por correo del formato de solicitud de backlog para el TELE045. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Dentro de los puntos extra que tiene el aplicativo de los técnicos se puede apreciar el listado de PETS como se puede apreciar en la Tabla 18.

Tabla 18

PETS cargados en el aplicativo de técnico

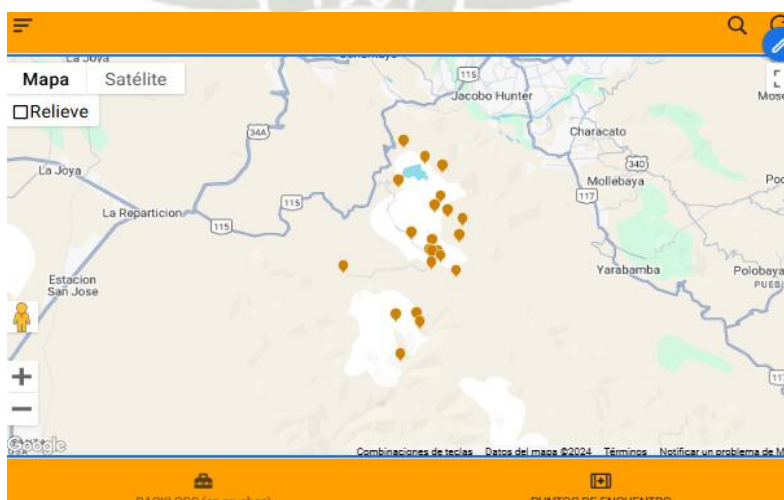
PETS	
28. PETS labores de almacén y trabajos particulares de Taller	 
27. PETS traslado de componentes, equipos y facilidades	 
26. PETS Lavaderos y pozas de sedimentación	 
25. PETS talleres y despacho de lubricantes	 
24. PETS Silos de nitrato de amonio y emulsión	 
23. PETS zaranda - móvil	 

Nota: Aplicativo técnico del PETS. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

También se tienen los puntos de encuentro como se ve en la Figura 36, para este caso es necesario brindarle el permiso a la aplicación de que pueda utilizar la ubicación del dispositivo y de acuerdo con eso aparecen los puntos más cercanos a donde estén trabajando y puedan colocarlo en el IPERC. Además, que es muy importante conocerlo bien porque de haber un accidente ese sería el punto que se le tendría que dar a la central de emergencias de mina para que puedan darles socorro.

Figura 36

Visualización del punto de encuentro dentro del aplicativo



Nota: Punto de encuentro del aplicativo IPERC. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

4.6. Implementación de ERP del Appsheet






4.6.1. Perfiles para la gestión de mantenimiento

Para poder desarrollar el proceso de mantenimiento de la empresa contratista se inició con los perfiles de técnico operativo, supervisor operativo, supervisor de mina y asistente de supervisión. Cada uno de estos tiene funcionalidades diferentes de acuerdo con las funciones que tienen dentro del flujo de trabajo.

- **Perfil de técnico operativo:** Dentro de las funciones principales (Tabla 19) se tiene la generación de reportes de mantenimiento y solicitud de backlog de repuestos.

Tabla 19

Interfaz de funciones principales aplicación de técnico

	UNIMAQ SMCV – Reporte Técnico
	PETS
	PM AUXILIARES
	PM CAMI
	REPORTE CORRECTIVOS

Nota: Interfaz de funciones principales aplicación de técnico. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Se puede visualizar los trabajos del día, se tiene los puntos de encuentro y PETS. Posteriormente se envía la información al supervisor para su validación.

Si hubiese algún error durante la digitación y se dio cuenta el personal técnico posterior al envío puede modificarlo, pero si el supervisor ya validó la información va a desaparecer de la interfaz del técnico.

- **Supervisor operativo:** La interfaz del supervisor (Figura 37) operativo es de visualización, modificación y validación del reporte con firma. Es el último filtro antes de que se envíe la información al cliente.

Figura 37

Interfaz de perfil supervisor operativo

Table: BACKLOGS					
DATA	Source REPORTE SERVICIO	Qualifier: BACKLOGS	Data Source: GOOGLE	Source Type: Sheets	Columns: 33
BACKLOGS DAILY UNIMAQ LISTA ITEMS RECURSOS BL REPORTE REPORTE PM AUX REPORTE PM CAMI	ME	TYPE	KEY?	LABEL?	FORMULA
	RowNumber	Number			=
	BLuniqueID	Text	X	X	=
	EQUIPO	Text			=
	HOROMETRO	Text			=
	FECHA	Date			=
	PRIORIDAD (Lead Time)	Enum			=
	CARGO	Text			=
	REALIZADO EN	Text			=

Nota: Interfaz del supervisor operativo. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

La data que se utiliza para alimentar la interfaz nace de la base de datos que crea el personal técnico como reportes de PM, reporte de correctivos, recursos backlog, etc.

Como hay varios tipos de supervisor de acuerdo con el área que se asigna, el técnico coloca el supervisor que estuvo a cargo del trabajo (Tabla 20) y a este es que le llegará el informe.

Tabla 20

Interfaz de responsables de validación.





Supervisores
Arturo Lazo
Gustavo Ochoa
Roberto Bocanegra
Roger Gallegos
Víctor Hoyos

Nota: Reporte técnico del PM y correctivos, así como los recursos backlog. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Además, se divide por el tipo de trabajo (Tabla 21), si fuera correctivo, preventivo de auxiliar, preventivo de camiones o backlog.

Tabla 21

División según tipo de trabajo


			
REP PM AUXILIARES	REP PM CAMIONES	REP SERVICIOS	BACKLOGS

Nota: División del trabajo preventivo auxiliar de camiones o backlog. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Cuando, el supervisor da inicio a la validación (Tabla 22) de la información coloca su firma y algún comentario del trabajo realizado si fuera necesario, luego es derivado al supervisor de mina que este de guardia. Este es el primer filtro para poder llegar a una cartilla óptima, el supervisor de la empresa contratista es encargado de validar el correcto llenado y que se entreguen en el menor tiempo posible.

Tabla 22

Validación de trabajos de supervisión contratista

Validar información Supervisor UNIMAQ	
SUPERVISOR UNIMAQ	VICTOR HOYOS
FIRMA	
APROBADO UNIMAQ	APROBADO UNIMAQ

Nota: Trabajos de supervisión contratista de la mina. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Posteriormente, se agrega en la visualización por la necesidad de hacer seguimiento el poder saber cuántos había como pendientes de validar por el cliente. Entonces se coloca esta función dentro de su visualización como se ve en la Tabla 23

Tabla 23

Seguimiento de validación de reportes

All
Aprobado smcv
Observado smcv
Pendiente aprobación smcv

Nota: Cartilla de seguimiento de reporte. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

- **Supervisor de mina:** La interfaz del supervisor de mina (Figura 38) es parecida al supervisor de contratista, la función principal es solo validar los reportes, ya que, a solicitud de ellos, los backlogs deben estar impresos y con firma física. Es un punto de mejora que se puede tratar en la renovación de contrato.

De momento se utiliza para imprimir el backlog pero asegurando que esté correctamente llenado, para ello se debe tener la validación del supervisor del área que revisará cada uno de los repuestos que se están solicitado y validará para que el asistente de supervisión pueda llevarlo a la validación presencial.

Figura 38

Interfaz de perfil del supervisor de mina


DATA		Table: UNIMAQ			
DAILY UNIMAQ	Source REPORTE	Qualifier:	Data Source:	Source Type: Sheets	Columns: 14
REPORTE	SERVICIO	UNIMAQ	GOOGLE		
REPORTE PM AUX	ME	TYPE	KEY?	LABEL?	FORMULA
REPORTE PM CAMI	RowNumber	Number	X		=
	FECHA	Date		X	=
	PROGRAMADA				
	UNI O TALLER	Text			=
	TECNICOS	Text			=
	SUPERVISOR	Text			=
	UNIMAQ				
	Coloquial	Text			=
	TIPO	Text			=
	DESCRIPCIÓN	Text			=

Nota: Interfaz del perfil del supervisor de la mina. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

A solicitud del cliente del interfaz implementado por el “daily” de los trabajos diarios, este tiene que ser cargado a más tardar 7:45 am., donde el supervisor debe validar la información como se ve en la Tabla 24 colocando su firma y si hubiera escribe alguna observación. Por lo contrario, los informes observados regresan a la interfaz del supervisor de la contratista para su revisión.

Tabla 24

Validación de trabajos de supervisión mina

Validar información supervisión de SMCV	
SUPERVISOR SMCV	Carlos Paredes
FECHA DE FIRMA SMCV	11/09/2024
APROBADO SMCV	Aprobado SMCV
FIRMA	

Nota: Trabajos de supervisión contratista de la mina aprobada. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Posterior de la validación los informes se cargan a una base de datos, donde el asistente administrativo descarga para el informe final para validarlo.

- **Asistente de supervisión:** Este perfil tiene la potestad de editar y validar en el caso de los backlogs, una vez aprobado por el supervisor de la contratista ya se puede visualizar en el perfil de asistente sin necesidad de la aprobación del supervisor de mina. Adicional también puede hacer seguimiento de cuanto a cuantos reportes quedan pendientes de validar por supervisión mina. Su interfaz se puede apreciar en la Figura 39. Este perfil es muy estratégico, porque el supervisor debe tener una presencia constante en campo, por lo que el asistente de supervisión es el encargado de dar el último filtro, revisar desde las faltas ortográficas hasta la información brindada por el técnico, validar horas de los servicios e informar si hay la necesidad de programar alguna atención correctiva.

Figura 39

Interfaz de perfil asistente de supervisión

DATA		Table: BACKLOGS			
BACKLOGS	Source REPORTE	Qualifier:	Data Source:	Source Type: Sheets	Columns: 33
EQUIPOS	SERVICIO	BACKLOGS	GOOGLE		
LISTA ITEMS	ME	TYPE	KEY?	LABEL?	FORMULA
LISTA PERSONAL	RowNumber	Number			=
RECUROS BL	BLuniqueID	Text	X		=
REPORTE	EQUIPO	Text		X	=
REPORTE PM AUX	HOROMETRO	Number			=
REPORTE PM CAMI	FECHA	Date			=
RESUMEN REPORTES	PRIORIDAD (Lead Time)	Text			=
UNIMAQ	CARGO	Text			=
	REALIZADO EN	Text			=

Nota: Interfaz del perfil del asistente supervisor. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Al asistente de supervisión le aparecen los reportes de equipos y los reportes de solicitud de backlog divididos por fecha, se pre-visualiza el número total de enviados y se puede subdividir por los que faltan aprobar como se ve en la Tabla 25. El fin es poder hacer seguimiento a que se culminen de aprobar todos los reportes y se puedan enviar al área del asistente administrativo.

Tabla 25

Visualización de asistente de supervisión

Fechas	
12/09/2024	1
11/09/2024	13
10/09/2024	15
09/09/2024	8

Nota: Solicitud del backlog divididos por fecha. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

La facilidad del aplicativo es que ayuda a pasar mucho más rápido el reporte de trabajos diarios, la información que ya se tiene de forma digital y con ayuda de fórmulas se traslada al

reporte diario, en el caso del detalle de la atención solo se lee y se coloca una pequeña reseña de lo que se hizo. En el caso de los backlogs (Tabla 26) después de la validación del supervisor, llega al asistente que tiene que corroborar la información, ya no existe demora por falta de fotos o números de parte simplemente es validar congruencia en descripciones. El asistente coloca el número del backlog según la correlación y envía el correo para solicitar la compra al planner de mina.

Tabla 26

Validación de backlog y colocación de número de correlación

Validar Backlogs	
CODIGO UNI	UNI – 4981
ESTADO GESTION	PROCESADO
APRODADO UNIMAQ ASIST	APROBADO
EQUIPO	MONT041
HOROMETRO	11591
FECHA	07/05/2024

Nota: Cartilla de backlog de la compra del planner de la mina con número de correlación. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

4.6.1. Flujo de trabajo actualizado

Después de haber cargado la información al aplicativo se empezaron con las pruebas y los flujos de trabajo, que posteriormente se modifican un poco.

- En caso de realizar el programa de mantenimiento como la proyección del planner de mina y reprogramaciones por parte de la empresa contratista, se prefiere dejar la forma manual esto debido a que existen trabajos donde el equipo no es tan crítico, pero se requiere urgentemente por lo que esa decisión se debe tomar con criterio. Esta primera actualización se inició creando una base de datos donde los planners de la empresa contratista cargarán los trabajos del día con la fecha, responsables,

reserva, etc. Para que se posteriormente se pueda visualizar en el aplicativo de los técnicos y luego se cargue en el aplicativo del supervisor de mina.

- Dentro del proceso de validación de cartillas se vuelve más directo, ya no hay demoras porque el envío de la información es instantáneo, la información es más legible, la validación es más rápida, los informes se pueden cargar de manera más sencilla y didáctica. Por otra parte, se puede hacer un seguimiento de que grupos faltan enviar sus informes. Un punto muy importante es que la información al estar en la nube puede ir avanzándose la validación del supervisor de mina y a su vez ya tener los trabajos cargados en el reporte diario.
- La validación de backlogs se vuelve más sencilla porque desde el principio se asegura que la información este completa, pero para obtener la validación de mina aún se mantiene con firma física (requerimiento de ellos); por lo que se puede mejorar para el siguiente contrato porque se proyecta tener más flotas de equipos.

4.7. Generar plan de mantenimiento en Aapsheet

Para poder generar el plan de mantenimiento en el software appsheet se requiere tener una base de datos completa y que tenga las características adecuadas para que el programa lo pueda procesar. En este caso se requiere que las atenciones de la flota se dividan por sistema, subsistema, componente y adicional que tengan la WO interna de la empresa contratista para poder separar las atenciones. El SAP de la empresa contratista lo conoce como FSR, a donde se le cargan costos tanto de movilidades, repuestos, misceláneos, gastos de terceros, uso de camioneta, y si la atención es en taller se carga el GIFT (gastos de luz, agua, arrendamiento)

Al tener la información de muchos años, antes de poder cargar la información al aplicativo se tuvo que revisar cada una de las atenciones. Posteriormente dividirlo en sistemas y subsistemas. Para generar la proyección de mantenimientos se calculó un ratio como se ve en la Tabla 27, esto gracias a la información que se tenía en el reporte diario. Esta ratio se obtiene con un cálculo sencillo de las horas utilizadas del equipo y los días que han transcurrido desde el último PM.

Tabla 27

Ratios de mantenimiento calculados de la base de datos

Seguimiento del programa						
Equipo	Modelo	Serie	Año	Ubicación	Frecuencia (Hr)	Ratio
MANLIFT049	Z-62/40	Z6215A-277	2015	RELAVES 2	250	2.5
MANLIFT050	Z-62/40	Z6215A-427	2015	RELAVES 2	250	1.86
MANLIFT051	Z-62/40	Z6215A-365	2015	RELAVES 2	250	2.01
MANLIFT052	Z-62/40	Z6215A-301	2015	RELAVES 2	250	2.8
MANLIFT053	Z-62/40	Z6215A-329	2015	TRUCKSHOP	250	0.46
MANLIFT047	Z-62/40	Z62H-4352	2019	RELAVES 2	250	2.29

Nota: Ratios de mantenimiento calculados de la base de datos. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Lo que se busca es que posteriormente se vaya alimentando la información en el aplicativo, la inteligencia artificial con la que cuenta el appsheet logra calcular un ratio estimado y que las proyecciones salgan de forma automática, eso saldría en la columna “Ratio estimado”.

El aplicativo después de cargar la información extrae el último tipo de PM por cada equipo, la ubicación, hace el cálculo de cuando estaría proyectado el siguiente mantenimiento y el horómetro como se ve en la Tabla 28, ese cálculo se extrae gracias al ratio calculada y se visualiza un mensaje que dice “Programar” o “No programar”.

Tabla 28

Proyección de mantenimientos calculados por el aplicativo

Fecha ultimo pm	horómetro (hr)	Mantenimiento Preventivo	Siguiente mantenimiento	Fecha siguiente	Horómetro estimado (hr)	Mensaje
30/09/2024	9267	PM1	PM2	08/01/2025	9424	NO PROG
27/08/2024	7636	PM1	PM2	08/01/2025	7816	NO PROG
30/09/2024	8867	PM1	PM2	01/02/2025	8993	NO PROG
08/10/2024	8334	PM1	PM2	05/01/2025	8488	NO PROG
18/03/2024	2786	PM1	PM2	12/09/2025	2905	NO PROG
27/08/2024	4911	PM1	PM2	14/12/2024	5133	NO PROG

Nota: Información del tipo de PM por cada equipo, así como la proyección del mantenimiento y horómetro Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Si se hace click a la línea del equipo sale un desplegable con la información de la proyección de mantenimiento de forma más concisa. Como se puede apreciar en la Tabla 29.

Tabla 29

Información de proyección por equipo

Información de proyección de equipo	
EQUIPO	MANLIFT049
MODELO	Z-62/40
SERIE	2015
AÑO	RELAVES 2
RATIO	2.5
FRECUENCIA	250
FECHA ULT PM	30/09/2025
HOROMETRO	9267
SIGUIENTE PM	PM2
MENSAJE	NO POGRAMAR

Nota: Línea y mantenimiento de la información con desplegable de proyección. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Las horas de cada mantenimiento siguen una línea estable dentro de la gestión que se hace un determinado planeamiento de la mina que es cada 250 horas (en el caso de los manlift).

4.8. Generar perfil de planner

Para poder culminar el proceso de gestión de mantenimiento dentro del software appsheet se crea la propuesta de perfil de planner de mantenimiento, en este se podrá hacer la programación de los trabajos, además revisar el plan de mantenimiento de cada equipo con cálculos de ratio de utilización que se actualizan automáticamente del reporte diario ; por otra parte, se colocarán los trabajos programados por día y de ahí saldría para la validación de la supervisión y que se pueda visualizar en el aplicativo de técnicos. Para ello se crea la siguiente interfaz:

Figura 40

Elaborar interfaz de perfil de planner



SEGUIMIENTO PROGRAMA			
EQUIPO	MODELO	SERIE	AÑO
MANLIFT049	Z-62/40	Z6215A-277	2.015
MANLIFT050	Z-62/40	Z6215A-427	2.015
MANLIFT051	Z-62/40	Z6215A-365	2.015
MANLIFT052	Z-62/40	Z6215A-301	2.015
MANLIFT053	Z-62/40	Z6215A-329	2.015
MANLIFT057	Z-62/40	Z62H-4352	2.019

Nota: Interfaz de perfil de planner. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Esta propuesta presenta una interfaz donde se puede visualizar la flota que se tiene, para culminar la interfaz se tendría que cargar con los equipos de las demás flotas del equipo, pero para este caso se utiliza la referencia del manlift Z62/40. Por otro lado, se tiene una interfaz donde se puede hacer la programación manual de los correctivos del PM, etc.; en Tabla 30 se puede apreciar el desplegable que se visualiza durante el proceso.

Tabla 30

Programar trabajos en el aplicativo

Programar trabajos en el Appsheet	
WO UNIMAQ	4000857622
Equipo	MANLIFT052
Atención	Cambio de Radiador
Tipo de atención	Correctivo
Sistema	Motor
Subsistema	Subsistema de lubricación y enfriamiento
Componente	Radiador
Ubicación	Relaves 2

Nota: Propuesta de una interfaz de la flota de equipo del manlift Z62/40. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Por ejemplo, si quisiéramos programar un cambio de radiador para el manlift052, llenamos que tipo de atención es, de igual manera el sistema, subsistema, componente, ubicación y la fecha de programación. Así se tendría que hacer equipo por equipo donde se visualiza y es preventivo o correctivo, de tal forma que se genera el “daily” de trabajos diarios. Posteriormente parecerá un listado como se visualiza en la Figura 41:

Figura 41

Trabajos programados en el aplicativo

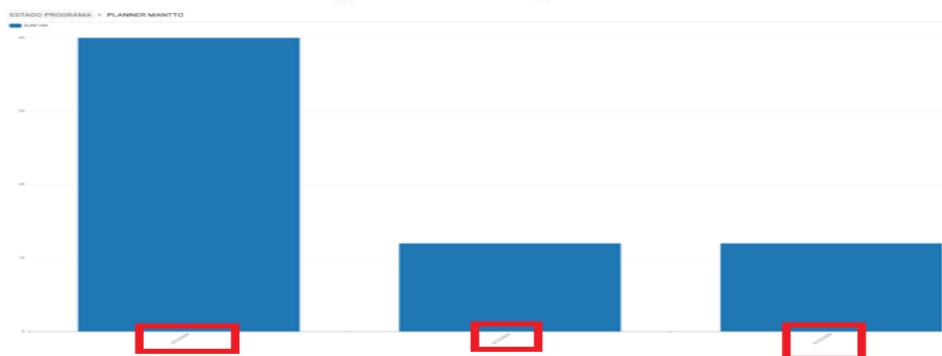
PLANNER	
All	MANLIFT049 CAMBIO DE ALTERNADOR
2024-12 64	MANLIFT051 PM4
	MANLIFT052 cambio de radiador
	MANLIFT052 CAMBIO DE RADIADOR

Nota: Programar cambio de radiador para el manlift052. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Adicionalmente, se puede generar estadísticas (Figura 42) según sea el requerimiento del planificador por ejemplo, se crea una visualización de la cantidad de horas programadas para atender equipos según el día y semana de mantenimiento.

Figura 42

Visualización de horas programadas por día

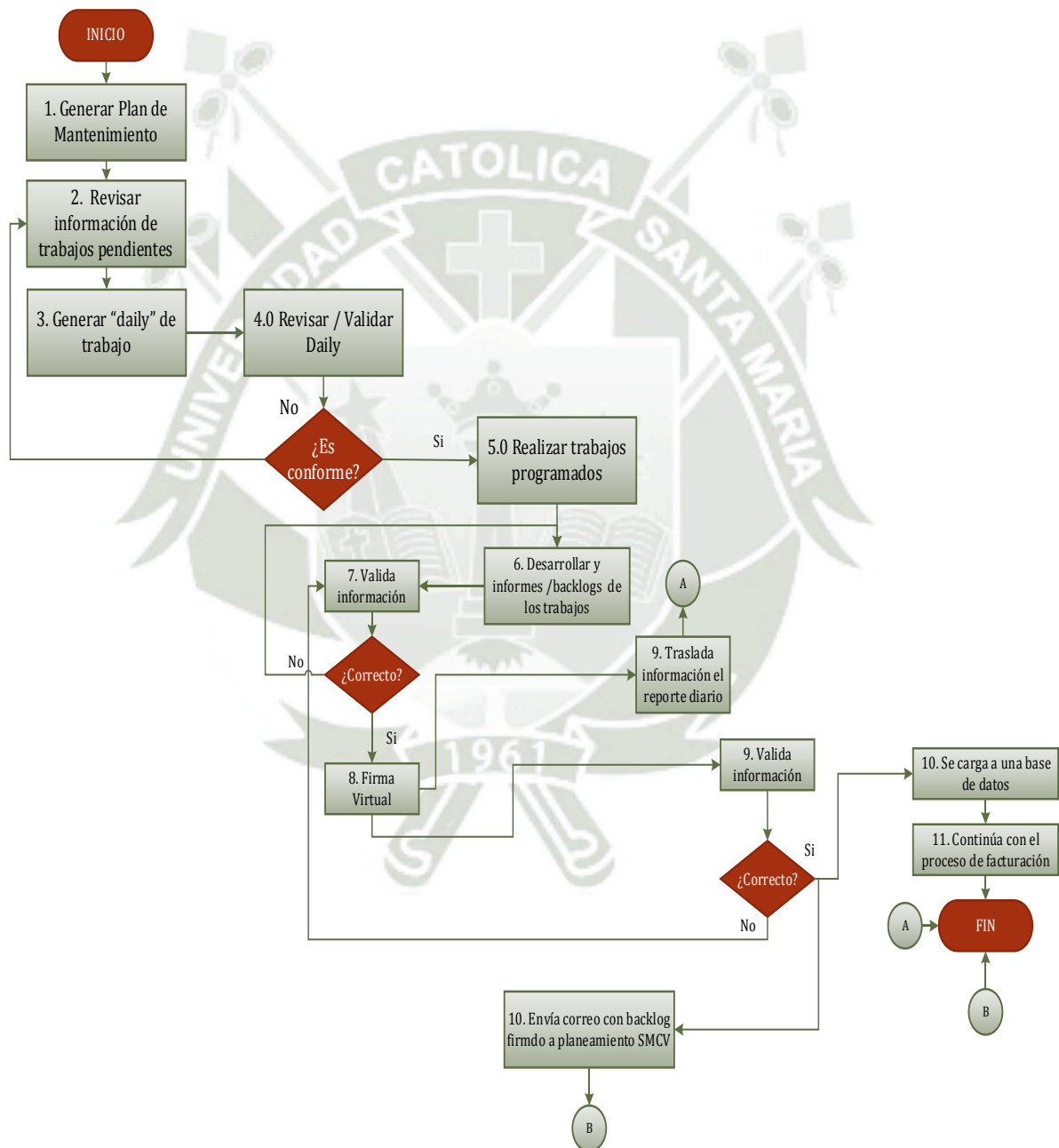


Nota: Visualización de horas programadas por día. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Se puede hacer mejoras de la interfaz y personalizarlo según los requerimientos; de esta forma se cierra el ciclo y se tendría toda la gestión de mantenimiento dentro del aplicativo.

Figura 43

Flujo final de mantenimiento utilizando el aplicativo Appsheets



Nota: Flujo final de la gestión de mantenimiento utilizando el aplicativo Appsheets. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

4.9. Propuesta de flujo de mantenimiento

El departamento de mantenimiento ya tiene la propuesta de migrar la gestión de mantenimiento dentro del appsheet, se puede indicar cómo quedaría el proceso de la gestión de mantenimiento, partiendo desde la generación del plan y validado el daily de trabajos diarios hasta culminar con las validaciones virtuales del supervisor de mina y tener los reportes listos para valorizar los backlogs listos para el envío a planeamiento mina.

4.10. Determinar costos

4.10.1. Costo por paradas no planificadas

Según Díaz, et al. (2016) la cartilla de mantenimiento está diseñada para inspeccionar en frecuencias determinados componentes considerados como críticos. Después de la aplicación de la metodología NPR, se determina que las fallas se pueden presentar sin ningún tipo de aviso y de forma repetitiva, lo que conlleva a una pérdida de tiempo, recursos y costos de reparación elevados para una flota auxiliar. Estas paradas no planificadas no solo afecta de manera económica al departamento de mantenimiento, sino que afectan el daily de mantenimiento programado para la semana y el día. Uno de los nuevos indicadores por parte de la mina a la que la empresa contratista brinda servicios es reducir las paradas no programadas, ya que como se brinda servicio a más de 600 equipos, el programa general de mantenimiento deja muy poco espacio para correctivos.

En la Tabla 31 se muestran los costos de los cambios de los componentes que tienen más frecuencia de fallas según nuestro análisis NPR. Se logró conseguir los costos con el apoyo del área comercial de la empresa contratista. Vale señalar que el costo que aparece en la cotización es el precio venta con el que se ofrecería a la minera en caso se adquirieran estos repuestos como un stock de componentes críticos.

Tabla 31

Costo de cambio de componentes

Número de parte	Descripción	Cantidad en equipo	Precio unitario	Total
35586GT	Alternador	1	\$1,483.94	\$1,483.94
1262585GT	Arrancador	1	\$1,314.96	\$1,314.96
110304GT	Radiador	1	\$1,037.50	\$1,037.50
MA:U45011030	Bomba de agua	1	\$183.35	\$183.35
MA:U5MK8267	Bomba de aceite	1	\$958.79	\$958.79
AA:2521466	Inyector	4	\$306.40	\$1,225.60
AA:3066346	Bomba de inyección	1	\$2,115.93	\$2,115.93
110160GT	Harness	1	\$556.02	\$556.02
TE:101174GT	Joystick	1	\$707.91	\$707.91
1262585GT	Bloque de válvulas	1	\$845.23	\$845.23
TE:81013	Bomba de aceite	1	\$579.23	\$579.23
	TOTAL			\$11,008.46

Nota: Aplicación de la metodología NPR de los costos de cambio de componentes. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Además de gastar en la compra del repuesto, también se tiene que tomar en consideración que el equipo al estar parado tiene un costo ya que se encuentra inoperativo. A continuación, en la Tabla 32, se detallan los costos por intervención y por equipo parado.

Tabla 32

Costos adicionales por intervención

Descripción	Tarifa	Unidad
Mano de obra técnico	\$27.66	Hora
Alquiler interno por hora	\$28.00	Hora
Vehículo camioneta 4x4	\$41.00	Día

Nota: Compra del repuesto de los costos por intervención y por equipo parado. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

La finalidad de tener una correcta gestión de mantenimiento no solo es alargar la vida del activo, sino también evitar paradas no programadas para asegurar la disponibilidad del equipo, pero no solo por el costo de la reparación sino porque de ser un equipo alquilado también genera un gasto como se ve en la Tabla 33.

Tabla 33

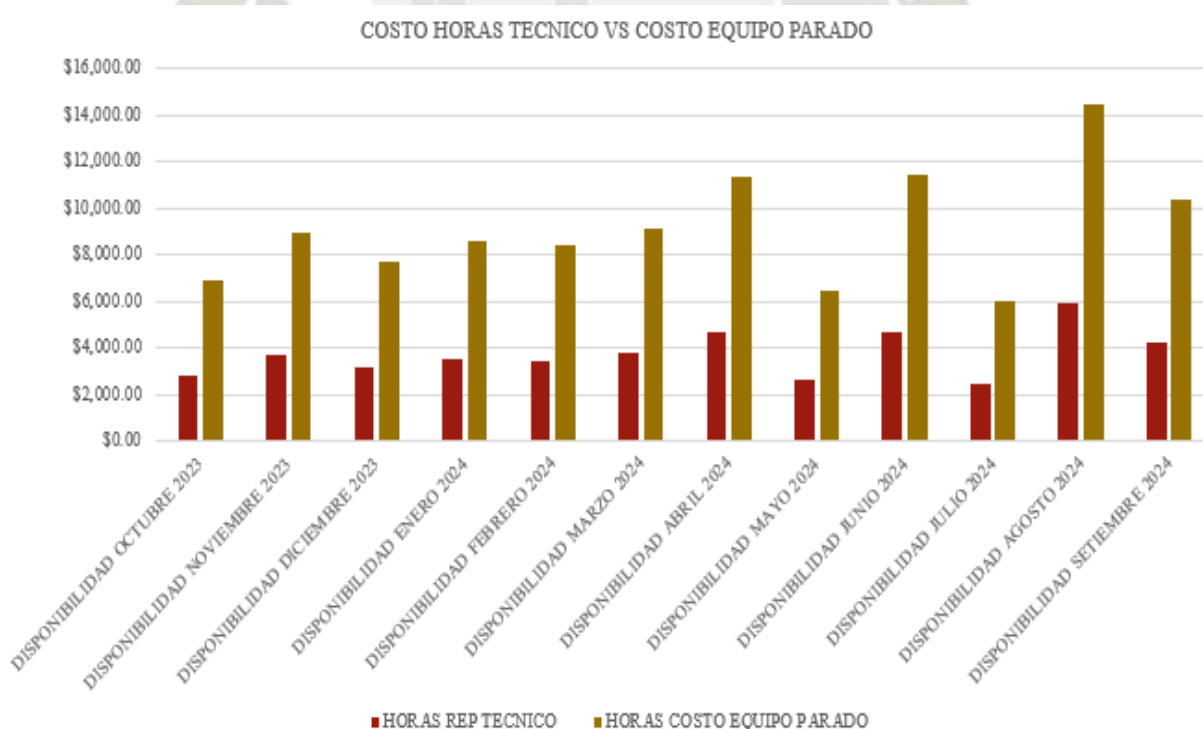
Costos mano de obra e inoperatividad

Costos por mano de obra y alquiler de equipo	
Costo mano de obra personal mecánico	\$3,981.60
Costo por equipo parado alquiler interno	\$5,000.00

Nota: Correcta gestión de mantenimiento de la vida del activo de costos de reparación de la obra. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Figura 44

Costo por paradas no planificadas



Nota: Costo por paradas no planificadas. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

En la Figura 44, se muestran los costos por reparación cuando hubieron paradas de la flota de manlift diesel modelo Z62/40 durante los meses de septiembre y octubre; luego se hace la comparación con el costo de alquiler por la misma cantidad de horas en el equipo que esta inoperativo. Los costos por maquina parada son de \$109897.6 al año durante las atenciones de mantenimiento y el costo por la mano de obra del mantenimiento es de \$45175.2, la suma de los 2 asiente a los \$150000, con la estrategia AMFEC y las estrategias de mantenimiento planteadas, se busca optimizar este gasto al 50%. Si se tuviese en stock 1 unidad de cada repuesto critico identificado el costo es de \$11008.46, el tiempo de importación de los repuestos en GENIE va de 21 días a 1 mes. Se recomienda tener en stock estos repuestos para poder optimizar los gastos de maquina parada 1 mes de \$5000 y disminuir los gastos de mantenimiento en más \$82536.4 considerando solo un equipo inoperativo.

Es posible que con la nueva cartilla de mantenimiento y la implementación de la estrategia de sopleteo eléctrico se reduzcan los correctivos no programados drásticamente (Cabeza, 2018). Para sacar un costo adecuado del mantenimiento se extrae la información de los requerimientos del comunicador técnico de la empresa contratista. En la Tabla 34, Tabla, 35 Tabla 36 y Tabla 37, se muestran los costos aproximados por tipo de mantenimiento.

Tabla 34

Repuestos por tipo de Mantenimiento preventivo de Manlift z62/40

Número de Parte	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio (\$)	Precio Final (\$)	PM 1	PM 2	PM 3	PM 4
94762GT	Filtro de aceite de motor	1	UND	23.13	23.13	X	X	X	X
147826G T	Filtro de combustible con separador	1	UND	323.85	323.85	X	X	X	X
62421	Filtro de combustible	1	UND	17.94	17.94	X	X	X	X
62420	Filtro de aire	1	UND	139.42	139.42	X	X	X	X
60857	Filtro de presión HYD	2	UND	77.92	155.84			X	X
89765	faja	1	UND	103.43	103.43				X

Nota: Cartilla de mantenimiento e implementación de la estrategia de repuesto por tipo PM. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Tabla 35

Aceites por tipo de de Mantenimiento preventivo de Manlift z62/40

Número de Parte	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio (\$)	Precio Final (\$)	PM 1	PM 2	PM 3	PM 4
248-7518	Aceite de motor	2.5	GAL	\$21.51	\$53.78	X	X	X	X
	Aceite de mandos								
8T-9582	finales y tornamesa	2	GAL	\$19.66	\$39.32			X	X
309-6931	Aceite hidráulico	35	GAL	\$23.61	\$826.35				X

Nota: Cartilla de mantenimiento e implementación de la estrategia de aceite por tipo de PM. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Tabla 36

Costos adicionales de Mantenimiento preventivo de Manlift z62/40

Consumibles

Número de Parte	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio (\$)	Precio Final (\$)
-	LIMPIACONTACTOS	2	UND	\$12.61	\$25.21
-	TRAPO	2	KG	\$1.68	\$3.37

Camioneta

Número de Parte	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio (\$)	Precio Final (\$)
-	CAMIONETA	1	UND	\$41.00	\$41.00

Costo de mano de obra

Técnico	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio (\$)	Precio Final (\$)
MECANICO	TECNICOS	1	UND	\$11.51	\$11.51
ELECTRICO	TECNICOS	1	UND	\$11.51	\$11.51

ALIMENTACION

-	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio (\$)	Precio Final (\$)
-	ALMUERZO	2	UND	\$4.74	\$9.47

Nota: Costos adicionales para mantenimiento de la flota manlift. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Tabla 37

Costos finales de Mantenimiento preventivo de Manlift z62/40

Costo de Mantenimiento	
Mantenimiento de 250 Hr	\$984.48
Mantenimiento de 500 Hr	\$1,015.56
Mantenimiento de 1000 Hr	\$1,310.10
Mantenimiento de 2000 Hr	\$2,751.77

Nota: Costos finales de mantenimiento de la flota manlift. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Tabla 38

Costos plan de mantenimiento para el Manlift Diesel 2023 - 2024

Tipo de mantenimiento	Costo de mano de obra	Duración del trabajo estimado	Tarifa de alquiler interno	Costo de equipo parado	Costo total del mantenimiento	Horas de trabajo estimadas al año	Nº mantto/ Año	Costo Anual Estimado De Mantenimiento
Mantenimiento a 250 HR	\$55.32	8	\$28.00	\$224.00	\$984.48	4380	16	\$15,751.75
Mantenimiento a 500 HR	\$55.32	10	\$28.00	\$280.00	\$1,015.56	4380	8.53	\$8,662.74
Mantenimiento a 1000 HR	\$55.32	12	\$28.00	\$336.00	\$1,310.10	4380	5.06	\$6,629.13
Mantenimiento a 2000 HR	\$55.32	24	\$28.00	\$672.00	\$2,751.77	4380	4.53	\$12,465.51
TOTAL				\$1,512.00			TOTAL	\$43,509.13

Nota: Costos del plan de mantenimiento del manlift. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

4.11. Justificación del uso del aplicativo

La principal razón por el uso de este ERP es la capacidad que tiene para poder materializar una gestión de mantenimiento personalizada, además de poder tener la información de forma virtual. El primer análisis básico para la adquisición del programa fue la

comparación respecto al gasto de hojas de informes de mantenimiento impresas (Contreras, 2020).

En la Tabla 39 se puede apreciar el costo por imprimir un porcentaje de las cartillas, y el monto va por encima de los S/.2000. Podríamos decir que, por el consumo, errores de llenado, perdidas, etc., las cartillas se podrían acabar en unos 3 meses, lo que nos lleva a un consumo mensual de \$180 y solo hablamos de un porcentaje de las cartillas.

Tabla 39

Cotización de formatos de mantenimiento

Cantidad	Unidad	Descripción	Total
500	und	Bobcat	190
500	und	Cisterna de Agua	190
500	und	Compresor motor diesel	190
500	und	Cortadora	190
500	und	Grupo eléctrico	190
500	und	Informe de servicios	190
500	und	Hidro lavadora	190
500	und	Telehandler	190
500	und	Motobomba	190
500	und	Soldadora eléctrica	190
500	und	Barredora	190

Nota: Porcentaje de las cartillas, y monto que van por encima de S/.2000. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

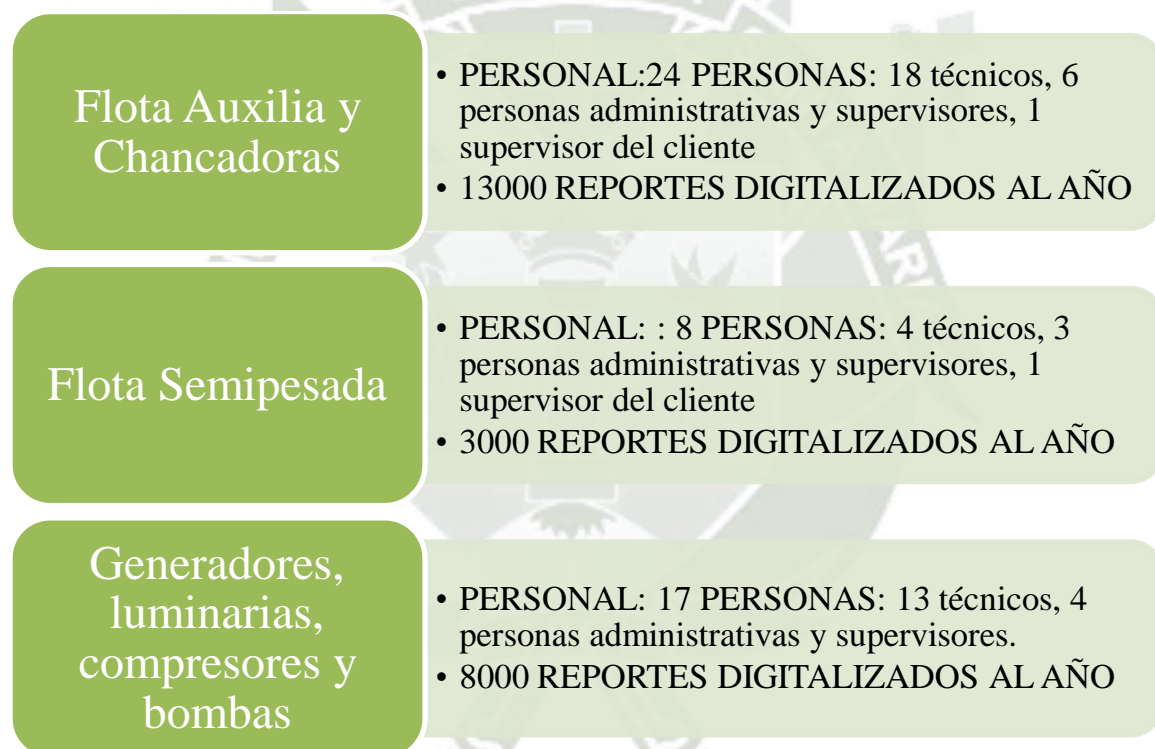
Es así, que se hizo la adquisición durante un mes del Appsheet y el costo fue de \$50 por lo que es factible su uso. Adicionalmente estuvo la compra de los celulares y el plan; pero estos ya estaban en proceso de compra ya que se había tenido reporte de que los técnicos ya no

debían usar sus celulares personales. Por lo que se puede considerar que conviene desde un punto de vista económico el uso del aplicativo.

Las ventajas de esta propuesta radican en la reducción de papel durante el servicio, optimizar tiempos en información y generar base de datos compartida con el cliente de las atenciones realizadas durante el servicio. Se puede considerar la siguiente información (Figura 45) para todas las flotas que maneja la empresa contratista dentro de la minera del sur.

Figura 45

Reportes Cargados por áreas



Nota: Reporte cargados por áreas. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

La empresa contratista anualmente utiliza 24000 reportes que representan \$5400, adicional le sumaremos la labor de un digitador administrativo que cargue 20 informes/hora y que su mano de obra cueste 4\$/h se tiene \$1100. El ahorro de la empresa contratista con el uso del Aapsheet de forma anual asiente a los \$5500 por año y reduce el impacto ambiental.

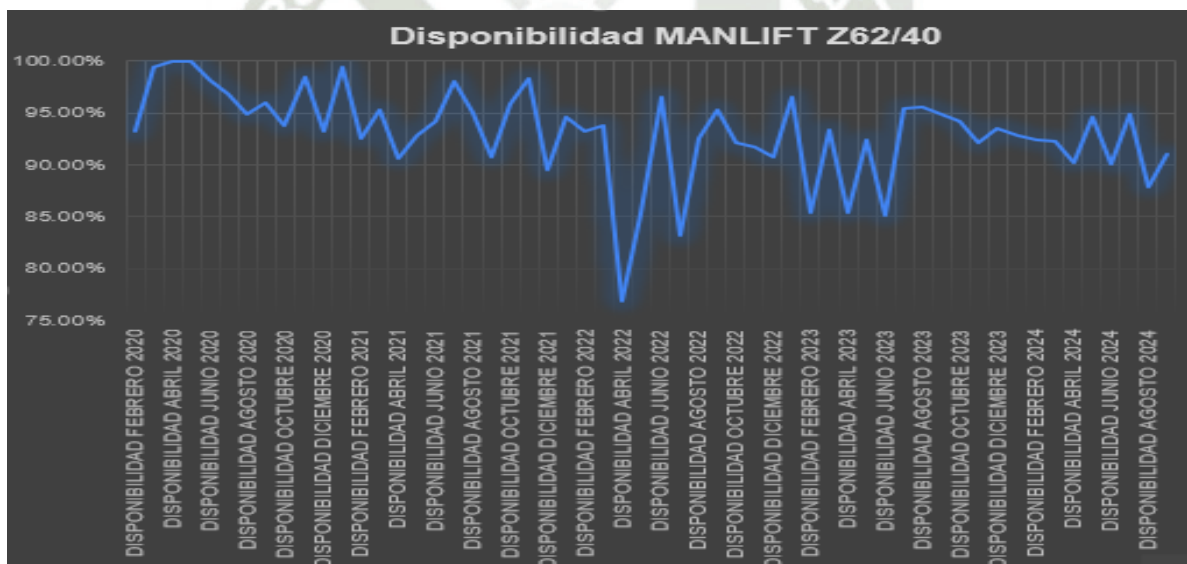
4.12. Justificación del mantenimiento 4.0 a través de indicadores

4.12.1. Disponibilidad inicial

De acuerdo a Valencia (2022) la flota de manlift para este análisis es de 6 unidades por lo tanto al final del resultado es lograr el aumento de la disponibilidad, se sabe que la dicha disponibilidad es un valor que representa cuan utilizable está un equipo para realizar el trabajo o actividad para el cual fue diseñado, en este caso se aplica la disponibilidad mecánica que considera únicamente las fallas y se obtiene la Figura 46 donde se muestra el cálculo de disponibilidad de la flota manlift diesel modelo Z62/40 desde el año 2020.

Figura 46

Disponibilidad flota manlift modelo Z62/40



Nota: Flota manlift diesel modelo Z62/40. Adaptación propia de en base a la investigación realizada, 2024.

Como ejemplo tomaremos el cálculo de la disponibilidad de septiembre del 2023 para el MANLIFT049, utilizando la fórmula 1 indicada en el marco teórico. La disponibilidad se calcula utilizando el tiempo en el que está útil el equipo que es el MTBF, se le resta el MTTR que sería el tiempo en que el equipo está parado por temas de mantenimiento y todo se divide entre el tiempo que el equipo está útil.

$$DSEP_{2023} = \frac{\left(8 \frac{h}{d} * 7 \frac{d}{sem} * 4 \frac{sem}{mes}\right)}{\left(8 \frac{h}{d} * 7 \frac{d}{sem} * 4 \frac{sem}{mes}\right) + 18 \frac{h}{mes}}$$

El MTTR que equivale a 18 se obtiene del reporte diario donde se registran todas las paradas que tiene el equipo, por lo que el resultado de la disponibilidad de septiembre del 2023 para el MANLIFT049 es de:

$$DSEP_{2023} = 92.56\%$$

De esta forma se calcula los resultados para obtener la disponibilidad de los 6 manlift durante los meses de septiembre del 2023 a setiembre del 2024, como se puede apreciar en la siguiente tabla

Tabla 40

Ejemplo de cálculo de disponibilidad para los meses de septiembre a diciembre 2023

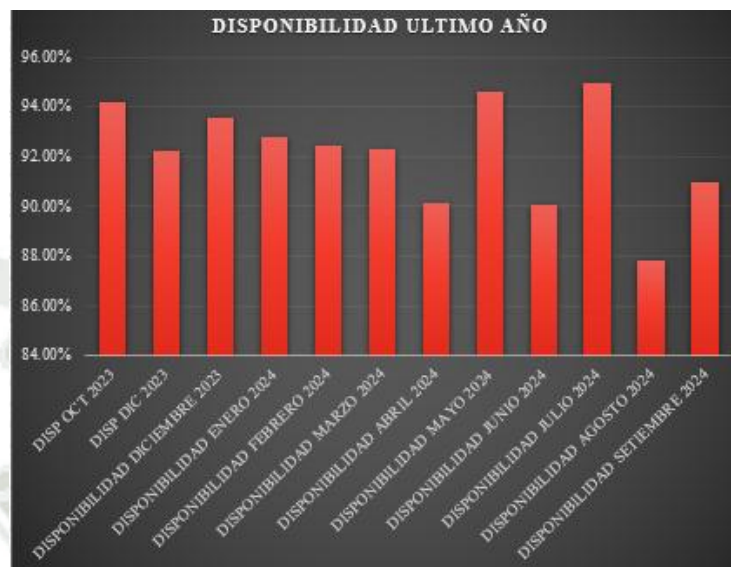
Coloquial	Horómetro	Criticidad	Status	Dispo Sept 2023	Dispo Oct 2023	Dispo Dic 2023
MANLIFT049	9361	1	OPERATIVO	92.56%	97.46%	88.19%
MANLIFT050	7901	1	OPERATIVO	90.38%	92.66%	97.52%
MANLIFT051	8940	1	OPERATIVO	95.48%	89.84%	91.10%
MANLIFT052	8364	1	OPERATIVO	96.35%	87.16%	97.38%
MANLIFT053	2823	2	OPERATIVO	97.38%	100.00%	100.00%
MANLIFT057	5046	1	OPERATIVO	92.42%	98.02%	79.00%

Nota: Ejemplo de cálculo de disponibilidad para los meses de septiembre a diciembre 2023. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

Se puede visualizar que el equipo inicia de nuevo y durante el tiempo de vida hay una caída en su disponibilidad. En la Figura 47 siguiente se visualiza la disponibilidad del último año.

Figura 47

Disponibilidad flota manlift modelo Z62/40 del último año



Nota: Flota manlift modelo Z62/40 del último año. Adaptación propia de en base a la investigación realizada, 2024.

En referencia a lo obtenido después del análisis de disponibilidad de la flota se obtuvo un 88.81% resultado que da a conocer un incremento en dicha disponibilidad; esta cifra se recabó aplicando estrategias de mantenimiento, donde al aumentar la disponibilidad de la flota manlift garantiza que los equipos puedan realizar su trabajo sin interrupciones y de forma segura; es decir se eleva a las personas la prioridad de operativizar la seguridad del operador. Además, que no se retrasa la producción y que no se vea perjudicado el proyecto por correctivos no programados (Vásquez, 2019).

La disponibilidad para un equipo de flota liviana que se utiliza para trabajos críticos como elevación de personas siempre debe estar a más de 90% por estándar y según el contrato que se tiene con la minera. Ese nivel de disponibilidad ya se está trabajando en otras mineras a nivel nacional, se tiene esta información porque la empresa contratista tiene presencia en más de 6 proyectos mineros en el Perú. Por lo que se intenta replicar las mejoras en todos los frentes de trabajo, pero siempre personalizando de acuerdo a los requerimientos particulares.

4.13. Aumento de la disponibilidad de la flota

Dueñas, et al. (2020) expusieron que tener identificados tanto los sistemas con mayor cantidad de fallas a su vez los componentes considerados como críticos de las estrategias que se han propuesto buscan reducir el nivel de riesgo de inoperatividad, aumentando de esta manera la disponibilidad de la flota que sea mayor a 92%. La disponibilidad actual de la flota es de 88.81%, aplicando las estrategias que buscan aumentar el MTBF y disminuir el MTTR como se muestra en la siguiente figura.

Aumentar la disponibilidad de la flota es crucial para poder sustentar frente a mina la utilización de este nuevo ERP. En las reuniones mensuales y trimestrales que se tienen con supervisión y gerencia de mina respectivamente se expone tanto indicadores de seguridad como de mantenimiento, y presentar una nueva alternativa que mejora a gestión de mantenimiento y los KPI sumaría muchos puntos a la empresa contratista en la nueva renovación de contrato.

Para encontrar la disponibilidad se deduce que si aumenta el MTBF (tiempo medio para fallar) no significa que solo por eso nuestro equipo funciona correctamente, sino que el MTTR (tiempo promedio a reparar) también tiene que bajar. Con la aplicación de la nueva cartilla de mantenimiento y la estrategia de sopleteo eléctrico se estima que la disponibilidad aumente, en la siguiente tabla se muestra de forma experimental cuales serían los resultados de la disponibilidad disminuyendo en un 30% el MTTR quiere decir que el equipo sería más fácil de reparar y que fallaría con menor frecuencia (Cabeza, 2018).

En investigaciones parecidas como manifiesta (Mendoza, 2023), este análisis se cuenta que la disponibilidad puede aumentar entre un 8% a 12%, en este caso al no hablar de la flota completa de manlifts de la importante minera del sur es que se estima que este análisis y las mejoras propuestas en primera instancia disminuirán en 30% el MTTR, lo que hace que la disponibilidad aumente un 3.36% para la flota de manlift diesel modelo Z62/40 como se ve en la Tabla 40.

Tabla 41

Aumento de la disponibilidad reduciendo el MTTR y aumentando el MTBF

Año	Mes	Horas base al mes (Hr)	Disponibilidad inicial	Tiempo de reparación reducido (Hr)	Disponibilidad d 2
2023	Octubre	4320	91.70%	266	94.19%
2023	Noviembre	4320	88.85%	106.4	92.20%
2023	Diciembre	4320	90.76%	60.2	93.53%
2024	Enero	4320	89.68%	86.45	92.78%
2024	Febrero	4320	89.19%	105.35	92.43%
2024	Marzo	4320	89.01%	114.45	92.31%
2024	Abril	4320	85.94%	136.85	90.16%
2024	Mayo	4320	92.27%	35	94.59%
2024	Junio	4320	85.80%	121.8	90.06%
2024	Julio	4320	92.78%	75.25	94.94%
2024	Agosto	4320	82.64%	190.575	87.85%
2024	Septiembre	4320	87.10%	139.79	90.97%

Nota: Aumento de la disponibilidad reduciendo el MTTR y MTBF. Adaptación propia en base de la investigación realizada, 2024.

4.14. Aumento de la confiabilidad de la flota

Según (Mendoza, 2023), para poder hacer el cálculo de la confiabilidad del equipo se requiere obtener previamente el dato del MTBF, que se calculó en el apartado anterior. Utilizando la ecuación 2 detallada en el capítulo 2, se hace el cálculo utilizando la base de datos (Número de paradas, tiempo de paradas programadas y no programadas, etc.)

Para cálculo en mina no se calcula con 24 horas ya que en equipos de izaje como son los manlift no se utilizan de noche, ya que se vuelve una actividad del alto riesgo. Se utiliza como tiempo 8 a 12 horas, con ese dato se calculan los indicadores de mantenimiento presentados y expuestos a gerencia. Se hace el cálculo para el último año para poder ver la confiabilidad del equipo actual y estimar cuanto podría llegar a aumentar utilizando las técnicas de mantenimiento 4.0. Como demostración calcularemos la confiabilidad del manlift049 en el mes de septiembre 2023.

$$CONFIABILIDAD = R(t) = e^{-\lambda * t}$$

De la fórmula descrita en la teoría se tiene que λ es la inversa del MTBF, por lo que la fórmula quedaría de la siguiente manera, utilizando el MTBF calculado en la disponibilidad

$$R(t) = 2.718^{-\frac{240h+1}{240h-9h}}$$

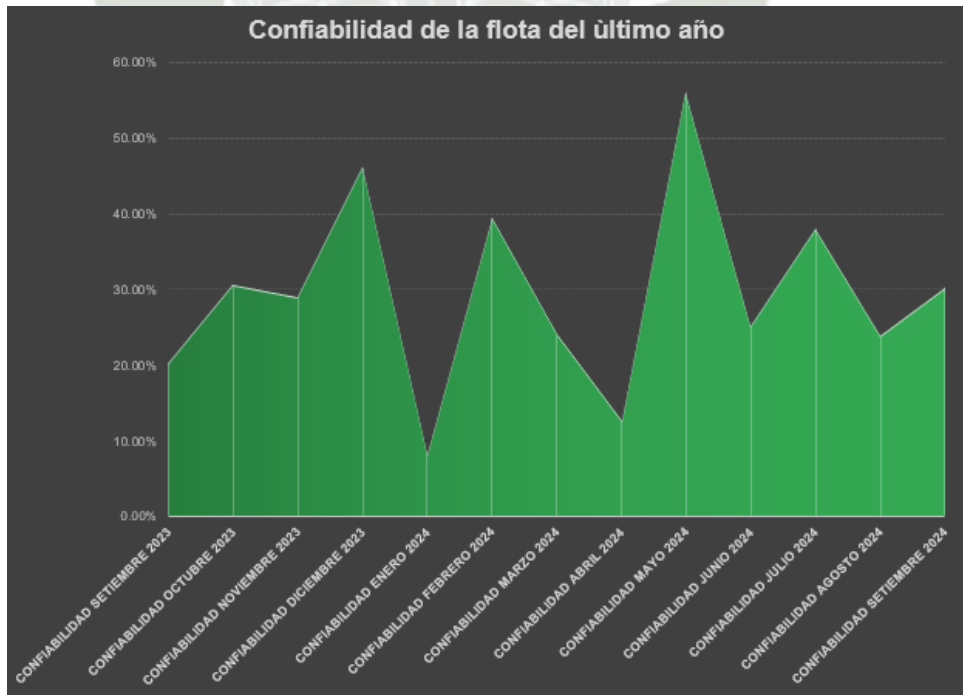
Por indicación de mina el equipo debe estar con una disponibilidad de 240 horas mensuales, se multiplica por el número de paradas al mes (en este caso fue 1) y se divide entre el tiempo real que esta útil el equipo, se obtiene.

$$R(t) = 35.38\%$$

Para obtener la Figura 47, se debe calcular la confiabilidad de los 5 equipo por mes y sacamos un promedio. De esta forma se calcula para los 11 meses sobrantes, gracias a ello se puede tener un estimado de cuanto sería la confiabilidad en ese periodo de tiempo del manlift modelo Z62/40 de la minera.

Figura 48

Confiabilidad de la flota del último año



Nota: Confiabilidad de la flota del último año. Adaptación propia en base a la investigación realizada, 2024.

Como se ve en la Figura 48 el promedio de la confiabilidad del último año es del 30.22%, es muy baja comparando a la disponibilidad. Esto se debe a que el tiempo útil del equipo es alto, es decir las paradas en algunos meses no duraron tanto pero el número de paradas fue alto. Por ello la confiabilidad del equipo se ve afectada. Después de aplicar el método AMFEC se estima que las paradas no programadas reducirán, aprovechando la estrategia de Sopleteo eléctrico se corregirán varios correctivos y se visualiza que backlogs se pueden ir solicitando en el siguiente mantenimiento. Por lo que se estima que el número de paradas va a disminuir en un 50% para paradas programadas por mantenimiento e inspección, con ese dato se estima que la confiabilidad podría aumentar en un 10% basándonos en trabajos como (Salvatierra, 2019) donde aumento la confiabilidad en un 7%.

CONCLUSIONES

- Primera:** La integración del software Appsheet, con el apoyo de tecnologías de Big Data y Cloud Computing, marcó un hito en la gestión de la flota al crear los perfiles de técnico, supervisores, asistente de supervisión y planeamiento. Esta herramienta digital facilitó la recopilación, análisis y visualización en tiempo real de los datos operativos, permitiendo una toma de decisiones más ágil y basada en evidencia. Se reduce el tiempo de proceso en el caso de informes de 8 a 2 días y en backlogs de 6 a 3 días. El costo de la licencia. Y cuenta con un ahorro considerando la digitación y la impresión de cartillas de 5500\$/año.
- Segunda:** El desarrollo del perfil de planner de mantenimiento permitió crear un nuevo plan de mantenimiento dentro del software Appsheet, que garantizó una mejora en la confiabilidad de los equipos. Este plan, diseñado a partir de los datos obtenidos del análisis AMFEC, permitió personalizar las rutinas de mantenimiento según las necesidades específicas de los componentes críticos del Manlift Diesel modelo Z62/40. Como resultado, se logró minimizar los tiempos de inactividad no programados, optimizar los costos operativos y mejorar la productividad general de la flota.
- Tercera:** La jerarquización de los componentes del Manlift Diesel modelo Z62/40 permitió identificar las partes críticas que requieren atención prioritaria dentro de la flota. Este análisis detallado contribuyó a una comprensión más profunda de las interacciones entre los sistemas y subsistemas del equipo, asegurando que los esfuerzos de mantenimiento se enfocan en las áreas de mayor impacto.

Cuarta: La implementación del método AMFEC (Análisis Modal de Fallos, Efectos y Criticidad) resultó en un análisis integral que permitió identificar y mitigar los modos de falla más críticos de la flota utilizando el diagrama de Pareto, que permitió identificar los dos sistemas que engloban el 80% de las fallas. Este enfoque no solo mejoró la gestión de riesgos asociados a los componentes principales del equipo, sino que también contribuyó a reducir la frecuencia y el impacto de las fallas. Se aplicó el método sobre el sistema motor y se propuso estrategias de mantenimiento para el sistema eléctrico (Sopleteo eléctrico, inspección de fugas y revisión de niveles). Teniendo un aumento de la confiabilidad de 30.22% a 40.22% por la reducción de paradas no programadas en el equipo. Se concluye que utilizando las estrategias planteadas la minera tendrá un ahorro de \$82536.4 al año.

RECOMENDACIONES

- Primera:** Es fundamental realizar la jerarquización de los componentes del Manlift Diesel modelo Z62/40 de manera periódica y con base en el nivel de criticidad que cada componente tiene sobre la operación. Este análisis debe incluir criterios como la frecuencia de fallas, el impacto en la operación y los costos asociados a reparaciones o reemplazos. Se recomienda usar herramientas digitales para documentar y actualizar constantemente esta jerarquización, lo que permitirá mantener un control claro de los sistemas prioritarios y garantizar que las actividades de mantenimiento se enfoquen en las áreas más críticas, optimizando así los recursos disponibles.
- Segunda:** Es aconsejable implementar el método AMFEC como una herramienta estándar para analizar y mitigar fallas en los equipos de la flota. Este método debe ser aplicado por un equipo interdisciplinario que integre especialistas en mantenimiento, operadores y técnicos, asegurando que el análisis sea integral y preciso. Además, se recomienda realizar revisiones periódicas del análisis AMFEC para identificar nuevas posibles fallas debido al desgaste natural o cambios en las condiciones operativas. Esto garantizará una mejora continua en los indicadores clave de mantenimiento.
- Tercera:** La implementación del software Appsheet debe ir acompañada de la capacitación adecuada al personal encargado de gestionar y operar esta herramienta. Se recomienda configurar Appsheet para que capture datos relevantes en tiempo real, como horas de trabajo, frecuencia de uso y alertas de fallos. Esto garantizará una gestión eficiente de la flota, reduciendo errores manuales y optimizando los tiempos de respuesta ante cualquier incidencia.

- Cuarta:** Para maximizar los beneficios de un nuevo plan de mantenimiento, es importante diseñarlo basado en los datos recolectados a través de Apsheet y en los resultados del análisis AMFEC. Este plan debe incluir rutinas personalizadas para los componentes críticos y establecer cronogramas detallados de mantenimiento preventivo y predictivo. Se recomienda, además, evaluar periódicamente la efectividad del plan mediante indicadores clave, como el tiempo medio entre fallos (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR). La constante actualización del plan permitirá adaptarse a las necesidades cambiantes de la flota, mejorando la disponibilidad y reduciendo los tiempos de inactividad.
- Quinta:** Culminar el proceso de validación de backlog mediante el Aapsheet y que ya no se impriman, de forma que se mantenga todo el proceso de forma virtual. El software Apsheet es muy completo, se recomienda utilizarlo en otros procesos, como la gestión de mantenimiento de camionetas o las compras no comerciales de la empresa contratista.
- Sexta:** Limpiar y ordenar la información del reporte diario de la empresa contratista, para poder implementar el plan de mantenimiento para las demás flotas de equipos en el Aapsheet.

REFERENCIAS

- Arredondo, V. (2023). *La industria 4.0 y la transformación digital: Efecto sinérgico de la responsabilidad social corporativa y el capital humano en el marco de los objetivos de desarrollo del milenio* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cartagena]. Repositorio Institucional UPCT. <https://repositorio.upct.es/handle/123456789/0000>
- Ávila Taco, J. S., & Levano Saravia, Z. G. (2023). *Implementación de plan de mantenimiento preventivo basado en AMFEC para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos Manlift GS-3246* [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional UTP. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/8927>
- Barrientos Medina, G. (2017). *Mejora de la gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología AMEF* [Tesis de licenciatura, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio Institucional USIL. <https://repositorio.usil.edu.pe/handle/20.500.14005/3465>
- Cabeza Gavira, R. M. (2018). *Industria 4.0 y sus aplicaciones a la optimización de procesos y eficiencia energética* [Trabajo Fin de Grado, Universidad de Sevilla]. Repositorio Institucional de la Universidad de Sevilla. <https://hdl.handle.net/11441/82651>
- Centeno Batallanos, J. M., & León Durán, G. (2021). *Mejorar la disponibilidad de equipos de camión grúa aplicando la Teoría de Restricciones para el servicio en unidades mineras del sur del Perú* [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional UTP. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/8927>
- Contreras Alvarez, J. L. (2020). *Diseño de un modelo para mantenimiento predictivo en motores de inducción utilizando técnicas de la industria 4.0*. Lima-Perú: Tesis Licenciatura - Universidad Tecnológica del Perú.
- Contreras Álvarez, J. L. (2020). *Diseño de un modelo para mantenimiento predictivo en motores de inducción utilizando técnicas de la Industria 4.0* [Tesis de licenciatura,

Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional UTP.

<https://hdl.handle.net/20.500.12867/4275>

Parra Márquez, C. A., & Crespo Márquez, A. (2012). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos*. INGEMAN. <https://idus.us.es/handle/11441/82651>

Díaz, A. (2020). *Transformación digital - industria 4.0*. Santiago-Chile: Colegio de Ingenieros de Chile A.G.

Díaz, C. A., Del Castillo Serpa, A., Cabrera Gómez, J., & Toledo Garcia, M. (2016). *Obtención de un modelo de criticidad para los equipos y sistemas tecnológicos de una termoeléctrica*. Editorial La Habana.

Dueñas, L., Villegas, G., Castiblanco, S., & Castaño, C. (2020). *Casos de éxito en la implementación del mantenimiento predictivo mediante el uso de tecnologías de la industria 4.0 en empresas colombianas*. Colombia: Congreso Internacional de Sistemas.

Duffuaa, S. O., Raouf, A., & Campbell, J. D. (2006). *Sistemas de mantenimiento: planeación y control*. Editorial Limusa.

Ellmann Sueiro, H. (2020). *Análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional*. <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidaduna-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>.

Espinal Mamani, K. C. (2020). *Aplicación de la metodología AMEF para optimizar el mantenimiento preventivo y predictivo del mineroducto de concentrado de mineral al norte de Perú, Arequipa 2019* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Institucional UCSM.

[https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/10361:contentReference\[oaicite:5\]{index=5}](https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/10361:contentReference[oaicite:5]{index=5})

- Galeano Hernández, E., & Pérez Carrillo, H. H. (2017). *Análisis de modo y efecto de falla en el proceso de extrusión – soplado en placa* [Tesis de licenciatura, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/items/3be7df4e-b872-4f96-ad63-f1edcf3079c3>
- Hernández Moreno, S. F., & Pabón Neira, V. A. (2012). *Diseño de un sistema de mantenimiento preventivo para la planta de mecanizado de Industrias TANUZI S.A. basado en análisis de criticidad y análisis de modo y efecto de falla (FMEA)* [Tesis de licenciatura, Universidad Industrial de Santander]. Scribd. <https://es.scribd.com/doc/233624772/TESIS-CRITICIDAD-TANUZZI>
- ISO 55000. (2014). *Gestión de activos - aspectos generales, principios y terminología. Organización for Standardization.*
- Melendrez, L. Á. (2024). *Implementación de modelos de distribución de fallas para evaluar la confiabilidad y mantenibilidad de scooptrams utilizando R-Studio en la empresa J&M Minería S.A.C.* [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional UTP. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/8927>
- Mendoza, R. (2020). *AMEF Análisis de Modo y Efecto de Falla.* Lean Solutions. <https://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla/>
- Lizarraga, J. (2018). *Introducción a la industria 4.0: Conceptos básicos y ejemplos.* España: Editorial Mondragon Unibertsitatea.
- Maisuechue, A. (2019). *Utilización de Machine Learning en la industria 4.0.* España - <https://core.ac.uk/download/pdf/228074134.pdf>: Universidad de Valladolid.
- Marfán, M., & Meller, P. (2019). *Estrategia de industria 4.0: Diseñado en Chile futuro ASIMET.* Santiago-Chile: Editorial Consejo Minero.

- MCP SA. (2023). *Reportes y procedimientos del área de ingeniería y mantenimiento*.
<https://dashboard.chinalco.com.pe/reports/powerbi/gestion%20de%20activos/planta/gap001%20-%20reporte%20entrenamiento%20gda>.
- Mendoza Franco, R. (2023). *Plan de mantenimiento preventivo basado en AMFEC para incrementar la disponibilidad del cargador frontal 962L de Ecofern Rancas*. Huancayo.
- Mora Gutierrez, L. A. (2009). *Mantenimiento, planeación, ejecución y control*. Valencia. Editorial Alfaomega Grupo Editor.
- Morales Mendro, Y. M. (2024). *Integración de Industria 4.0 en mejora de planes de mantenimiento predictivo para flota de carguío en una mina de tajo abierto* [Tesis de licenciatura, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional Pirhua.
<https://hdl.handle.net/11042/6578>
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad (Reliability - centred Maintenance)*. Gran Bretaña: Editorial Aladon.
- Ortega Ñahuin, D. G. (2017). *Determinación de fallas funcionales de los equipos críticos del transporte de mineral grueso en minera Las Bambas S.A.* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3674>
- Palacio Aguilera, J. I. (2018). *Mejora del proceso de planificación de mantenimiento para equipamiento minero de gran envergadura utilizando el ciclo de gestión de riesgo* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica Federico Santa María]. Repositorio Institucional UTFSM. <https://repositorio.usm.cl/handle/123456789/8487>
- Pérez, R. (2019). *Métodos para el análisis de fallas y el uso del Big Data en la industria 4.0*. Sevilla-España: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla.
- Plataformas Articuladas Genie. (2024).

- Rativa Sáenz, E. A., & Espinosa Triana, J. E. (2021). *Análisis estadístico de confiabilidad para equipos de elevación tipo Manlift (Plataforma de elevación para trabajo en alturas)* [Trabajo de grado, Universidad ECCI]. Repositorio Institucional ECCI. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/2040>
- Salvatierra Pastor, H. (2019). *Aumento de la confiabilidad de la excavadora 336D2L con la metodología AMEF en la empresa Baeira SAC* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Trujillo. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/a2d8e213-f809-43fe-8565-54ecf5e4d269>
- Serrano, S. P. (2019). *Aplicación de técnicas de procesamiento para el mantenimiento basado en la inducción.*
- Stayrou, A., Sedding, H. G., & Penman, J. (2001). *Current monitoring for detecting inter-turn short circuits in induction motors.* 16(1), 32-37 - <https://doi.org/10.1109/60.911400>: IEEE Transactions on Energy Conversion.
- Tume Fuentes, M. G. (2022). *Estado del arte de la inteligencia artificial y su aplicación en el mantenimiento* [Tesis de licenciatura, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional Pirhua. <https://hdl.handle.net/11042/5490>
- Turco, I. (2022). *Mantenimiento eléctrico con industria 4.0.* Lima-Perú: Editorial Mentory Capacitación y Consultoría.
- Del Val Román, J. L. (2018). *Industria 4.0: La transformación digital de la industria.* *Revista Ingeniería*, Universidad de Deusto. <https://revistaingenieria.deusto.es/industria-4-0-la-transformacion-digital-de-la-industria/>
- Valencia Flores, V. A. H. (2022). *Propuesta para incrementar la confiabilidad operacional usando técnicas RCM en palas eléctricas de cable 7495 Hydracrowd para una mina ubicada en Moquegua* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santa María].

Repositorio

Institucional

UCSM.

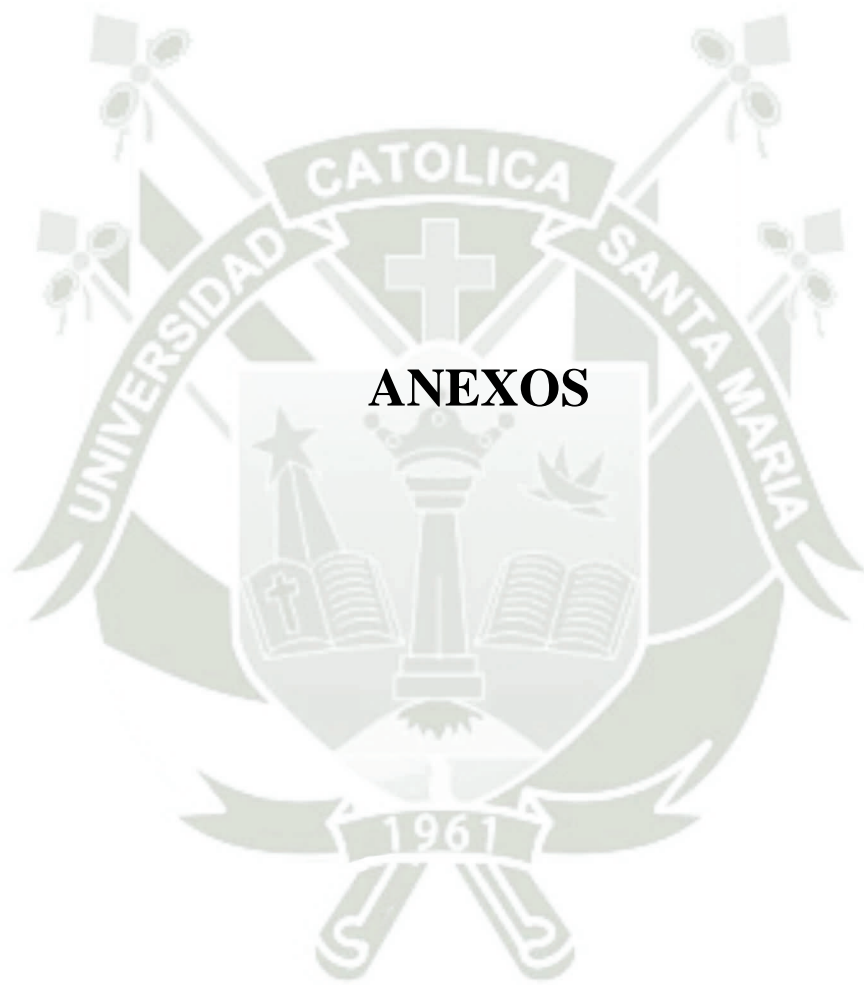
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11501>

Vásquez Díaz, J. J. (2019). *Implementación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) a excavadoras Caterpillar 336D2L* [Tesis de licenciatura, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional Pirhua.
<https://hdl.handle.net/11042/4235>

Villegas, C. (2023). *Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) y su uso en Machine Learning aplicado a procesos productivos*. <https://predictiva21.com/analisis-modos-efectos-fallas-amef-machine-learning/>.

Zhang, S., Wang, B., & Habetler, T. G. (2020). *Deep Learning Algorithms for Bearing Fault Diagnostics*. Vol. 8. pp. 29857-29881 -
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2972859>: A Comprehensive Reiew.

Zúñiga Calderón, P. A. (2021). *Aplicación de AMFEC en la disminución del riesgo a la flota de tractores D6T de la empresa Mota Engil en operaciones Quellaveco* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Institucional UCSM.
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/10582>

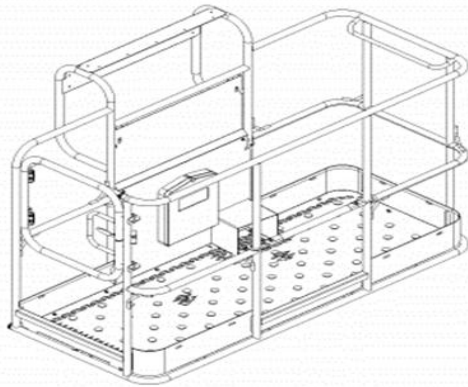


ANEXO 1

 CARTILLA DE MANTENIMIENTO MANLIFT											
EQUIPO		OM		MODELO		SERIE		HOROMETRO		PROG / NO PR	
FECHA		DE	HORA DE FIN	TOTAL HRS		USUARIO-PERSONA DE CONTACTO			UGAR ATENCIÓ		
PM1 - 250 HR ____		PM2 - 500 HR ____		PM3 - 1000 HR ____		PM4 - 2000 HR ____					
AL INICIAR EL EQUIPO SE ENCUENTRA:											
INOPERATIVO ____			OPERATIVO ____			OPERATIVO CON OBSERVACIONES ____					
250	500	1000	2000	INS	TAREAS					OBSERVACIONES	CHECK
ANTES DE INSPECCIONAR EL EQUIPO DEBE ENCONTRARSE LAVADO											
X	X	X	X		Inspeccionar la existencia de partes dañadas, flojas o perdidas, corregir defectos.						
X	X	X	X		Inspeccionar los indicadores del estado de los filtros hidráulicos, reemplaze de ser necesario						
X	X	X	X		Engrasar adecuadamente los ejes extensibles						
X	X	X	X		Inspeccionar nivel de aceite hidráulico/ cubos de traccion, rellenar de ser necesario. Revisar torque de los pernos de los cubos						
X	X	X	X		Inspeccionar buen estado de plataforma						
X	X	X	X		Inspeccionar buen estado de controles de mano de equipo.						
X	X	X	X		Inspeccionar funcionamiento de sensor de inclinación y alarma.						
X	X	X	X		Pruebe la velocidad de desplazamiento - Posición elevada o extendida (Revisar manual)						
X	X	X	X		Pruebe la velocidad de desplazamiento - Posición replegada (revisar manual)						
X	X	X	X		Inspeccionar el funcionamiento de los frenos de traccion (Drive brake - revisar manual)						
X	X	X	X		Inspeccionar la plataforma autonivelante						
X	X	X	X		Inspeccionar filtro de retorno, respiradero del tanque hidráulico.						
X	X	X	X		Inspeccionar filtro respiradero del tanque de combustible.						
X	X	X	X		Inspeccionar filtros de media y alta presión hidráulicos.						
X	X	X	X		Inspeccionar funcionamiento apropiado de los frenos de servicio y parqueo						
X	X	X	X		Inspeccionar funcionamiento de parada de emergencia.						
X	X	X	X		Inspeccionar ajuste y buen estado de rodamientos y pernos de rodamientos y pernos de la mesa de rotación.						
X	X	X	X		Inspeccionar funcionamiento apropiado del sistema de elevación de la plataforma.						
X	X	X	X		Inspeccionar buen estado de aros y neumáticos.						
X	X	X	X		Revisar que las tuercas de las ruedas esten correctamente ajustadas						
X	X	X	X		Muestrear aceite hidraulico						
X	X	X	X		Inspeccionar el estado de los tanques de combustible e hidraulicos y sus accesorios						
X	X	X	X		Pruebe la operación del motor en modo ralenti						
X	X	X	X		Inspeccionar estado y funcionamiento apropiado de los cables de extensión y retracción de pluma						
X	X	X	X		Comprobar estanqueidad del sistema hidráulico, eliminar fugas.						
X	X	X	X		Comprobar estanqueidad del tren de potencia, eliminar fugas.						
X	X	X	X		Engrasar puntos de engrase del sistema de dirección, tren de potencia, sistema telescopio y rodamientos de la mesa de rotación.						
X	X	X	X		Revisar y ajustar las RPM del motor						

X	X	X	X	Inspeccionar nivel de refrigerante de motor, rellenar de ser necesario, revisar radiador		
X	X	X	X	Inspeccionar tensión y estado de correas del motor, corregir de ser necesario.		
X	X	X	X	Purgar agua del filtro combustible.		
X	X	X	X	Inspeccionar sistema de admisión y escape del motor.		
X	X	X	X	Cambio de aceite de motor		
X	X	X	x	Muestrear aceite motor		
X	X	X	X	Cambiar filtro de aceite, inspeccionar bombade aceite		
X	X	X	X	Cambio de filtro de combustible		
X	X	X	X	Cambio de filtro separador de agua, inspeccionar bomba de agua		
X	X	X	X	Comprobar estanqueidad del motor de combustión, eliminar fugas.		
X	X	X	X	Inspeccionar pernos de sujeción de canastilla		
X	X	X	X	Cambio de filtro de aire primario (en caso sea necesario)		
X	X	X	X	Revisión y mantenimiento del sistema de arranque y generación (Si corresponde, solo en PM3 y PM4)		
X	X	X	X	Revisión y mantenimiento de la batería		
X	X	X	X	Revisión y mantenimiento del arrancador (Si corresponde, solo en PM4)		
X	X	X	X	Revisión y mantenimiento del alternador (Si corresponde, solo en PM4)		
X	X	X	X	Revisión y cambio de cables en general (Si corresponde, solo en PM3 y PM4)		
X	X	X	X	Revisión y mantenimiento del circuito de luces (todas las lueces exteriores e interiores) (Si corresponde, solo en PM3 y PM4)		
X	X	X	X	Limpieza de caja de fusibles (cambio de fusibles si corresponde)		
X	X	X	X	Revisión de switch de bloqueo eléctrico de conexión de tierra		
X	X	X	X	Limpieza de instrumentos de tablero		
X	X	X	X	Revisión y mantenimiento de los limpia parabrisas (si aplica)		
X	X	X	X	Revisión de los mandos de control (Joysticks), si corresponde.		
X	X	X	X	Revisión y mantenimiento de la operatividad de los tableros de control (si corresponde)		
X	X	X	X	Revisión del estado de fajas y correas (cambio si es necesario)		
X	X	X	X	Revisar funcionamiento de la alarma de retroceso		
X	X	X	X	Revisar el estado/funcionamiento de la chapa corta corriente		
X	X	X	X	Inspeccionar arrancador, motor de arranque, y/o alternador		
	X		X	Cambiar filtros de aire (solo en pm2 y pm4)		
	X		X	Comprobar el espesor de los forro de freno		
X	X	X	X	Inspeccionar estado y funcionamiento apropiado de cilindros hidráulicos		
	X	X	X	Comprobar el juego del cojinete de ruedas		
	X		X	Revisar desgaste de los PADs del boom		
	X		X	Revisar desgaste de los PADs del eje extraíble		
	X		X	Revisar la configuración de rueda libre (Ver manual)		
	X		X	Inspeccionar si hay desgaste Placa giratoria Rodamiento (Ver manual)		
	X		X	Revisar BACKLASH de los engranajes de tornamesa y ajuste de los pernos.		
	X		X	Cambio de aceite de mandos finales		
	X		X	Cambiar aceite del cubo de la mesa de rotación		
	X		X	Comprobar la ausencia de holgura en todas las barras de acoplamiento y en las varillas de dirección		
			X	Cambio de filtros hidraulicos		
			X	Cambiar el aceite hidraulico		
			X	Inspeccionar y cambiar de ser necesario los cables de extension retraccion.		
			X	Cambio o reacondicionamiento de refrigerante		
			X	Calibración de válvulas de motor de combustión		
			X	Revisar inyectores y bombade inyección		

Indique en la tabla cual es la observacion que usted visualiza en la canastilla. Encierre en un circulo donde se encuentra dicha observacion en la imagen adjunta.



OBSERVACIONES EN CANASTILLA

DETALLE

Corrosion	
Daño en la pintura	
Soportes dañados o rotos	
Pedal en mal estado	
Portadocumentos dañado o roto	
Joysticks dañados o rotos	
Luces de canastilla quemadas	
Portaextintor dañado o roto	
Piso de canastilla deformado o rajado	
Barandas dobladas o golpeadas	

AL FINALIZAR EL EQUIPO SE ENCUENTRA:

INOPERATIVO ____

OPERATIVO ____

OPERATIVO CON OBSERVACIONES ____

CONCLUSIONES/ RECOMENDACIONES

OBSERVACIONES SI LAS HUBIESE, OTROS COMENTARIOS

TÉCNICOS A CARGO DEL SERVICIO			ITEM	BACK-LOG DE MANTENIMIENTO
ITEM	NOMBRE	FIRMA		
1			1	
			2	
2			3	
			4	
3			5	
			6	
CONFORMIDAD DE SERVICIO				
SUPERVISOR UNIMAQ			SUPERVISOR SMCV	
Nombre:			Nombre:	
FIRMA			FIRMA	
MANTTO MANLIFT REV.01 Nov /				

ANEXO 2

UNIMAQ		CARTILLA DE SOPLETEO ELÉCTRICO, INSPECCIÓN DE FUGAS Y REVISIÓN DE NIVELES				
EQUIPO	OM		MODELO	SERIE	HOROMETRO	PROGR / NO PROGR
						<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
FECHA	HORA DE INICIO	HORA DE FIN	CANTIDAD DE TÉCNICOS	TOTAL HH	USUARIO	LUGAR DE ATENCIÓN
Al iniciar la labor el equipo se encuentra:						
INOPERATIVO _____		OPERATIVO _____		OPERATIVO CON OBSERVACIONES _____		
ITEM	ACTIVIDADES				ESTADO/OBSERVACION	CHECK
1	Sopleteo e inspección de tableros eléctricos					
2	Sopleteo e inspección de paneles de control					
3	Revisar conectores eléctricos					
4	Revisar conectividad de los Harness del equipo					
5	Sopleteo e inspección de fusibles					
6	Sopleteo e inspección de módulos de control					
7	Sopleteo inspeccion de batería					
8	Inspección del estado de la canastilla					
9	Pruebas de funcionamiento de las luces, circulina, faros, etc de canastilla y chasis					
10	Inspeccionar estado apropiado de los cables de extensión y retracción de pluma					
11	Inspeccionar fugas existentes en el equipo					
12	Inspeccionar nivel de aceite de motor, rellenar de ser necesario					
13	Inspeccionar nivel de refrigerante de motor, rellenar de ser necesario					
14	Engrasar puntos de engrase del sistema de dirección, tren de potencia, sistema telescopio y rodamientos de la mesa de rotación.					

AI FINALIZAR LA LABOR EL EQUIPO SE ENCUENTRA:					
	INOOPERATIVO ____		OPERATIVO ____	OPERATIVO CON OBSERVACIONES ____	
TRABAJOS PENDIENTES POR EJECUTAR Y/O REPUESTOS POR SOLICITAR					
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES					
OBSERVACIONES SI LAS HUBIESE, OTROS COMENTARIOS					
TÉCNICOS A CARGO DEL SERVICIO				REVISIÓN POR SUPERVISIÓN	
ITEM	NOMBRE	HH	FIRMA	SUPERVISOR UNIMAQ S.A.	
1					
2				NOMBRE / FIRMA	
				SUPERVISOR SMCV	USUARIO SMCV
3					
4				NOMBRE / FIRMA	NOMBRES / FIRMA
				SUPERVISOR SMCV	USUARIO SMCV

ANEXO 3

EQUIPO	FECHA	HOROMETRO	SISTEMA	COMPONENTE	CANT TEC	DURACION	HH
MANLIFT051	14/01/2020	4512			2.00	22.50	45
MANLIFT052	15/01/2020	4562			2.00	23.00	46
MANLIFT051	15/01/2020	4515			2.00	22.50	45
MANLIFT052	18/01/2020	4562			2.00	23.00	46
MANLIFT052	25/01/2020	4566	ELECTRICO	FARO	2.00	6.50	13
MANLIFT052	25/01/2020	4566	ELECTRICO	CIRCULINA	2.00	7.00	14
MANLIFT057	26/01/2020	414			2.00	10.50	21
MANLIFT051	26/01/2020	4531	MOTOR	FAJA DE ALTERNADOR	2.00	7.00	14
MANLIFT050	27/01/2020	4005	HIDRAULICO	VALVULA DE MARCHA	2.00	8.50	17
MANLIFT049	28/01/2020	4768			2.00	23.00	46
MANLIFT049	28/01/2020	4768			2.00	7.50	15
MANLIFT049	29/01/2020	4773			2.00	23.00	46
MANLIFT053	02/02/2020	1321			2.00	9.50	19
MANLIFT053	03/02/2020	1330			2.00	10.00	20
MANLIFT053	09/02/2020	1354			2.00	10.50	21
MANLIFT057	14/02/2020	479	ELECTRICO	FARO	2.00	7.00	14

MANLIFT057	14/02/2020	479	ELECTRICO	CIRCULINA	2.00	6.50	13
MANLIFT052	14/02/2020	4647	ELECTRICO	FARO	2.00	7.00	14
MANLIFT049	14/02/2020	4821	ELECTRICO	FARO	2.00	6.50	13
MANLIFT052	15/02/2020	4649	MOTOR	FAJA DE ALTERNADOR	2.00	7.00	14
MANLIFT057	22/02/2020	525	MOTOR	RADIADOR	2.00	7.50	15
MANLIFT052	22/02/2020	4687	HIDRAULICO	MANGUERA	2.00	9.00	18
MANLIFT050	22/02/2020	4061	MOTOR	ARRANCADOR	2.00	6.50	13
MANLIFT050	23/02/2020	4061			2.00	7.00	14
MANLIFT051	11/03/2020	4723			2.00	9.00	18
MANLIFT053	15/06/2020	1396	MOTOR	SELLOS	2.00	8.00	16
MANLIFT052	29/06/2020	4848	ESTRUCTURAL	LLANTAS	2.00	9.50	19
MANLIFT049	29/06/2020	5041	MOTOR	ARRANCADOR	2.00	8.00	16
MANLIFT050	06/07/2020	4243			2.00	9.00	18
MANLIFT049	06/07/2020	5043			2.00	9.50	19
MANLIFT050	27/07/2020	4294	MOTOR	ARRANCADOR	2.00	6.50	13
MANLIFT049	27/07/2020	5100	MOTOR	ARRANCADOR	2.00	7.00	14
MANLIFT057	30/07/2020	656			2.00	6.50	13
MANLIFT050	30/07/2020	4295	MOTOR	BATERIA	2.00	10.00	20

MANLIFT052	05/08/2020	4936	ELECTRICO	FARO	2.00	6.50	13
MANLIFT052	05/08/2020	4936			2.00	11.00	22
MANLIFT049	12/08/2020	5140	MOTOR	BATERIA	2.00	7.50	15
MANLIFT049	14/08/2020	5155			2.00	9.00	18
MANLIFT057	29/08/2020	712	ELECTRICO	FARO	2.00	6.50	13
MANLIFT057	26/10/2021	1830			2.00	23.00	46
MANLIFT051	26/10/2021	6213	MOTOR	RADIADOR	2.00	6.50	13
MANLIFT057	5/11/2021	1862	MOTOR	RADIADOR	2.00	8.00	16
MANLIFT051	5/11/2021	6235	HIDRAULICO	SELLOS	2.00	7.50	15
MANLIFT050	6/11/2021	5263			2.00	9.50	19
MANLIFT049	4/12/2021	6529	MOTOR	RETEN DE CIGÜEÑAL	2.00	8.50	17
MANLIFT049	8/12/2021	6529	MOTOR	RETEN DE CIGÜEÑAL	2.00	11.00	22
MANLIFT049	8/12/2021	6529	ELECTRICO	FARO	2.00	6.50	13
MANLIFT049	9/12/2021	6529	MOTOR	RETEN DE CIGÜEÑAL	2.00	12.00	24
MANLIFT049	9/12/2021	6530.3			2.00	9.00	18
MANLIFT057	10/12/2021	1974			2.00	9.00	18
MANLIFT057	10/12/2021	1974	ESTRUCTURAL	CANASTILLA	2.00	10.50	21
MANLIFT050	11/12/2021	5467	MOTOR	RADIADOR	2.00	8.00	16

MANLIFT049	13/12/2021	6550.6	ESTRUCTURAL	CANASTILLA	2.00	10.50	21
MANLIFT051	19/12/2021	6392			2.00	23.00	46
MANLIFT053	21/12/2021	2254	MOTOR	ALTERNADOR	2.00	8.50	17
MANLIFT057	24/12/2021	2020			2.00	9.50	19
MANLIFT057	26/12/2021	2029	MOTOR	VALVULAS MOTOR	2.00	10.50	21
MANLIFT050	26/12/2021	5509	HIDRAULICO	BLOQUE DE VALVULAS	2.00	10.00	20
MANLIFT049	28/12/2021	6572	MOTOR	BATERIA	2.00	8.50	17
MANLIFT057	03/01/2022	2038	MOTOR	FAJA DE ALTERNADOR	2.00	9.00	18
MANLIFT052	05/01/2022	5630			2.00	10.50	21
MANLIFT050	09/01/2022	5533			2.00	23.00	46
MANLIFT050	10/01/2022	5533	ESTRUCTURAL	PINES DE DIRECCION	2.00	10.50	21
MANLIFT050	10/01/2022	5533	MOTOR	FAJA DE VENTILADOR	2.00	9.00	18
MANLIFT050	10/01/2022	5533	MOTOR	TANQUE REFRIGERANTE	2.00	9.50	19
MANLIFT052	16/01/2022	5655			2.00	9.50	19
MANLIFT053	02/02/2022	2266			2.00	10.00	20
MANLIFT053	07/02/2022	2301			2.00	9.00	18
MANLIFT057	16/02/2022	2134	MOTOR	RADIADOR	2.00	10.50	21
MANLIFT051	16/02/2022	6503	MOTOR	RADIADOR	2.00	9.00	18

MANLIFT049	16/02/2022	6692	MOTOR	RADIADOR	2.00	9.50	19
MANLIFT057	18/02/2022	2145	ELECTRICO	FARO	2.00	7.00	14
MANLIFT057	18/02/2022	2145	MOTOR	RADIADOR	2.00	8.50	17
MANLIFT052	18/02/2022	5716	ELECTRICO	JOYSTICK	2.00	8.00	16
MANLIFT051	24/02/2022	6528	MOTOR	RADIADOR	2.00	8.50	17
MANLIFT049	25/02/2022	6735			2.00	11.00	22
MANLIFT052	04/03/2022	5746	HIDRAULICO	MANGUERA	2.00	12.50	25
MANLIFT050	06/03/2022	5657	HIDRAULICO	BLOQUE DE VALVULAS	2.00	9.00	18
MANLIFT057	12/03/2022	2209			2.00	8.50	17
MANLIFT052	10/07/2022	6069	ESTRUCTURAL	CANASTILLA	2.00	25.50	51
MANLIFT050	11/07/2022	6032	ELECTRICO	HARNESS	2.00	26.00	52
MANLIFT049	12/07/2022	7058	ELECTRICO	HARNESS	2.00	18.00	36
MANLIFT057	18/07/2022	2605			2.00	14.00	28
MANLIFT052	19/07/2022	6080	ELECTRICO	HARNESS	2.00	12.50	25
MANLIFT057	22/07/2022	2608			2.00	8.00	16
MANLIFT052	22/07/2022	6082			2.00	13.00	26
MANLIFT051	22/07/2022	6812			2.00	7.50	15
MANLIFT050	22/07/2022	6046			2.00	7.00	14

MANLIFT049	27/07/2022	7087			2.00	8.50	17
MANLIFT049	27/07/2022	7087	MOTOR	BATERIA	2.00	9.50	19
MANLIFT049	27/07/2022	7087			2.00	14.00	28
MANLIFT052	28/07/2022	6100	ELECTRICO	FARO	2.00	9.00	18
MANLIFT049	29/11/2022	7276	HIDRAULICO	VALVULA	2.00	13.50	27
MANLIFT057	30/11/2022	3012			2.00	8.00	16
MANLIFT050	30/11/2022	6399			2.00	7.50	15
MANLIFT057	1/12/2022	3020	ELECTRICO	FARO	2.00	8.50	17
MANLIFT049	8/12/2022	7288			2.00	11.50	23
MANLIFT049	9/12/2022	7288			2.00	9.50	19
MANLIFT049	9/12/2022	7288	HIDRAULICO	VALVULA	2.00	15.50	31
MANLIFT049	9/12/2022	7288			2.00	12.00	24
MANLIFT049	10/12/2022	7291			2.00	19.50	39
MANLIFT051	14/12/2022	7243	HIDRAULICO	MANGUERA	2.00	7.00	14
MANLIFT053	09/01/2024	2776			2.00	10.00	20
MANLIFT057	10/01/2024	4160	MOTOR	TANQUE REFRIGERANTE	2.00	9.00	18
MANLIFT057	11/01/2024	4163	ELECTRICO	HARNESS	2.00	11.00	22
MANLIFT052	11/01/2024	7495			2.00	11.00	22

MANLIFT053	20/01/2024	2779			2.00	8.00	16
MANLIFT051	21/01/2024	8425	MOTOR	ARRANCADOR	2.00	11.00	22
MANLIFT052	26/01/2024	7557	ELECTRICO	FARO	2.00	9.00	18
MANLIFT057	28/01/2024	4244			2.00	7.50	15
MANLIFT057	28/01/2024	4244	MOTOR	MEDIDOR DE ACEITE	2.00	8.00	16
MANLIFT049	30/01/2024	8395			2.00	7.00	14
MANLIFT049	30/01/2024	8395	MOTOR	FAJA DE ALTERNADOR	2.00	10.50	21
MANLIFT057	05/02/2024	4270			2.00	11.50	23
MANLIFT052	05/02/2024	7586	HIDRAULICO	BLOQUE DE VALVULAS	2.00	9.00	18
MANLIFT051	08/02/2024	8476			2.00	8.50	17
MANLIFT049	09/02/2024	8421			2.00	7.50	15
MANLIFT057	09/02/2024	4278	MOTOR	EMPAQUE TAPA DE BALANCINES	2.00	8.00	16
MANLIFT057	12/02/2024	4291	HIDRAULICO	BLOQUE DE VALVULAS	2.00	10.50	21
MANLIFT049	12/02/2024	8434			2.00	10.50	21
MANLIFT052	14/02/2024	7625	MOTOR	RADIADOR	2.00	10.00	20
MANLIFT052	14/02/2024	7625	HIDRAULICO	BLOQUE DE VALVULAS	2.00	9.50	19
MANLIFT049	14/02/2024	8458	ELECTRICO	HARNESS	2.00	9.00	18

MANLIFT057	16/02/2024	4319	MOTOR	BATERIA	2.00	7.00	14
MANLIFT052	16/02/2024	7644	ELECTRICO	FUSIBLE	2.00	7.00	14
MANLIFT052	19/02/2024	7664	ELECTRICO	FARO	2.00	8.50	17
MANLIFT049	19/02/2024	8494	ELECTRICO	INTERRUPTOR	2.00	11.00	22
MANLIFT052	24/02/2024	7678			2.00	9.50	19
MANLIFT049	27/02/2024	8510			2.00	6.50	13
MANLIFT049	27/02/2024	8510	MOTOR	RADIADOR	2.00	7.00	14
MANLIFT052	04/03/2024	7706			2.00	10.00	20
MANLIFT051	04/03/2024	8584			2.00	10.50	21
MANLIFT052	06/03/2024	7711	ELECTRICO	FUSIBLE	2.00	11.00	22
MANLIFT051	07/03/2024	8601			2.00	14.50	29
MANLIFT057	13/03/2024	4408			2.00	8.00	16
MANLIFT052	14/03/2024	7749			2.00	9.50	19
MANLIFT052	26/04/2024	7940	ESTRUCTURAL	PORTATACOS	2.00	6.00	12
MANLIFT049	26/04/2024	8744	ESTRUCTURAL	PORTATACOS	2.00	7.50	15
MANLIFT052	28/04/2024	7949			2.00	5.00	10
MANLIFT049	28/04/2024	8765			2.00	5.00	10
MANLIFT049	06/05/2024	8806	ELECTRICO	CIRCULINA	2.00	9.00	18

MANLIFT049	08/05/2024	8806	HIDRAULICO	TANQUE HYD	2.00	7.50	15
MANLIFT052	12/05/2024	7979			2.00	11.00	22
MANLIFT049	12/05/2024	8808			2.00	10.50	21
MANLIFT050	15/05/2024	7374	MOTOR	RADIADOR	2.00	13.50	27
MANLIFT050	16/05/2024	7378	MOTOR	RADIADOR	2.00	9.50	19
MANLIFT050	17/05/2024	7379	ELECTRICO	CONECTORES	2.00	11.00	22
MANLIFT050	23/05/2024	7389	MOTOR	RETEN DE CIGÜEÑAL	2.00	22.50	45
MANLIFT049	27/05/2024	8842	ESTRUCTURAL	STICKER	2.00	12.00	24
MANLIFT050	28/05/2024	7400	MOTOR	RETEN DE CIGÜEÑAL	2.00	8.50	17
MANLIFT050	02/06/2024	7406	MOTOR	CARTER	2.00	10.00	20
MANLIFT050	03/06/2024	7409	ELECTRICO	SOLENOIDE	2.00	8.50	17
MANLIFT049	06/06/2024	8875			2.00	7.00	14
MANLIFT049	06/06/2024	8875	HIDRAULICO	BLOQUE DE VALVULAS	2.00	12.00	24
MANLIFT057	08/06/2024	4676			2.00	8.50	17
MANLIFT049	10/06/2024	8891	ELECTRICO	CIRCULINA	2.00	9.00	18
MANLIFT050	11/06/2024	7436			2.00	12.00	24
MANLIFT051	12/06/2024	8763	MOTOR	COUPLING	2.00	11.00	22
MANLIFT052	13/06/2024	8063	MOTOR	SOLENOIDE ACELERACION	2.00	15.00	30

MANLIFT051	15/06/2024	8763	HIDRAULICO	MOTOR HIDRAULICO	2.00	29.00	58
MANLIFT052	16/06/2024	8075			2.00	7.00	14
MANLIFT051	19/06/2024	8763			2.00	7.50	15
MANLIFT051	19/06/2024	8763	MOTOR	SOLENOIDE ACELERACION	2.00	9.00	18
MANLIFT051	20/06/2024	8763	MOTOR	BOMBA ACEITE	2.00	27.00	54
MANLIFT051	20/06/2024	8763	MOTOR	BOMBA ACEITE	2.00	21.00	42
MANLIFT049	28/06/2024	8946	HIDRAULICO	BLOQUE DE VALVULAS	2.00	11.00	22
MANLIFT049	01/07/2024	8948	ESTRUCTURAL	STICKER	2.00	9.00	18
MANLIFT057	04/07/2024	4766	ELECTRICO	FARO	2.00	9.00	18
MANLIFT049	10/07/2024	8977	MOTOR	RADIADOR	2.00	9.00	18
MANLIFT051	11/07/2024	8763	MOTOR	SOLENOIDE ACELERACION	2.00	11.50	23
MANLIFT052	17/07/2024	8142	ESTRUCTURAL	STICKER	2.00	9.00	18
MANLIFT057	20/07/2024	4785			2.00	9.00	18
MANLIFT052	20/07/2024	8152			2.00	7.00	14
MANLIFT049	20/07/2024	9005			2.00	8.50	17
MANLIFT052	21/07/2024	8152	HIDRAULICO	BLOQUE DE VALVULAS	2.00	14.00	28
MANLIFT051	30/07/2024	8763	HIDRAULICO	BOMBA DE ACEITE	2.00	21.50	43
MANLIFT050	03/08/2024	7577			2.00	10.00	20

MANLIFT050	06/08/2024	7580			2.00	11.00	22
MANLIFT050	06/08/2024	7580	MOTOR	BARRA DE ACELERACION	2.00	9.00	18
MANLIFT050	08/08/2024	7582	ELECTRICO	CIRCULINA	2.00	10.50	21
MANLIFT051	10/08/2024	8763	MOTOR	BOMBA REFRIGERANTE	2.00	60.75	121.5
MANLIFT051	18/08/2024	8763	ELECTRICO	FARO	2.00	7.50	15
MANLIFT057	19/08/2024	4887			2.00	10.00	20
MANLIFT049	19/08/2024	9082			2.00	9.50	19
MANLIFT051	20/08/2024	8764	MOTOR	ARRANCADOR	2.00	13.00	26
MANLIFT051	20/08/2024	8764	MOTOR	RADIADOR	2.00	12.00	24
MANLIFT051	20/08/2024	8764	MOTOR	RADIADOR	2.00	8.00	16
MANLIFT051	20/08/2024	8764	MOTOR	ARRANCADOR	2.00	22.00	44
MANLIFT051	20/08/2024	8764	MOTOR	ARRANCADOR	2.00	19.50	39
MANLIFT057	22/08/2024	4893	ELECTRICO	CLAXON	2.00	7.50	15
MANLIFT052	22/08/2024	8223	ELECTRICO	CLAXON	2.00	9.50	19
MANLIFT057	27/08/2024	4911			2.00	9.50	19
MANLIFT050	27/08/2024	7636			2.00	9.50	19
MANLIFT052	28/08/2024	8250	ELECTRICO	SOLENOIDE	2.00	10.50	21
MANLIFT052	28/08/2024	8250	ELECTRICO	CONECTORES	2.00	9.00	18

MANLIFT052	04/09/2024	8278	MOTOR	RETEN DE CIGÜEÑAL	2.00	9.50	19
MANLIFT052	04/09/2024	8278	MOTOR	RADIADOR	2.00	10.00	20
MANLIFT053	06/09/2024	2823	ELECTRICO	SENSOR	2.00	11.50	23
MANLIFT052	06/09/2024	8284	ELECTRICO	CONECTORES	2.00	13.00	26
MANLIFT052	07/09/2024	8287	MOTOR	RADIADOR	2.00	8.50	17
MANLIFT051	07/09/2024	8770	ELECTRICO	JOYSTICK	2.00	7.00	14
MANLIFT051	08/09/2024	8778	ELECTRICO	JOYSTICK	2.00	8.50	17
MANLIFT052	10/09/2024	8295	HIDRAULICO	BLOQUE DE VALVULAS	2.00	11.00	22
MANLIFT051	10/09/2024	8789	ELECTRICO	CONECTORES	2.00	8.50	17
MANLIFT052	12/09/2024	8305	MOTOR	RETEN DE CIGÜEÑAL	2.00	22.20	44.4

ANEXO 4

APLICACIÓN DEL METODO NPR												
UNIDAD DE POTENCIA												
SUBSISTEMAS	COMPONENTE	FUNCION QUE DESEMPEÑA	MODO DE FALLO	EFFECTOS DE LOS FALLOS	CAUSAS DE LOS FALLOS	SEVERIDAD	OCURENCIA	DETECCION	NP	RIESGO		
MOTOR BASICO	MONOBLOCK	Alojar a los componentes del motor (cigüeñal, bielas, pistones) además de diferentes partes móviles	Fugas externas	Fugas de aceite	Retenes desgastados	7	6	2	84	MEDIO		
				Fugas de refrigerante	Fisura del radiador	9	5	2	90	MEDIO		
				Empaques desgastados	Tiempo de uso	4	2	3	24	BAJO		
				Elementos de ajuste (pernos)	Mal montaje	7	3	5	105	ALTO		
			Cilindros desgastados	Fricción entre pistones y anillos con cilindro	Falta de lubricación	8	4	3	96	MEDIO		
				Lubricación deficiente	Baja presión de aceite	9	4	2	72	MEDIO		
				Alta temperatura de funcionamiento	Falta de lubricación/refrigerante	9	2	3	54	MEDIO		
				Contaminación del aceite	Mal proceso mantenimiento	7	2	3	42	MEDIO		
				Avería (rotura)	Vibración	7	2	3	42	MEDIO		
				Falla en funcionamiento	Porosidad del bloque	Mala fabricación	8	2	5	80	MEDIO	
	Desgaste del bloque	Contaminación del aceite	7		2	3	42	MEDIO				
	Ajuste de piezas incorrecto	Mal armado	8		2	2	32	MEDIO				
	Desgaste de guías de válvula	Tiempo de uso	8		4	2	64	MEDIO				
	CULATA	Cerrar las cámaras de combustión (cilindros)	Fugas externas	Elementos de ajuste (pernos)	Alojamientos robados	6	2	3	36	MEDIO		
				Avería	Rajadura en estructura	7	2	6	84	MEDIO		
	ARBOL DE LEVAS	Su función es sincronizar la apertura y cierre de válvulas	Falla en funcionamiento	Desgaste excesivo (fricción)	Falta de lubricación	9	2	3	54	MEDIO		
				Recalentamiento	Temperatura elevada	10	1	2	20	BAJO		
			Lóbulo de leva gastado	Contaminación	Mal proceso mantenimiento	7	4	3	84	MEDIO		
				Fricción	Falta de lubricación	9	2	4	72	MEDIO		
			Eje con deflexión	Vibración torcional	Desgaste de asientos de eje	9	2	4	72	MEDIO		
				Desgaste de bujes	Bujes desgastados	10	1	8	80	MEDIO		
			Bujes de árbol dañado	Avería	Contaminación	8	1	3	24	BAJO		
				Falta de lubricación	Nivel de aceite bajo	10	2	2	40	MEDIO		
			CIGÜEÑAL	Transforma energía liberada en mecánica	Eje con deflexión	Alta vibración	Ajuste inadecuado	9	1	8	72	MEDIO
						Desgaste de cojinetes	Falta de lubricación	9	1	8	72	MEDIO
	Fallo en operación	Sobrecarga mecánica			Calibración errónea	8	2	3	48	MEDIO		
		Lubricación deficiente			Nivel bajo de aceite	7	4	2	56	MEDIO		
	Metales de cigüeñal	Lubricación deficiente			Aceite fuera de especificación	8	2	7	112	ALTO		
		Desgaste de metales			Pérdida de presión aceite	9	2	3	54	MEDIO		
	PISTON	Asegura la estanqueidad en el cilindro y ayuda a la compresión	Anillos de pistón desgastado	Pérdida de compresión	Anillo roto	8	4	4	128	ALTO		
				Exceso de combustible	Mezcla inadecuada	7	2	5	70	MEDIO		
				Presión de combustión incorrecta	Mala calibración	10	1	4	40	MEDIO		
			Grietas en la cabeza del pistón	Inyector Defectuoso	Contaminación de combustible	8	2	6	96	MEDIO		
				Montaje incorrecto de inyector	Mal montaje	10	1	5	50	MEDIO		
				Compresión insuficiente	Desgaste de camisas	9	2	4	72	MEDIO		
				Refrigeración insuficiente	Flujo de refrigerante incorrecto	8	2	3	48	MEDIO		
				Reducción de holgura	Mala calibración	10	2	4	80	MEDIO		
				Tiempos de mando de válvulas incorrectas	Sincronización de engranajes frontales mal	10	2	3	60	MEDIO		
			Daños en falda del pistón	Bulon daña la camisa	Seguro de bulon mal instalado	8	1	3	24	BAJO		
				Cojinetes de biela muy grande	Mala selección	7	1	5	35	MEDIO		
				Falta de lubricación	Desgaste de bomba de aceite	8	2	5	80	MEDIO		
			BIELA	Se utilizan para cambiar el movimiento lineal del pistón en movimiento de rotación	Biela Doblada	Golpes hidráulicos	Ingreso de agua al motor	10	1	1	10	BAJO
						Atascamiento de biela	Contaminación interna	8	2	3	48	MEDIO
						Desgaste de componente	Contaminación externa	8	2	3	48	MEDIO
						Falta de luz entre metal y puño de biela	Mala ajuste de metal	10	1	4	40	MEDIO
					Puños de cigüeñal desgastado	Elementos de ajuste (pernos)	Mal ajuste	9	2	2	36	MEDIO
						Falta de lubricación	Baja presión de aceite	9	2	2	36	MEDIO
	Contaminación de aceite	Mal proceso mantenimiento				7	1	3	21	BAJO		
	Balancín flojo	Mal ajuste				8	1	3	24	BAJO		
	BALANCINES	Tiene como función empujar los puentes de válvulas de admisión y escape para que estas se abran en el momento adecuado	Asiento de balancín desgastado	Ajuste excesivo de balancín	Mal ajuste	8	1	3	24	BAJO		
Falta de lubricación				Baja presión de aceite	9	1	3	27	MEDIO			
Rotura de balancín			Obstrucción de las líneas	Contaminación	7	1	2	14	BAJO			
			Calibración errada de válvulas	Mala calibración	8	2	2	32	MEDIO			

SISTEMA ELECTRICO Y DE ARRANQUE	Alternador	Transforma la energía mecánica en energía eléctrica por medio de sus bobinas	No genera carga	Baterías no cargan	Regulador de voltaje dañado	8	4	3	96	MEDIO
				Motor no arranca	Tiempo de uso	7	3	4	84	MEDIO
			No genera voltaje	Regulador dañado	Tiempo de uso	8	3	5	120	ALTO
				Bobinado quemado	Tiempo de uso	9	3	4	108	ALTO
			Atascamiento	Rotura de faja de motor	Mala regulación	7	4	4	112	ALTO
				Polea rota	Fatiga, tiempo de uso	7	3	5	105	ALTO
	Motor de arranque	Es el encargado de vencer la inercia de los componentes cinemáticos del motor al arrancar	Solenoides se queda pegado	Corto circuito	Cables roto	6	2	4	48	MEDIO
				Elementos sueltos	Falta de ajuste	7	4	4	112	ALTO
				Cableado incorrecto	Mal montaje	8	2	2	32	MEDIO
				Arranque largo	Batería baja	8	3	5	120	ALTO
				Desgaste del resorte	Tiempo de uso	8	3	4	96	MEDIO
				Atasco de inducido deslizante	Tiempo de uso	7	4	4	112	ALTO
Falla en funcionamiento			Escobillas desgastadas	Tiempo de uso	7	4	4	112	ALTO	
			Rele de arraque dañado	Arranque largo	7	3	6	126	ALTO	
			Bendix roto	Alineamiento deficiente	7	1	3	21	BAJO	
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO Y LUBRICACION	Bomba de agua	Llevar líquido refrigerante por los conductos del bloque y culata del motor	Cavitación de la bomba	Reducción en la carga de aspiración	Empaque de bomba desgastado	8	2	5	80	MEDIO
				Línea de succión muy larga	Tubería sobredimensionada	6	2	3	36	MEDIO
			Corrosión	Daños a las aletas del impulsor	Refrigerante fuera de especificación	6	3	6	108	ALTO
					Burbujas de aire	7	3	5	105	ALTO
			Sello mecánico desgastado	Deterioro del impeller	Perno de sujeción roto	6	4	4	96	MEDIO
				Temperatura elevada	Bajo nivel de refrigerante	7	4	4	112	ALTO
			Eje desgastado	Vibración torsional	Rodamientos desgastados	9	2	5	90	MEDIO
				Desgaste en asientos del eje	Deflexión de eje	7	2	5	70	MEDIO
			Fuga externa	Empaques desgastados	Tiempo de uso	9	3	4	108	ALTO
				Pernos sueltos	Falta de ajuste	7	2	6	84	MEDIO
	Atascamiento de bomba	Rotura de polea	Faja desalineada	7	3	5	105	ALTO		
		Rodamientos amarrados	Tiempo de uso	8	3	5	120	ALTO		
	Radiador	Enfriar líquido refrigerante que circula internamente por los conductos para mantener temperatura de trabajo	Fugas	Mangueras dañadas	Picaduras por desgaste	6	3	6	108	ALTO
				Sellos mordidos	Mal montaje	6	3	4	72	MEDIO
				Tinas ticadas	Corrosión	7	3	6	126	ALTO
				Daños por impacto	Elementos sueltos	6	3	8	144	ALTO
			Temperatura elevada	Obstrucción del núcleo	Contaminación	7	4	4	112	ALTO
				Picadura de núcleo	Tiempo de uso	7	2	4	56	MEDIO
			Rendimiento deficiente	Aletas dañadas	Golpes externos	7	4	4	112	ALTO
				Contaminación por aceite	Enfriador de aceite averiado	7	2	3	42	MEDIO
Bomba de aceite	Genera energía para impulsar el flujo del cárter a todo el sistema de lubricación	Carga de succión deficiente	Desprezuriación	Tapa radiador dañado	8	2	8	128	ALTO	
			Abrazaderas	Falta de ajuste	7	3	4	84	MEDIO	
			Dientes de engranales desgastados	Contaminación	6	3	4	72	MEDIO	
		Bloque de rejilla colador	Contaminación	8	3	5	120	ALTO		
		Fisura de tubo de aspiración	Vibración	7	3	5	105	ALTO		
		Elementos sueltos	Vibración	7	4	4	112	ALTO		

Unidad de Potencia	SISTEMA DE COMBUSTIBLE	INYECTOR UNITARIO	Inyecta a combustible a la cámara	Presión de inyección baja	Corto circuito	Cables rotos	7	3	4	84	MEDIO		
					Falso contacto	5	2	7	70	MEDIO			
					Circuito abierto	Cables rotos	7	2	4	56	MEDIO		
					Falta de presión de aceite	Desgaste de inyectores	8	3	7	168	ALTO		
					Fuga de aceite	Falta de angulamiento del plato	8	3	7	168	ALTO		
				Sellos desgastados	Contaminación	7	2	4	56	MEDIO			
				Alta Presión de inyección	Golpeteo de motor	Contaminación en la línea	7	3	5	105	ALTO		
				Solenoides no cierra contacto	Corto circuito	Cables rotos (pelados)	7	2	6	84	MEDIO		
					Circuito abierto	Cable roto	8	2	6	96	MEDIO		
					Falla a tierra	Circuito abierto	7	3	4	84	MEDIO		
				Inyección deficiente	Circuito abierto	Cables rotos	8	3	4	96	MEDIO		
					Sellos desgastados	Contaminación	8	2	8	128	ALTO		
					Corrosión de tobera	Contaminación	7	2	8	112	ALTO		
				BOMBA DE INYECCION	Da presión de combustible a sistema	Baja presión en salida de bomba	Válvula de retención parcialmente	Contaminación, obstrucción de v	7	2	7	98	MEDIO
							Desgaste camisas de pistones	Contaminación	7	3	4	84	MEDIO
	Atascamiento de rodamiento	Tiempo de uso	7				5	4	140	ALTO			
	Ralladura de pistón actuador	Contaminación por agentes extra	8				2	4	64	MEDIO			
	Desgaste de empaquetadura	Tiempo de uso	6				4	4	96	MEDIO			
	Fuga externa	Elementos sueltos	Vibración			7	4	6	168	ALTO			
		Mal ajuste	8			5	5	200	ALTO				
	Ruido	Eje desalineado	Desgaste de asientos de eje			9	5	5	225	ALTO			
		Rodamiento fatigado	Tiempo de uso			7	3	5	105	ALTO			
		Desgaste dientes de engranaje principal	Mal montaje			8	5	6	240	ALTO			
		Contaminación del eje	6			4	4	96	MEDIO				
	BOMBA DE TRANSFERENCIA COMBUSTIBLE	Mantiene la presión de combustible, desde el tanque	Temperatura elevada			Fluido contaminado	Contaminación	6	5	3	90	MEDIO	
						Circuito abierto	Cables rotos	7	5	3	105	ALTO	
						Bloqueo de resorte	Agentes extraños al sistema	6	5	3	90	MEDIO	
			Válvula IAP no abre			Circuito abierto	Cables rotos	7	5	3	105	ALTO	
				Bloqueo de resorte	Agentes extraños al sistema	5	6	3	90	MEDIO			
				Falla de alineación	Mal montaje	7	2	5	70	MEDIO			
			Presión de carga muy baja	Desgaste dientes de engranaje	Contaminación	5	3	3	45	MEDIO			
				Rotura dientes del engranaje	Fatiga	6	2	6	72	MEDIO			
				Desalineamiento del eje	Desgaste de asientos de eje	9	2	7	126	ALTO			
Ruido	Atascamiento de rodamiento	Contaminación	5	3	3	45	MEDIO						
	Falta de fijación de seguros	Vibración, pernos sueltos	8	2	3	48	MEDIO						
	Sobrecalentamiento	Desalineamiento	7	2	5	70	MEDIO						
Corrosión del componente	Ruido contaminado	Contaminación	6	3	3	54	MEDIO						
	Saturación del filtro separador	Falta de mantenimiento	5	3	4	60	MEDIO						
Fuga externa	Falla en los sellos	Contaminación	6	3	3	54	MEDIO						
Obstrucción en la línea de	Presión elevada	Contaminación	6	3	3	54	MEDIO						
REGULADOR DE PRESIÓN DE COMBUSTIBLE	Permite que el combustible regrese al tanque de almacenamiento a una Presión de 5 PSI	Cuerpo de válvula rajado	Avería (rotura)	Fatiga del componente	7	2	6	84	MEDIO				
			Vibración	6	2	5	60	MEDIO					
		Asiento del cierre dañado	Desgaste interno	Contaminación	5	3	3	45	MEDIO				
			Rajadura en el asiento	Contaminación	5	3	3	45	MEDIO				
		Fuga externa	Sellos desgastados	Contaminación	5	2	3	30	MEDIO				
			Partes flojas	Pernos flojos	5	3	4	60	MEDIO				

SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE Y ESCAPE	TURBOCOMPRESOR	Comprime el aire del exterior, enviándolo a la cámara de combustión generando más potencia del motor	Sonido anormal	Desgaste de cojinetes radiales	Temperatura elevada	7	2	3	42	MEDIO
				Desgaste de turbina	Contaminación	9	3	4	108	ALTO
				Falta de aceite de lubricación	Picadura de cañería	6	2	5	60	MEDIO
				Ralladura de los cojinetes	Contaminación	7	2	3	42	MEDIO
				Pase de aceite a admisión	Tiempo de uso	9	3	7	189	ALTO
			Fuga de gases de escape	Empaque soplado	8	3	5	120	ALTO	
				Desgaste de empaques	Mal montaje	9	2	6	108	ALTO
					Pernos robados	8	4	6	192	ALTO
					Mal ajuste	8	3	6	144	ALTO
				Eje desequilibrado	desgaste de alojamientos	Rodamiento desgastado	8	2	5	80
	Ralladura de cojinetes	Falta de lubricación	6		2	3	36	MEDIO		
	VÁLVULA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Dejan pasar el flujo de aire comprimido frío hasta el cilindro del motor, dejan salir gases de la cámara de combustión	Ajuste incorrecto	Sobrecalentamiento válvula	Aceite fuera de parámetros	7	2	3	42	MEDIO
				Contaminación cámara admisión	Fisura de tapa de balancines	8	2	6	96	MEDIO
			Juego para la guía de la válvula demasiado grande	Rotura de la válvula	Mal calibración	9	2	5	90	MEDIO
				Carbonización en la guía de la válvula	Desgaste de materiales	7	2	4	56	MEDIO
			Juego para la guía de la válvula demasiado pequeño	Dificultad de movimiento	Contaminación	6	2	3	36	MEDIO
				Sobrecalentamiento asiento de la válvula	Mal calibración	7	2	4	56	MEDIO
			Combustión deficiente	Falta de lubricación	Aceite fuera de especificación	6	2	3	36	MEDIO
				Dificultad de movimiento	Contaminación	6	1	3	18	BAJO
				Sobrecalentamiento del platillo de la válvula	Mal calibración	7	2	3	42	MEDIO
			Desgaste del vastago de la válvula	Fricción por falta de lubricación	8	1	4	32	MEDIO	
	Temperatura excesiva en la cámara	Aceite fuera de especificación	6	3	3	54	MEDIO			
	Fisura del platillo de válvula	Mal calibración	10	2	4	80	MEDIO			



ANEXO 5

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variable	Metología
Problema general	Objetivo general	La aplicación las técnicas del	VI: Técnicas del	Tecnológico de nivel
¿De qué manera se optimizará la confiabilidad utilizando técnicas del mantenimiento 4.0 en la flota Manlift Diesel modelo Z62/40 de Minera del Sur?	Optimizar la Confiabilidad Implementando Técnicas del Mantenimiento 4.0 a la Flota Manlift Diesel Modelo Z62/40 de Minera del Sur.	mantenimiento 4.0 (Big Data y Cloud Computing) optimizarán la confiabilidad de la flota Manlift Diesel modelo Z62/40 de la Minera del Sur.	mantenimiento 4.0 a la flota Manlift Diesel modelo z62/40	Aplicativo
Problemas específicos	Objetivos específicos		VD1: Optimización de confiabilidad	
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cómo se puede utilizar las técnicas del mantenimiento 4.0 Big data y cloud computing para poder mejorar los costos y tiempos de gestión administrativa usando el software Appsheet? 	<ul style="list-style-type: none"> Utilizar técnicas del mantenimiento 4.0 como el Big Data y Cloud Computing con el fin de mejorar los tiempos y costos de gestión administrativa mediante el software Appsheet 		VD2: Optimización proceso administrativo	
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cómo crear el perfil de planner dentro del software Appsheet que 	<ul style="list-style-type: none"> Crear el perfil de planner dentro del software Appsheet que permita 			

<p>permita generar el plan de mantenimiento que optimice la confiabilidad de la flota Manlift Diesel modelo Z62/40 de Minera del Sur?</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿ De qué manera se puede realizar la jerarquización de los componentes del equipo para generar un detalle de las partes del Manlift Diesel modelo Z62/40 de Minera del Sur? • ¿De qué manera se puede aplicar el método AMFEC con el fin de realizar un análisis de mejora de ahorro de mantenimiento y generación de Cartillas? 	<p>generar el plan de mantenimiento que optimice la confiabilidad de la flota Manlift Diesel modelo Z62/40 de Minera del Sur.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizar la jerarquización por sistemas y subsistemas del equipo para generar un detalle de los componentes del Manlift Diesel modelo Z62/40 de Minera del Sur. • Aplicar el método AMFEC con el fin de realizar un análisis de mejora de ahorro de mantenimiento y generación de cartillas..
--	--

ANEXO 6

TABLA DE VARIABLES

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	índice	Método y técnico
VI: TÉCNICAS DEL MANTENIMIENTO 4.0 A LA FLOTA MANLIFT DIESEL MODELO Z62/40	Métodos utilizados para optimizar el funcionamiento de equipos. Para garantizar la disponibilidad	Son técnicas que se utilizan para el aumento de la confiabilidad de la flota	AMFEC BIGDATA Y CLOUD COMPUTING	Criticidad Aplicaciones	Número Número	Tecnológico Aplicativo
VD1: OPTIMIZACIÓN DE CONFIABILIDAD	Documentos técnicos en el que se enumeran los trabajos de mantenimiento	Documento que enumera actividades de mantenimiento para cada equipo	CARTILLA DE MANTENIMIENTO	Actividades de Mantenimiento	Numero	
	La confiabilidad es el porcentaje o	Reducción de costos y de días de producción que	CONFIABILIDAD	Porcentaje de probabilidad de	Porcentaje	

	probabilidad de un correcto funcionamiento	beneficiaran al cliente.		un correcto funcionamiento	
	Es la reserva de recursos (dinero, energía, materiales, etc.) para su uso futuro, resultante de la diferencia entre ingresos y gastos.	Se mide como la reducción efectiva de recursos en comparación con un consumo base, utilizando indicadores cuantificables como costos, consumo energético o desgaste de materiales.	AHORRO	Reducción de costos de mantenimiento	Soles
VD2: OPTIMIZACIÓN PROCESO ADMINISTRATIVO	Es un recurso medible que permite la organización y ejecución de actividades dentro de un proceso	Se mide en unidades de duración (horas, días, semanas) y se evalúa mediante la reducción de tiempos en tareas administrativas,	TIEMPO	Días de trámite administrativo	Número

administrativo. Su gestión eficiente mejora la productividad y reduce retrasos. optimización de flujos de trabajo y eliminación de actividades innecesarias.

Es la reducción del uso de recursos (dinero, materiales, esfuerzo) sin afectar la calidad ni la eficiencia del proceso.	Se cuantifica mediante indicadores como disminución de costos, reducción de desperdicios y optimización de la asignación de recursos dentro del proceso administrativo.	AHORRO	Costos administrativos	Soles
---	---	--------	------------------------	-------

ANEXO 7



COTIZACIÓN NRO. UAQPR01194



RUC: 20114915028

AREQUIPA, 27 de noviembre de 2024

1047459 - COMPAÑIA MINERA ANTAPACAY S

CAMPAMENTO MINERO TINTAYA SN ESPINAR

MODELO: SERIE:

REF. CLIENTE: REPUESTOS PARA PM - MANLIFT

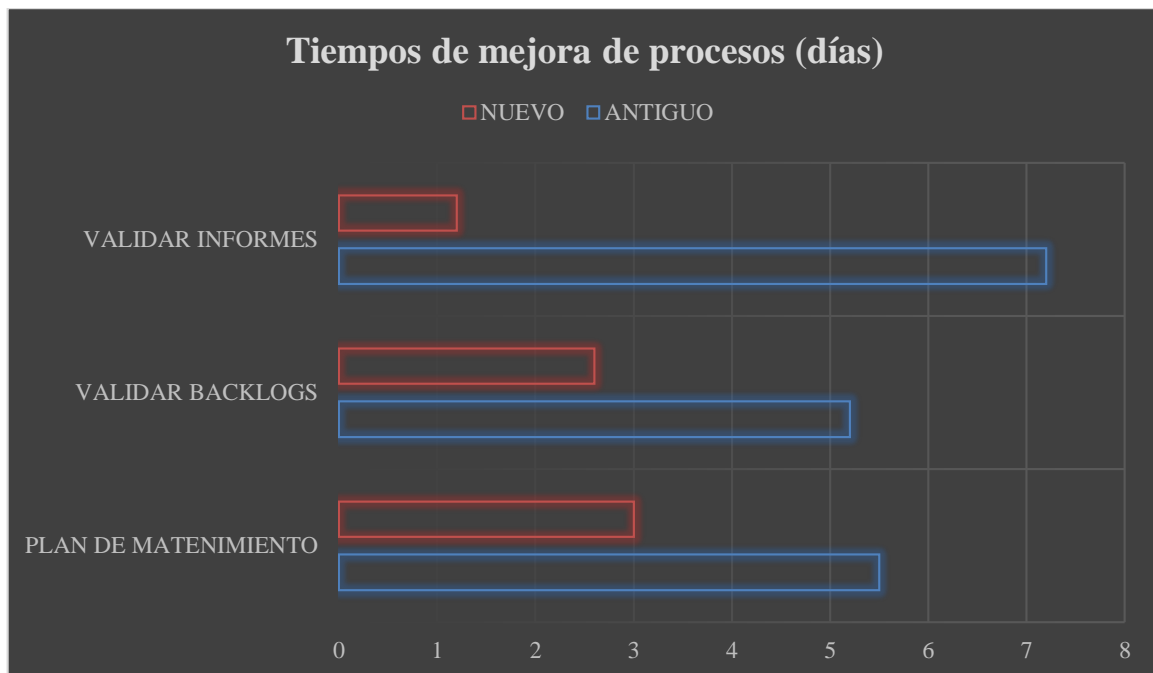
CREADOR: KATHERIN IBETH REATEGUI ÑAUPAC

NRO	CANT	PARTE	DESCRIPCIÓN	VALOR DE VENTA BRUTO	% DESCT.	VALOR DE VENTA (UND) USD	VALOR DE VENTA USD	VALOR DE VENTA (UND) PEN	VALOR DE VENTA PEN
000001	1	TE:94762GT	OIL FILTER - PERKINS	23,13		23,13	23,13	80,05	80,05
000002	1	TE:147826GT	SEPRTR/FLTR,FUEL D	323,85		323,85	323,85	1.246,82	1.246,82
000003	1	TE:62421	(DES)FILTRO DE COMBUSTI	17,94		17,94	17,94	60,07	60,07
000004	1	TE:62420GT	FILTER, AIR	139,42		139,42	139,42	536,77	536,77
000005	2	TE:60857	(DES)FILTER,ELEMENT,BET	77,92		77,92	155,84	290,99	590,98
000006	1	TE:80765GT	BELT, V	103,43		103,43	103,43	398,21	398,21
000007	3	EX:3E9902	CAT DEO 15W40 4LITROS	21,51		21,51	64,53	82,81	248,44
000008	1	EX:8T9582	CAT OO 80W90 5G	98,3		98,30	98,30	378,46	378,46
000009	7	EX:3096931	CAT HYDO ADV10W 5G	118,05		118,05	826,35	454,40	3.181,45

VALOR VENTA	USD	1.752,79	VALOR VENTA	PEN	6.748,24
VALOR I.G.V.	USD	315,50	VALOR I.G.V.	PEN	1.214,68
PRECIO DE VENTA	USD	2.068,29	PRECIO DE VENTA	PEN	7.962,92
PERCEPCION	USD	0,00	PERCEPCION	PEN	0,00
PRECIO VENTA TOTAL	USD	2.068,29	PRECIO VENTA TOTAL	PEN	7.962,92



ANEXO 8



ANEXO 9



Plataformas articuladas autopropulsadas

Z™-62/40

Especificaciones

Modelo	Z-62/40
--------	---------

Dimensiones

Altura máxima de trabajo*	20,87 m
Altura máxima de la plataforma	18,87 m
Alcance horizontal máx.	12,42 m
Altura de la articulación del brazo (máx.)	7,80 m
▲ Longitud de la plataforma - modelo 8 pies / 6 pies	0,91 m / 0,76 m
▲ Ancho de la plataforma - modelo 8 pies / 6 pies	2,44 m / 1,83 m
▲ Altura - replegada	2,54 m
▲ Longitud - replegada	9,25 m
Longitud - transporte (plumín retraído)	7,58 m
▲ Ancho	2,49 m
▲ Distancia entre ejes	2,49 m
▲ Altura libre sobre el suelo - centro	0,41 m

Productividad

Capacidad de elevación	227 kg
Rotación de la plataforma	160°
Rotación vertical del plumín	135°
Rotación de la torreta	360° continua
Voladizo posterior de la plataforma giratoria	ceros
Velocidad de traslación - replegada 4x2 - 4x4	4,8 km/h
Velocidad de traslación - elevada**	1,1 km/h
Pendiente superable - 4x4 - replegada***	45%
Radio de giro - int.	2,36 m
Radio de giro - ext.	5,54 m
Controles	12 V DC proporcionales
Neumáticos	355/55 D625

Potencia

Alimentación	Deutz nivel IIIA 2011 L04i 4 cilindros turbo diésel 55 kW
	Deutz diésel 2.9L4 36 kW
Unidad de alimentación auxiliar	12V DC
Capacidad del depósito hidráulico	132,5 L
Capacidad del depósito de combustible	136,3 L

Niveles de ruido y vibración

Nivel de presión sonora (suelo)	84 dBA
Nivel de presión sonora (plataforma)	75 dBA
Vibración	<2,5 m/s ²

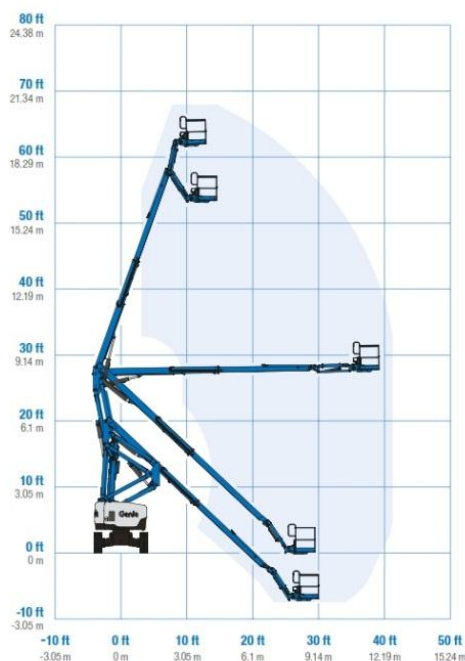
Peso****

CE 4x4 (neumáticos rellenos de aire)	10.281 kg
--------------------------------------	-----------

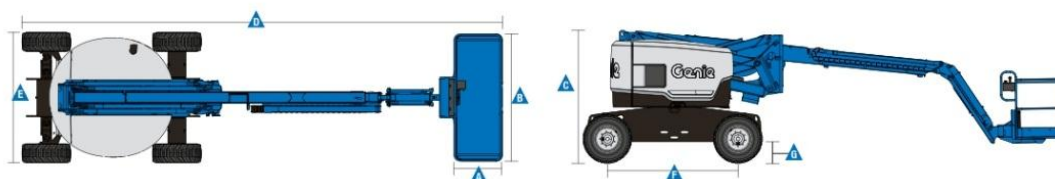
Cumplimiento normativo

Directivas de la UE: 2006/42/
EC - Maquinaria (estándar
armonizado EN280); 2004/108/EC
(Compatibilidad electromagnética);
2000/14/EC (Ruido exterior)

Diagrama de trabajo Z-62/40



* En el sistema métrico, altura de trabajo = altura de la plataforma + 2 m.
** En modo elevación (plataforma elevada), la máquina está diseñada para funcionar solo en superficies firmes y niveladas.
*** La pendiente superable es aplicable al trabajo en pendientes. Consultar en el manual del operario la clasificación de las pendientes.
**** El peso variará en función de las opciones y de la normativa del país.



www.genielift.es

04/17 N. de pieza B1273065P



Plataformas articuladas autopropulsadas

Z™ -62/40

Características

Características estándar	Fácil configuración según sus necesidades	Opciones y accesorios
<p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> Altura de trabajo 20,87 m Alcance horizontal 12,47 m Altura de la articulación del brazo 8,13 m Hasta 227 kg de capacidad de elevación <p>Productividad</p> <ul style="list-style-type: none"> Plataforma con nivelación automática Rotación de plataforma hidráulica Controles totalmente proporcionales Interruptor de dirección acoplado al joystick de traslación Telemático Refrigerador de aceite hidráulico Sistema de validación de la traslación Cableado AC a la plataforma Bocina Contador horario Alarma de inclinación Alarmas de descenso y desplazamiento Luz intermitente 360° de rotación hidráulica continua de la torreta Coberturas de plataforma giratoria con bloqueo Voladizo posterior cero Tracción positiva Motores de rueda de 2 velocidades Conexión de paralelogramo dual para abarcar muros verticalmente Sistema de sobrecarga – cumple la normativa Alarma de contacto Lift Guard™ Zócalos de entrada <p>Potencia</p> <ul style="list-style-type: none"> Unidad de alimentación auxiliar de 12V DC Protección del motor Protección anti-arranque Parada automática del motor en caso de anomalía Calentador de admisión (motor Deutz) 	<p>Tipos de plataformas</p> <ul style="list-style-type: none"> De acero 1,83 m De acero 2,44 m (triple entrada con puerta lateral abatible) - estándar <p>Plumín</p> <ul style="list-style-type: none"> Plumín articulado 1,52 m <p>Tipos de motor</p> <ul style="list-style-type: none"> Deutz nivel IIIA turbo diésel 55 kW Deutz diésel 36 kW <p>Conducción</p> <ul style="list-style-type: none"> 4 x 2 4 x 4 <p>Tipos de eje</p> <ul style="list-style-type: none"> Oscilación activa (estándar en 4x4) No oscilantes <p>Neumáticos</p> <ul style="list-style-type: none"> Todo terreno con espuma Todo terreno, no marcan el suelo (Con espuma) 	<p>Opciones de productividad</p> <ul style="list-style-type: none"> Cesta con rejilla de protección (a media altura) y puerta abatible (no con cesta 3 entradas) Rail auxiliar superior en plataforma Toma de aire en plataforma ⁽¹⁾ Alimentación en la cesta (incluye macho y hembra/cortacircuitos como opción) Kit de luces de trabajo (2 en chasis, 2 en plataforma) Joystick de doble eje Aceite hidráulico biodegradable⁽¹⁾ Kit para condiciones adversas ⁽¹⁾: fuelles de cilindro, sellos rascadores para la pluma y cubiertas de los controles de la cesta y al suelo Kit deluxe para condiciones adversas ^(2,3): añade al kit básico protección central de la torreta, protección de corona dentada, protección de tubo de escape, solapas de cierre de la cobertura del motor y prelimpiador de toma de aire Desconexión en caso de inclinación Track & Trace ⁽³⁾ (GPS para conocer ubicación de la máquina e información sobre el funcionamiento) Soporte de panel ^(1,2) Cubiertas de los controles de la cesta con cierre Estructura protectora del operador <p>Alimentación</p> <ul style="list-style-type: none"> Indicador de revisión del motor Generador AC (110V/60Hz 220V/50Hz, 3000W) ⁽¹⁾ Prelimpiador de toma de aire diésel ^(1,2) Silenciador del depurador catalítico diésel⁽¹⁾ Arranque en frío Calentador de motor ⁽²⁾ Kit de refinera con protección contra las chispas y válvula Chalwyn eléctrica o mecánica ⁽²⁾



⁽¹⁾ Opción solo instalada en fábrica
⁽²⁾ Disponible solo en ciertos modelos. Para más información, consulte a su representante de ventas Genie.
⁽³⁾ Incluye una primera suscripción de 2 años

España y Portugal

Galá, 31 - Pol. Ind. Pla d'en Coll, 08110 Montcada y Reixac, Barcelona, España Tel gratuito : + 34 900 808 110 Tel: + 34 93 572 50 90 Fax: + 34 93 572 50 91 Email AWP-InfoEurope@terex.com
 Visite www.genielift.es/dondesomos para ver nuestra lista de ubicaciones globales.

Fabricación y distribución en todo el mundo

Australia · Brasil · Caribe · América Central · China · Francia · Alemania · Italia · Japón · Corea · México · Rusia · Sudeste de Asia · Suecia · Emiratos Árabes Unidos · España y Portugal · Estados Unidos · Reino Unido

Las especificaciones de productos están sujetas a cambios sin previo aviso ni obligación por parte de Genie. Las fotografías y/o esquemas de este folleto sólo aparecen con fines ilustrativos. Si desea instrucciones sobre el correcto uso de este equipo, consulte el Manual del Operario. El incumplimiento de las instrucciones del manual del operario así como la actuación irresponsable de cualquier tipo por parte del operario pueden causar lesiones graves o la muerte. La única garantía aplicable y que sirve de referencia para los diferentes productos Genie es nuestra garantía contractual validada por nuestros servicios técnicos. No será válida ninguna otra garantía ni oral ni escrita. Los productos y servicios listados pueden ser marcas registradas, patentes, o nombres registrados de Terex Corporation y/o sus filiales en los EE.UU. y en numerosos otros países. Genie es una marca registrada de Terex South Dakota, Inc © 2017 Terex Corporation.



www.genielift.es