Universidad Católica de Santa María

Escuela de Postgrado

Maestría en Ingeniería de Mantenimiento

Implementación de un plan de mantenimiento basado en riesgos para optimizar la gestión de activos físicos en una asociación de empresas metalmecánicas - Caso Ilo.2025

Tesis presentada por:

Rospigliosi Cueva, Fernando Raúl

ORCID: 0009-0005-9827-0942

para optar el Grado Académico de Maestro en Ingeniería de Mantenimiento

Asesor:

Dr. Cáceres Núñez, Augusto Emilio Carlos

ORCID: 0000-0002-2207-9237

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ESCUELA DE POSTGRADO

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 17 de Junio del 2026

Dictamen: 016021-C-EPG-2026

Visto el borrador del expediente 016021, presentado por:

2024006069 - ROSPIGLIOSI CUEVA FERNANDO RAÚL

Titulado:

IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RIESGOS PARA OPTIMIZAR LA GESTIÓN DE ACTIVOS FÍSICOS EN UNA ASOCIACIÓN DE EMPRESAS METALMECÁNICAS - CASO ILO.2025

Nuestro dictamen es:

APROBADO

29388008 - TICSE VILLANUEVA EDWING JESUS
DICTAMINADOR

29479140 - VALENCIA SALAS MARIO JOSE
DICTAMINADOR

29267647 - VALENCIA BECERRA ROLARDI MARIO
DICTAMINADOR

Implementación de un plan de mantenimiento basado en riesgos para optimizar la gestión de activos físicos en una asociación de empresas metalmecánicas - Caso Ilo.2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%	15%	1%	0%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	15%

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	< 1%
Excluir bibliografía	Apagado		

DEDICATORIA

A mis abuelos, Ana Dill-erva Siles y Raúl Rospigliosi Carvallo, por ser mi soporte y ejemplo a seguir, por inculcarme valores que han guiado mi formación como persona, por sus enseñanzas constantes y, sobre todo, por la confianza depositada en mí para desarrollarme en la vida.

A mi padre, Fernando Rospigliosi Dill-erva, por su esfuerzo, dedicación y apoyo incondicional a lo largo de mi crecimiento personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida, la salud y por guiarme en cada etapa, poniendo en mi camino a personas que han sido clave en mi crecimiento.

A Arnulfo André Medina Villegas, por su amistad sincera, por el tiempo que me brindó y por su orientación constante, que fue fundamental para poder desarrollar y culminar este objetivo.

A todos los ingenieros de la escuela, por su dedicación, paciencia y compromiso en la enseñanza, dejando una huella importante en mi formación.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo implementar un plan de mantenimiento basado en riesgos para optimizar la gestión de activos físicos en una asociación de empresas metalmecánicas de la ciudad de Ilo durante el periodo 2024–2025. Para ello, se aplicaron herramientas como el análisis de criticidad, diagramas Jack Knife y el análisis FMECA, permitiendo identificar los activos críticos y establecer estrategias de mantenimiento orientadas a reducir el riesgo de falla.

Los activos evaluados estuvieron conformados principalmente por camiones grúa, montacargas, minibuses, camionetas, combis y retroexcavadoras. Como resultado de la implementación del plan, en el periodo 2024 se obtuvo un promedio de 9.14% en mantenibilidad, 94.59% en disponibilidad y 64.69% en confiabilidad; mientras para el periodo 2025 los indicadores alcanzaron valores de 49.46%, 99.15% y 70.77%, respectivamente, logrando incrementar en 40.32% la mantenibilidad, 4.56% la disponibilidad y 6.08% la confiabilidad.

Asimismo, las estrategias de mantenimiento orientadas al riesgo permitieron reducir las paradas no programadas y disminuir las pérdidas económicas ocasionadas por la indisponibilidad e inoperatividad de los equipos en alquiler, mejorando la continuidad operativa y la rentabilidad de la asociación. Finalmente, se concluye que el mantenimiento basado en riesgos influye positivamente en la optimización de la gestión de activos físicos y en el desempeño operacional de las empresas participantes.

Palabras clave: Mantenimiento basado en el riesgo, gestión de activos físicos, confiabilidad.

ABSTRACT

This research aimed to implement a Risk-Based maintenance plan to optimize the management of physical assets in a metalworking association in the city of Ilo during the period 2024–2025. To achieve this, tools such as criticality analysis, Jackknife diagrams, and FMECA analysis were applied, allowing for the identification of critical assets and the establishment of maintenance strategies aimed at reducing the risk of failure.

The assets evaluated consisted mainly of crane trucks, forklifts, minibuses, pickup trucks, vans, and backhoes. As a result of the plan's implementation, in 2024, an average of 9.14% maintainability, 94.59% availability, and 64.69% reliability were achieved; while in 2025, these indicators reached values of 49.46%, 99.15%, and 70.77%, respectively, resulting in increases of 40.32% in maintainability, 4.56% in availability, and 6.08% in reliability.

Furthermore, Risk-Based maintenance strategies reduced unscheduled downtime and decreased economic losses caused by the unavailability and inoperability of rental equipment, improving operational continuity and the profitability of the association. Finally, it is concluded that Risk-Based maintenance positively influences the optimization of physical asset management and the operational performance of the participating companies.

Keywords: Risk-Based maintenance, physical asset management, reliability.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2

1.1. Datos 2

1.2. Contextualización de las Asociación de Empresas Metalmecánicas 3

1.2.1. Antecedentes de las asociaciones de empresas metal-mecánica 4

1.2.2. Ubicación geográfico y distribución 6

1.2.3. Visión y misión de la empresa 7

1.2.4. Objetivos y análisis FODA de la asociación 7

1.2.5. Integrantes conformados en la asociación. 10

1.3. Producción de la asociación de empresas metalmecánicas 10

1.3.1. Servicios realizados por la asociación de empresas metalmecánicas .10

1.4. Planteamiento del Problema de Investigación 15

1.4.1. Descripción de la realidad del problema 15

1.4.2. Definición del problema 16

1.5. Formulación del problema. 18

1.5.1. Problema general. 18

1.5.2. Problemas específicos. 18

1.6. Justificación de la investigación. 18

1.6.1. Académica 18

1.6.2. Práctica. 19

1.6.3. Relevancia Social. 19

1.6.4. Económica. 19

1.7. Situación o antecedentes de la Problemática: 20

1.8. Formulación de los objetivos. 23
1.8.1. Objetivo general. 23
1.8.2. Objetivos específicos. 23
1.9. Hipótesis 24
1.9.1. Hipótesis General. 24
1.9.2. Hipótesis Específicas 24
1.10. Variables 25
1.10.1. Operacionalización de Variables. 25
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 27
2.1. Antecedentes de la Investigación 27
2.2. Bases Teórico Científicas 37
2.2.1. Definición de mantenimiento 37
2.2.2. Evolución de las Estrategias de Mantenimiento 39
2.2.3. Cambio de Paradigmas del mantenimiento. 46
2.2.4. Pirámide de madurez en mantenimiento. 49
2.2.5. Norma ISO 55000 52
2.2.6. Definición del Mantenimiento Basado en el Riesgo. 53
2.2.7. Comparación entre mantenimiento tradicional, RCM y RBM 56
2.2.8. Contexto Operativo. 57
2.2.9. Estándares de Funciones y Rendimiento. 60
2.2.10. Definición de Fallo 64
2.2.11. Método de Toma de Decisiones Según el Riesgo 67
2.2.12. Estándares de Gestión de Riesgo 68
2.2.13. Evaluación del Riesgo 70
2.2.14. Indicadores de Mantenimiento 73
2.2.15. Indicadores de Mantenimiento aplicados al RBM 80
2.2.16. Análisis Jack Knife Aplicado al Mantenimiento 81
2.2.17. Distribuciones Estadísticas Al Mantenimiento. 83
2.2.18. Proceso de Selección de Estrategias 88
2.2.19. Aplicación del Mantenimiento Basado en el Riesgo 89

2.3. Definición de Términos 97
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA 102
3.1. Tipo de la investigación 102
3.1.1. Investigación básica. 102
3.1.2. Investigación aplicativa. 102
3.2. Metodología del Proyecto 102
3.2.1. Diseño Metodológico. 102
3.2.2. Población, Muestreo y Muestra. 103
3.2.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos. 104
3.2.4. Técnica de Procesamiento y Análisis de Datos. 105
3.2.5. Aspectos Éticos en Investigación. 105
CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS 106
4.1. Implementación de la estrategia de Mantenimiento 106
4.2. Paso 1: Definir el Contexto Operativo 107
4.2.1. Lista de activos físicos 107
4.2.2. Codificación de activos físicos 110
4.2.3. Análisis de criticidad de los activos físicos 115
4.2.4. Cálculo de los indicadores de mantenimiento de activos críticos 126
4.3. Paso 2: Establecer Funciones de los Activos 127
4.4. Paso 3: Determinar los Sistemas de los Activos 141
4.4.1. Primer análisis del historial de fallas de activos críticos 141
4.4.2. Primer cálculo de los indicadores de mantenimiento 166
4.5. Paso 4: Identificar Estados de Falla 167
4.6. Paso 5: Identificar los Modos de Falla 173
4.7. Paso 6: Identificar los Efectos de Falla 187
4.8. Paso 7: Evaluar el Riesgo de los Activos 203
4.9. Paso 8: Establecer la Estrategia de Mantenimiento 218
4.10. Paso 9: Presentación de Resultados 235
4.10.1. Segundo análisis del historial de fallas de activos críticos 235
4.10.2. Segundo cálculo de los indicadores de mantenimiento 255

4.11. Paso 10: Análisis de resultados 256
4.11.1. Mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad del 2024 y 2025. 256
4.11.2. Análisis de Costos y Riesgos del 2024 y 2025.....257
4.12. Contrastación de Hipótesis 271
4.12.1. Contrastación de Hipótesis General. 271
4.12.2. Contrastación de Hipótesis Especificas.....271
4.12.3. Discusión de resultados 272
CONCLUSIONES 274
RECOMENDACIONES 276
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 277
MATRIZ DE CONSISTENCIA ANEXO 1: Matriz de consistencia 288

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1 Clientes de las empresas 5

Tabla 2 Análisis FODA de la empresa de metalmecánicas 9

Tabla 3 Integrantes conformados en la asociación metal mecánica 10

Tabla 4 Matriz de Operacionalización de Variables..... 26

Tabla 5 Comparación entre mantenimiento tradicional, RCM y RBM..... 56

Tabla 6 Diferencias claves de la metodología de mantenimiento RCM Y RBM..... 57

Tabla 7 Parámetros FMECA – Probabilidad de ocurrencia (O)..... 71

Tabla 8 Parámetros FMECA – Severidad (S)..... 72

Tabla 9 Parámetros FMECA – Detectabilidad (D)..... 72

Tabla 10 FMECA – Criticidad (C) 72

Tabla 11 Indicadores de mantenimiento aplicados del RBM..... 80

Tabla 12 *Lista de Activos - Segregación Ilo* 108

Tabla 13 *Lista de Activos - Segregación Toquepala* 108

Tabla 14 *Lista de Activos - Segregación Cuajone*..... 108

Tabla 15 *Lista de Activos– Alquiler de equipos y maquinaria* 109

Tabla 16 *Lista de Activos – Metalmecánica.* 109

Tabla 17 *Lista de Activos– Metalmecánica - continuación.* 110

Tabla 18 *Códigos según tipo de activos de la asociaron de empresas*..... 111

Tabla 19 *Codificación de los activos físicos de la asociaron de empresas* 112

Tabla 20 *Resumen de la Codificación de activos de la asociaron de empresas*.... 114

Tabla 21 Criterios de Criticidad y su Cuantificación..... 116

Tabla 22 Cálculo de Criticidad de los acticos de la asociaron de empresas 118

Tabla 23 Resumen de Criticidad de los Activos de la asociación de empresas..... 124

Tabla 24 1er.Historial de fallas – Camión Grúa Freightliner 1-2-4-CGF-01 141

Tabla 25 1er.Base de Datos del Diagrama Jack knife – 1-2-4-CGF-01 141

Tabla 26 1er.Historial de fallas – Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-01 143

Tabla 27 1er.Base de Datos del Diagrama Jack knife – 1-3-5-CGS-01 144

Tabla 28 1er.Historial de fallas – Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-02 145

Tabla 29 1er.Base de Datos del Diagrama Jack knife – 1-3-5-CGS-02 146

Tabla 30 1er.Historial de fallas – Montacargas 1-3-5-MOK-01..... 147

Tabla 31 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Montacargas 1-3-5-MOK-01..... 148

Tabla 32 1er.Historial de fallas – Montacargas 1-3-5-MOE-01..... 149

Tabla 33 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Montacargas 1-3-5-MOE-01..... 150

Tabla 34 1er.Historial de fallas – Montacargas 1-3-5-MOE-02..... 151

Tabla 35 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Montacargas 1-3-5-MOE-02..... 152

Tabla 36 1er.Historial de fallas – Minibús 1-3-5-MIB-01..... 153

Tabla 37 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Minibús 1-3-5-MIB-01..... 154

Tabla 38 1er.Historial de fallas – Minibús 1-4-2-MIB-03..... 155

Tabla 39 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Minibús 1-4-2-MIB-03..... 156

Tabla 40 1er.Historial de fallas – Minibús 1-5-3-MIB-04..... 157

Tabla 41 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Minibús 1-5-3-MIB-04..... 158

Tabla 42 1er.Historial de fallas – Combi 1-3-5-COC-01 159

Tabla 43 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Combi 1-3-5-COC-01..... 160

Tabla 44 1er.Historial de fallas – Camioneta 1-3-5-CAF-01 161

Tabla 45 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Camioneta 1-3-5-CAF-01..... 162

Tabla 46 1er.Historial de fallas – Camioneta 1-3-5-CAF-02 163

Tabla 47 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Camioneta 1-3-5-CAF-02..... 164

Tabla 48 1er.Historial de fallas – Retroexcavadora 1-3-5-RET-01..... 165

Tabla 49 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Retroexcavadora 1-3-5-RET-01 166

Tabla 50 Indicadores de Mantenimiento de los activos críticos en 2024 167

Tabla 51 Estado de Falla de Camiones Grúa 168

Tabla 52 Estado de Falla del Montacargas 169

Tabla 53 Estado de Falla de Combis-Renault Master y Hyundai Country 170

Tabla 54 Estado de Falla de Camionetas 171

Tabla 55 Estado de Falla de Retroexcavadora 172

Tabla 56 Modo de Fallas del Sistema de Combustible-Camión Grúa 173

Tabla 57 Modo de Fallas del Sistema de Escape-Camión Grúa 173

Tabla 58 Modo de Fallas del Sistema de Refrigeración-Camión Grúa 174

Tabla 59 Modo de Fallas del Sistema de Freno y presión de aire-Camión Grúa .. 174

Tabla 60 Modo de Fallas del Sistema Eléctrico-Camión Grúa..... 174

Tabla 61 Modo de Fallas del Sistema de Grúa-Camión Grúa 175

Tabla 62 Modo de Fallas del Sistema de Admisión-Montacargas 175

Tabla 63 Modo de Fallas del Sistema de Frenos-Montacargas 176

Tabla 64 Modo de Fallas del Sistema de Carga-Montacargas..... 176

Tabla 65 Modo de Fallas del Sistema de Lubricación-Montacargas..... 177

T**abla 66** Modo de Fallas del Sistema de Airea A/C-Montacargas..... 177

Tabla 67 Modo de Fallas del Sistema de Combustible-Montacargas..... 177

Tabla 68 Modo de Fallas del Sistema de Transmisión-Montacargas 178

Tabla 69 Modo de Fallas del Sistema Eléctrico-Montacargas..... 178

Tabla 70 Modo de Fallas del Sistema de Carrocería- Combis..... 178

Tabla 71 Modo de Fallas del Sistema de Dirección- Combis..... 179

Tabla 72 Modo de Fallas del Sistema de Suspensión- Combis 179

Tabla 73 Modo de Fallas del Sistema de Freno- Combis 180

Tabla 74 Modo de Fallas del Sistema de Eléctrico- Combis 180

Tabla 75 Modo de Fallas de Neumáticos- Combis 181

Tabla 76 Modo de Fallas del Sistema de Refrigeración- Combis 181

Tabla 77 Modo de Fallas del Sistema de Lubricación- Camionetas 182

Tabla 78 Modo de Fallas del Sistema de Admisión- Camionetas 182

Tabla 79 Modo de Fallas del Sistema de Dirección- Camionetas 183

Tabla 80 Modo de Fallas del Sistema de Suspensión- Camionetas 183

Tabla 81 Modo de Fallas del Sistema de Frenos- Camionetas 184

Tabla 82 Modo de Fallas del Sistema de Neumáticos- Camionetas 184

Tabla 83 Modo de Fallas del Sistema de Estructura-Retroexcavadora 185

Tabla 84 Modo de Fallas del Sistema Hidráulico-Retroexcavadora 185

Tabla 85 Modo de Fallas del Sistema de Freno-Retroexcavadora 186

Tabla 86 Modo de Fallas del Sistema de Carga-Retroexcavadora 186

Tabla 87 Modo de Fallas del Sistema de Combustible-Retroexcavadora 187

Tabla 88 Efecto de Fallas del Sistema de Combustible-Camión Grúa 188

Tabla 89 Efecto de Fallas del Sistema de Escape-Camión Grúa 188

Tabla 90 Efecto de Fallas del Sistema de Refrigeración-Camión Grúa 188

Tabla 91 Efecto de Fallas del Sistema de Freno y presión de aire-Camión Grúa .. 189

Tabla 92 Efecto de Fallas del Sistema Eléctrico-Camión Grúa 189

Tabla 93 Efecto de Fallas del Sistema de Grúa-Camión Grúa 190

Tabla 94 Efecto de Fallas del Sistema de Admisión-Montacargas 190

Tabla 95 Efecto de Fallas del Sistema de Frenos-Montacargas 190

Tabla 96 Efecto de Fallas del Sistema de Carga-Montacargas 191

Tabla 97 Efecto de Fallas del Sistema de Lubricación-Montacargas 191

Tabla 98 Efecto de Fallas del Sistema de Airea A/C-Montacargas 192

Tabla 99 Efecto de Fallas del Sistema de Combustible-Montacargas 192

Tabla 100 Efecto de Fallas del Sistema de Transmisión-Montacargas 192

Tabla 101 Efecto de Fallas del Sistema Eléctrico-Montacargas..... 193

Tabla 102 Efecto de Fallas del Sistema de Carrocería- Combis..... 193

Tabla 103 Efecto de Fallas del Sistema de Dirección- Combis..... 194

Tabla 104 Efecto de Fallas del Sistema de Suspensión- Combis 194

Tabla 105 Efecto de Fallas del Sistema de Freno- Combis 195

Tabla 106 Efecto de Fallas del Sistema de Eléctrico- Combis 195

Tabla 107 Efecto de Fallas Sistema de Neumáticos- Combis 196

Tabla 108 Efecto de Fallas del Sistema de Refrigeración- Combis..... 196

Tabla 109 Efecto de Fallas del Sistema de Lubricación- Camionetas..... 197

Tabla 110 Efecto de Fallas del Sistema de Admisión- Camionetas 197

Tabla 111 Efecto de Fallas del Sistema de Dirección- Camionetas 198

Tabla 112 Efecto de Fallas del Sistema de Suspensión- Camionetas..... 199

Tabla 113 Efecto de Fallas del Sistema de Frenos- Camionetas 199

Tabla 114 Efecto de Fallas Sistema de Neumáticos- Camionetas..... 200

Tabla 115 Efecto de Fallas del Sistema de Estructura-Retroexcavadora 200

Tabla 116 Efecto de Fallas del Sistema Hidráulico-Retroexcavadora..... 201

Tabla 117 Efecto de Fallas del Sistema de Freno-Retroexcavadora..... 201

Tabla 118 Efecto de Fallas del Sistema de Carga-Retroexcavadora 202

Tabla 119 Efecto de Fallas del Sistema de Combustible-Retroexcavadora 203

Tabla 120 Evaluación de Riesgos del Sistema de Combustible-Camión Grúa 204

Tabla 121 Evaluación de Riesgos del Sistema de Escape-Camión Grúa 204

Tabla 122 Evaluación de Riesgos del Sistema de Refrigeración-Camión Grúa..... 204

Tabla 123 Evaluación de Riesgos del Sistema de Freno -Camión Grúa 205

Tabla 124 Evaluación de Riesgos del Sistema Eléctrico-Camión Grúa 205

Tabla 125 Evaluación de Riesgos del Sistema de Grúa-Camión Grúa..... 205

Tabla 126 Evaluación de Riesgos del Sistema de Admisión-Montacargas..... 206

Tabla 127 Evaluación de Riesgos del Sistema de Frenos-Montacargas..... 206

Tabla 128 Evaluación de Riesgos del Sistema de Carga-Montacargas 206

Tabla 129 Evaluación de Riesgos del Sistema de Lubricación-Montacargas 207

Tabla 130 Evaluación de Riesgos del Sistema de Airea A/C-Montacargas 207

Tabla 131 Evaluación de Riesgos del Sistema de Combustible-Montacargas 208

Tabla 132 Evaluación de Riesgos del Sistema de Transmisión-Montacargas..... 208

Tabla 133 Evaluación de Riesgos del Sistema Eléctrico-Montacargas 208

Tabla 134 Evaluación de Riesgos del Sistema de Carrocería- Combis 209

Tabla 135 Evaluación de Riesgos del Sistema de Dirección- Combis 209

Tabla 136 Evaluación de Riesgos del Sistema de Suspensión- Combis..... 210

Tabla 137 Evaluación de Riesgos del Sistema de Freno- Combis..... 210

Tabla 138 Evaluación de Riesgos del Sistema de Eléctrico- Combis 211

Tabla 139 Evaluación de Riesgos del Sistema de Neumáticos- Combis..... 211

Tabla 140 Evaluación de Riesgos del Sistema de Refrigeración- Combis..... 212

Tabla 141 Evaluación de Riesgos del Sistema de Lubricación- Camionetas 212

Tabla 142 Evaluación de Riesgos del Sistema de Admisión- Camionetas..... 213

Tabla 143 Evaluación de Riesgos del Sistema de Dirección- Camionetas..... 213

Tabla 144 Evaluación de Riesgos del Sistema de Suspensión- Camionetas 214

Tabla 145 Evaluación de Riesgos del Sistema de Frenos- Camionetas..... 214

Tabla 146 Evaluación de Riesgos del Sistema de Neumáticos- Camionetas 215

Tabla 147 Evaluación de Riesgos del Sistema de Estructura-Retroexcavadora..... 215

Tabla 148 Evaluación de Riesgos del Sistema Hidráulico-Retroexcavadora..... 216

Tabla 149 Evaluación de Riesgos del Sistema de Freno-Retroexcavadora 216

Tabla 150 Evaluación de Riesgos del Sistema de Carga-Retroexcavadora..... 217

Tabla 151 Evaluación de Riesgos del Sistema de Combustible-Retroexcavadora. 218

Tabla 152 Estrategia de Mant. del Sistema de Combustible-Camión Grúa 219

Tabla 153 Estrategia de Mant. del Sistema de Escape-Camión Grúa..... 219

Tabla 154 Estrategia de Mant. del Sistema de Refrigeración-Camión Grúa 219

Tabla 155 Estrategia de Mant. del Sistema de Freno -Camión Grúa..... 219

Tabla 156 Estrategia de Mant. del Sistema Eléctrico-Camión Grúa 220

Tabla 157 Estrategia de Mant. del Sistema de Grúa-Camión Grúa 221

Tabla 158 Estrategia de Mant. del Sistema de Admisión-Montacargas 221

Tabla 159 Estrategia de Mant. del Sistema de Frenos-Montacargas 222

Tabla 160 Estrategia de Mant. del Sistema de Carga-Montacargas 222

Tabla 161 Estrategia de Mant. del Sistema de Lubricación-Montacargas..... 223

Tabla 162 Estrategia de Mant. del Sistema de Airea A/C-Montacargas 223

Tabla 163 Estrategia de Mant. del Sistema de Combustible-Montacargas 223

Tabla 164 Estrategia de Mant. del Sistema de Transmisión-Montacargas 223

Tabla 165 Estrategia de Mant. del Sistema Eléctrico-Montacargas 224

Tabla 166 Estrategia de Mant. del Sistema de Carrocería- Combis 225

Tabla 167 Estrategia de Mant. del Sistema de Dirección- Combis 225

Tabla 168 Estrategia de Mant. del Sistema de Suspensión- Combis..... 225

Tabla 169 Estrategia de Mant. del Sistema de Freno- Combis..... 226

Tabla 170 Estrategia de Mant. del Sistema de Eléctrico- Combis..... 227

Tabla 171 Estrategia de Mant. del Sistema de Neumáticos- Combis 228

Tabla 172 Estrategia de Mant. del Sistema de Refrigeración- Combis 229

Tabla 173 Estrategia de Mant. del Sistema de Lubricación- Camionetas 229

Tabla 174 Estrategia de Mant. del Sistema de Admisión- Camionetas 230

Tabla 175 Estrategia de Mant. del Sistema de Dirección- Camionetas 230

Tabla 176 Estrategia de Mant. del Sistema de Suspensión- Camionetas 231

Tabla 177 Estrategia de Mant. del Sistema de Frenos- Camionetas 231

Tabla 178 Estrategia de Mant. del Sistema de Neumáticos- Camionetas 232

Tabla 179 Estrategia de Mant. del Sistema de Estructura-Retroexcavadora 232

Tabla 180 Estrategia de Mant. del Sistema Hidráulico-Retroexcavadora 233

Tabla 181 Estrategia de Mant. del Sistema de Freno-Retroexcavadora 233

Tabla 182 Estrategia de Mant. del Sistema de Carga-Retroexcavadora 234

Tabla 183 Estrategia de Mant. del Sistema de Combustible-Retroexcavadora 235

Tabla 184 1er.Historial de fallas – Camión Grúa Freightliner 1-2-4-CGF-01 236

Tabla 185 1er.Base de Datos del Diagrama Jack knife – 1-3-5-CGS-01 236

Tabla 186 1er.Historial de fallas – Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-01 237

Tabla 187 1er.Base de Datos del Diagrama Jack knife – 1-3-5-CGS-01 237

Tabla 188 1er.Historial de fallas – Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-02 239

Tabla 189 1er.Base de Datos del Diagrama Jack knife – 1-3-5-CGS-02 239

Tabla 190 1er.Historial de fallas – Montacargas 1-3-5-MOK-01 240

Tabla 191 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Montacargas 1-3-5-MOK-01 ... 241

Tabla 192 1er.Historial de fallas – Montacargas 1-3-5-MOE-01 242

Tabla 193 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Montacargas 1-3-5-MOE-01 ... 242

Tabla 194 1er.Historial de fallas – Montacargas 1-3-5-MOE-02 243

Tabla 195 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Montacargas 1-3-5-MOE-02 ... 244

Tabla 196 1er.Historial de fallas – Minibús 1-3-5-MIB-01 245

Tabla 197 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Minibús 1-3-5-MIB-01 245

Tabla 198 1er.Historial de fallas – Minibús 1-4-2-MIB-03 246

Tabla 199 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Minibús 1-4-2-MIB-03..... 246

Tabla 200 1er.Historial de fallas – Minibús 1-5-3-MIB-04..... 248

Tabla 201 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Minibús 1-5-3-MIB-04..... 248

Tabla 202 1er.Historial de fallas – Combi 1-3-5-COC-01 249

Tabla 203 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Combi 1-3-5-COC-01..... 249

Tabla 204 1er.Historial de fallas – Camioneta 1-3-5-CAF-01 251

Tabla 205 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Camioneta 1-3-5-CAF-01..... 251

Tabla 206 1er.Historial de fallas – Camioneta 1-3-5-CAF-02 252

Tabla 207 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Camioneta 1-3-5-CAF-02..... 252

Tabla 208 1er.Historial de fallas – Retroexcavadora 1-3-5-RET-01..... 254

Tabla 209 1er.Base de Datos Diagr. Jack knife–Retroexcavadora 1-3-5-RET-01 254

Tabla 210 Indicadores de Mantenimiento de los activos críticos en 2025 255

Tabla 211 Disponibilidad, Mantenibilidad y Confiabilidad en 2024 256

Tabla 212 Disponibilidad, Mantenibilidad y Confiabilidad en 2025 256

Tabla 213 Costos – Camión Grúa Freightliner 1-2-4-CGF-01..... 257

Tabla 214 Ingreso por alquiler – Camión Grúa Freightliner 1-2-4-CGF-01 258

Tabla 215 Costos – Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-01 258

Tabla 216 Ingreso por alquiler – Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-01 258

Tabla 217 Costos – Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-02 259

Tabla 218 Ingreso por alquiler – Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-02 259

Tabla 219 Costos – Montacargas 1-3-5-MOK-01 260

Tabla 220 Ingreso por alquiler – Montacargas 1-3-5-MOK-01..... 260

Tabla 221 Costos – Montacargas 1-3-5-MOE-01..... 261

Tabla 222 Ingreso por alquiler – Montacargas 1-3-5-MOE-01 261

Tabla 223 Costos – Montacargas 1-3-5-MOE-02..... 262

Tabla 224 Ingreso por alquiler – Montacargas 1-3-5-MOE-02 262

Tabla 225 Costos – Minibús 1-3-5-MIB-01 263

Tabla 226 Ingreso por alquiler – Minibús 1-3-5-MIB-01 263

Tabla 227 Costos – Minibús 1-4-2-MIB-03 264

Tabla 228 Ingreso por alquiler – Minibús 1-4-2-MIB-03 264

Tabla 229 Costos – Minibús 1-5-3-MIB-04 265

Tabla 230 Ingreso por alquiler – Minibús 1-5-3-MIB-04 265

Tabla 231 Costos – Combi 1-3-5-COC-01 266

Tabla 232 Ingreso por alquiler – Combi 1-3-5-COC-01 266

Tabla 233 Costos – Camioneta 1-3-5-CAF-01 267

Tabla 234 Ingreso por alquiler – Camioneta 1-3-5-CAF-01 267

Tabla 235 Costos – Camioneta 1-3-5-CAF-02 268

Tabla 236 Ingreso por alquiler – Camioneta 1-3-5-CAF-02 268

Tabla 237 Costos – Retroexcavadora 1-3-5-RET-01 269

Tabla 238 Ingreso por alquiler – Retroexcavadora 1-3-5-RET-01 269

Tabla 239 Costo de Riesgo y ahorro económico de la asociación 270

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación Geográfica de la Empresa Nck Ingenieros E.I.R.L..... 6

Figura 2 Ubicación Geográfica de la asociación 6

Figura 3 Diagrama Proceso del Servicio de Segregación..... 12

Figura 4 Diagrama Proceso del Servicio de alquiler de equipos y maquinaria 13

Figura 5 Diagrama Proceso de Servicios de Metalmecánica..... 14

Figura 6 Diagrama Proceso de Servicios de Metalmecánica (Continuación) 15

Figura 7 Revolución industrial en el tiempo..... 38

Figura 8 Evolución del mantenimiento - Nuevas expectativas. 40

Figura 9 Evolución del mantenimiento - Nuevas técnicas. 41

Figura 10 Evolución del mantenimiento a lo largo del tiempo 42

Figura 11 Tendencias en la gestión del mantenimiento..... 42

Figura 12 Gestión del mantenimiento, a lo largo del tiempo 43

Figura 13 Evolución de los objetivos del Mantenimiento..... 45

Figura 14 Evolución de las Técnicas de Mantenimiento..... 45

Figura 15 Visión Tradicional de la Falla de Equipos 46

Figura 16 Curva de la bañera..... 47

Figura 17 Seis Patrones de Fallas 47

Figura 18 Pirámide de Madurez en Mantenimiento 50

Figura 19 Etapas del ciclo de vida del activo 52

Figura 20 Esquema de Sistema de Bombeo 58

Figura 21 Diferentes Contextos Operativos 59

Figura 22 Capacidad Inicial vs Rendimiento Deseado..... 62

Figura 23 Características de un Activo Mantenible 63

Figura 24 Características de un Activo no Mantenible 63

Figura 25 Proceso General de Toma de Decisiones de la Generación de Riesgo 69

Figura 26 Elementos de Tiempo de Inactividad y Reparación..... 74

Figura 27 Formula de Tiempo Medio Entre Fallos 75

Figura 28 Formula Tiempo Medio Para Reparación 76

Figura 29 Formula de Disponibilidad..... 78

Figura 30 Formula de Confiabilidad..... 78

Figura 31 Formula de Mantenibilidad 79

Figura 32 Formula de Bernardo..... 79

Figura 33 Ejemplo de Diagrama de Jackknife..... 81

Figura 34 Distribución de Weibull para Distintos Valores de β..... 86

Figura 35 Secuencia de Análisis de MBR 90

Figura 36 Taxonomía de Equipos..... 91

Figura 37 Diagrama de Intervalo P-F 93

Figura 38 Proceso del análisis de Mod y efecto de falla 95

Figura 39 Estructura de Codificación para activos..... 110

Figura 40 Matriz de Criticidad 117

Figura 41 Nivel de Criticidad de los activos de Metalmecánica 121

Figura 42 Nivel de Criticidad de los activos de Segregación Ilo 122

Figura 43 Nivel de Criticidad de los activos de Segregación Toquepala..... 122

Figura 44 Nivel de Criticidad de los activos de Alquiler 123

Figura 45 Nivel de Criticidad de los activos de Segregación Cuajone..... 123

Figura 46 Ficha Técnica de Camión Grúa 1-2-4-CGF-01..... 127

Figura 47 Ficha Técnica de Camión Grúa 1-3-5-CGS-01..... 128

Figura 48 Ficha Técnica de Camión Grúa 1-3-5-CGS-02..... 129

Figura 49 Ficha Técnica de Camión Grúa 1-1-1-CGM-01 130

Figura 50 Ficha Técnica de Montacargas 1-3-5-MOK-01 131

Figura 51 Ficha Técnica de Montacargas 1-3-5-MOE-01..... 132

Figura 52 Ficha Técnica de Montacargas 1-3-5-MOE-02..... 133

Figura 53 Ficha Técnica de Minibús 1-3-5-MIB-01 134

Figura 54 Ficha Técnica de Minibús 1-4-2-MIB-03 135

Figura 55 Ficha Técnica de Minibús 1-5-3-MIB-04 136

Figura 56 Ficha Técnica de Combi 1-3-5-COC-01 137

Figura 57 Ficha Técnica de Camioneta Ford 1-2-4-CAF-01..... 138

Figura 58 Ficha Técnica de Camioneta Ford 1-2-4-CAF-02..... 139

Figura 59 Ficha Técnica de Retroexcavadora Hidromek (102B) 1-3-5-RET-01 ... 140

Figura 60 1er.Diagr. de Jack knife- Camión Grúa Freightliner 1-2-4-CGF-01..... 142

Figura 61 1er.Diagr. de Jack knife- Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-01..... 144

Figura 62 1er.Diagr. de Jack knife- Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-02..... 146

Figura 63 Diagrama de Jack knife- Montacargas 1-3-5-MOK-01 148

Figura 64 Diagrama de Jack knife- Montacargas 1-3-5-MOE-01..... 150

Figura 65 Diagrama de Jack knife- Montacargas 1-3-5-MOE-02..... 152

Figura 66 Diagrama de Jack knife- Minibús 1-3-5-MIB-01 154

Figura 67 Diagrama de Jack knife- Montacargas Minibús 1-4-2-MIB-03..... 156

Figura 68 Diagrama de Jack knife- Montacargas Minibús 1-5-3-MIB-04..... 158

Figura 69 Diagrama de Jack knife- Combi 1-3-5-COC-01 160

Figura 70 Diagrama de Jack knife- Camioneta 1-3-5-CAF-01 162

Figura 71 Diagrama de Jack knife- Camioneta 1-3-5-CAF-02 164

Figura 72 Diagrama de Jack knife- Retroexcavadora 1-3-5-RET-01..... 166

Figura 73 Primer Diagrama de Confiabilidad de Activos Críticos..... 167

Figura 74 1er.Diagr. de Jack knife- Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-01..... 236

Figura 75 1er.Diagr. de Jack knife- Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-01..... 238

Figura 76 1er.Diagr. de Jack knife- Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-02..... 240

Figura 77 Diagrama de Jack knife- Montacargas 1-3-5-MOK-01 241

Figura 78 Diagrama de Jack knife- Montacargas 1-3-5-MOE-01..... 242

Figura 79 Diagrama de Jack knife- Montacargas 1-3-5-MOE-02..... 244

Figura 80 Diagrama de Jack knife- Minibús 1-3-5-MIB-01 246

Figura 81 Diagrama de Jack knife- Montacargas Minibús 1-4-2-MIB-03..... 247

Figura 82 Diagrama de Jack knife- Montacargas Minibús 1-5-3-MIB-04..... 249

Figura 83 Diagrama de Jack knife- Combi 1-3-5-COC-01 250

Figura 84 Diagrama de Jack knife- Camioneta 1-3-5-CAF-01 252

Figura 85 Diagrama de Jack knife- Camioneta 1-3-5-CAF-02 253

Figura 86 Diagrama de Jack knife- Retroexcavadora 1-3-5-RET-01..... 255

Figura 87 Primer Diagrama de Confiabilidad de Activos Críticos..... 255

INTRODUCCIÓN

La presente tesis desarrolla la aplicación de la metodología de Mantenimiento Basado en Riesgo (MBR) en una asociación de empresas del sector metalmecánico de la ciudad de Ilo, región Moquegua, con el objetivo evaluar el impacto de esta metodología en la mejora de la gestión de los activos durante el periodo 2024–2025. Para ello, el estudio se estructura en cuatro capítulos, en los que se desarrollan de manera progresiva los fundamentos teóricos, metodológicos y aplicados de la investigación.

En el Capítulo 1 se analiza el contexto organizacional y operativo de la empresa, considerando su tipo de organización, estructura y sistema de producción. Asimismo, se desarrolla la formulación del problema de investigación, definiendo el problema general y los específicos. Además, se establecen los objetivos, la justificación, los alcances y limitaciones del estudio, así como la definición de variables y la formulación de hipótesis.

El Capítulo 2 corresponde al marco teórico que sustenta la investigación. En esta sección se abordan los fundamentos conceptuales relacionados con la metodología del mantenimiento basado en el riesgo, incluyendo definiciones clave, indicadores utilizados para la evaluación de la gestión de mantenimiento y los criterios aplicados para la determinación de la criticidad de los activos.

En el Capítulo 3 se describe la metodología de investigación empleada, especificando el tipo y diseño de investigación adoptados para el desarrollo del estudio. Asimismo, se define la población y la muestra consideradas, estableciendo los criterios utilizados para su selección y análisis.

En el Capítulo 4 se presenta el desarrollo de la aplicación de la metodología MBR, iniciando con la identificación de las funciones de los equipos y el análisis de criticidad por activo, lo que permite determinar los sistemas críticos mediante la ampliación del Jack knife. Posteriormente, se realiza la descomposición funcional de los equipos para el desarrollo del análisis de modos y efectos de falla (AMEF). Finalmente, se propone la estrategia de mantenimiento y se realiza la evaluación e interpretación de los resultados alcanzados.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Datos

- **Título del Proyecto:**

Implementación de un Plan de Mantenimiento Basado en Riesgos para Optimizar la Gestión de Activos Físicos en una Asociación de Empresas Metalmecánicas - Caso Ilo.2025

- **Línea de Investigación:**

  Línea de investigación Ingeniería de mantenimiento

- **Tipo de Investigación:**

Por su finalidad: Esta investigación corresponde al tipo aplicativa, debido a que su propósito es elaborar un plan de gestión de mantenimiento basado en riesgos, orientado a resolver una problemática concreta en una asociación de empresas metalmecánicas ubicadas en la ciudad de Ilo. Este tipo de investigación busca generar una propuesta que pueda ser implementada para mejorar la gestión de los activos físicos en el entorno empresarial evaluado.

Por su profundidad: se clasifica como una investigación experimental, dado que se intervendrá directamente en los procesos de mantenimiento a través del diseño, validación y posible implementación de un plan estructurado, lo que implica la manipulación de variables relacionadas al riesgo, criticidad y mantenimiento de los activos físicos.

Descriptiva, ya que vas a caracterizar el estado actual de los activos físicos y el mantenimiento. Y también puede ser correlacional o explicativa, si analizas relaciones entre variables como fallas, criticidad, riesgo, etc.

Localización donde se ejecutará el proyecto: La investigación se llevará a cabo en la ciudad de Ilo, ubicada en la provincia de Ilo, departamento de Moquegua, Perú. El estudio se centrará específicamente en una asociación de empresas metalmecánicas que operan dentro del parque industrial de Ilo, donde se encuentran activos físicos relacionados a maquinaria y equipos utilizados en procesos de fabricación, reparación y servicios industriales.

1.2. Contextualización de las Asociación de Empresas Metalmecánicas

Las asociaciones de empresas metalmecánicas surgen como una respuesta a la necesidad de trabajar de manera conjunta frente a los desafíos técnicos, operativos y económicos que caracterizan al sector industrial. A través de la integración de conocimientos, experiencia y recursos, estas organizaciones buscan fortalecer la capacidad productiva de sus miembros y mejorar su competitividad en un entorno cada vez más exigente.

Las empresas que conforman este tipo de asociaciones desarrollan actividades relacionadas con la fabricación, montaje, mantenimiento de estructuras metalmecánicas y alquiler de equipos, vehículos y maquinaria, operando con activos físicos que requieren altos niveles de confiabilidad y seguridad. En este escenario, el mantenimiento deja de ser una actividad reactiva para convertirse en un elemento clave en la gestión operativa, ya que influye directamente en la continuidad de las operaciones, el control de costos y la reducción de riesgos.

Frente a esta realidad, el Mantenimiento Basado en Riesgos (RBM) se presenta como un enfoque adecuado para orientar la toma de decisiones en mantenimiento, al permitir identificar y priorizar los activos y procesos más críticos según la probabilidad y las consecuencias de falla. De esta manera, las empresas pueden enfocar sus recursos en aquellas áreas donde el riesgo es mayor, logrando una gestión más eficiente y alineada con sus objetivos organizacionales.

La presente investigación se desarrolla en un conjunto de empresas del sector metalmecánico de la ciudad de Ilo, conformado por NCK Ingenieros E.I.R.L., Mechanic Plant Ingenieros S.A.C. y Servicios Generales MACKAP E.I.R.L., las cuales se encuentran en proceso de conformación de una asociación empresarial con el objetivo de mejorar su competitividad y gestión operativa. En este contexto, el estudio aborda de manera integrada la gestión de mantenimiento de los activos físicos pertenecientes a dichas organizaciones.

En este marco, la investigación busca contribuir al fortalecimiento de la gestión del mantenimiento mediante la implementación de un enfoque basado en riesgos, orientado a mejorar el desempeño operativo, la confiabilidad de los activos y la sostenibilidad de las empresas involucradas.

1.2.1. Antecedentes de las asociaciones de empresas metal-mecánica

Las asociaciones de empresas metalmecánicas tienen su origen en la necesidad de enfrentar de manera conjunta las exigencias técnicas, operativas y comerciales del sector industrial, especialmente en actividades vinculadas a la minería, la energía y la industria pesada. A lo largo del tiempo, estas asociaciones han permitido a las empresas compartir experiencias, optimizar recursos y fortalecer sus capacidades productivas, contribuyendo al desarrollo industrial y económico de las regiones donde operan.

En el sur del Perú, este tipo de articulaciones empresariales se ha visto impulsado por el crecimiento de la actividad minera e industrial, lo que ha favorecido la creación y consolidación de empresas metalmecánicas orientadas a brindar servicios especializados en diseño, ingeniería, mantenimiento industrial, fabricación y montaje de estructuras metálicas. Muchas de estas empresas han surgido como iniciativas familiares con una visión de crecimiento sostenido y adaptación a las demandas del mercado.

Dentro de este contexto se encuentran diversas empresas del sector metalmecánico de la ciudad de Ilo, entre ellas NCK Ingenieros E.I.R.L., Mechanic Plant Ingenieros S.A.C. y Servicios Generales MACKAP E.I.R.L., las cuales han desarrollado capacidades técnicas y operativas en el ámbito del mantenimiento industrial y la gestión de activos físicos. Asimismo, estas empresas han diversificado sus líneas de negocio, incorporando el alquiler de equipos, vehículos y maquinaria pesada, lo cual incrementa la importancia de garantizar altos niveles de disponibilidad, confiabilidad y eficiencia operativa de sus activos.

En particular, NCK Ingenieros E.I.R.L., fundada en 1999, cuenta con una trayectoria consolidada en servicios de ingeniería, mantenimiento industrial y fabricación de estructuras metálicas. Por su parte, Mechanic Plant Ingenieros S.A.C., en operación desde 2018, desarrolla actividades en ingeniería y mantenimiento, evidenciando un proceso de crecimiento empresarial. Asimismo, Servicios Generales MACKAP E.I.R.L., creada en 2024, se orienta a la construcción, mantenimiento industrial y alquiler de maquinaria, posicionándose como una empresa emergente del sector metalmecánico.

A lo largo de su desarrollo, estas empresas han incorporado progresivamente prácticas de mejora continua, cumplimiento de estándares de seguridad y salud en el trabajo, y gestión ambiental, elementos fundamentales para su sostenibilidad y permanencia en el mercado. Asimismo, han contribuido al fortalecimiento del capital humano mediante la generación de empleo y la capacitación constante de su personal.

En este sentido, la experiencia conjunta de estas organizaciones evidencia la importancia de las asociaciones de empresas metalmecánicas como un mecanismo de articulación productiva, capaz de responder a los desafíos operativos y de gestión, entre ellos la adecuada administración del mantenimiento de los activos físicos. Este aspecto cobra especial relevancia en el contexto actual, donde la eficiencia, confiabilidad y gestión del riesgo se convierten en factores determinantes para la competitividad del sector.

Tabla 1
Clientes de las empresas

CLIENTES SECTOR MINERO
Southern Copper Corporation
Sociedad Minera Cerro Verde
Anglo American Perú
Noatun Logistic
CSE DEL PERU SAC
Terpel
JJC Grupo
Glencore
CHS Multiservice
Ficemín

Nota. Elaboración propia.

1.2.2. Ubicación geográfico y distribución

La presente investigación se desarrolla en la ciudad de Ilo, ubicada en la región Moquegua, Perú, donde operan las empresas del sector metalmecánico objeto de estudio. Como referencia principal, se considera la empresa NCK Ingenieros E.I.R.L., la cual se localiza en el Parque Industrial de Ilo, Mz. Q Lote 9-10, en la zona de Pampa Inalámbrica.

Asimismo, las empresas Mechanic Plant Ingenieros S.A.C. y Servicios Generales MACKAP E.I.R.L. desarrollan sus actividades dentro del mismo entorno geográfico, lo que facilita la articulación operativa y el análisis conjunto de la gestión de mantenimiento de sus activos físicos.

Figura 1

Ubicación Geográfica de la Empresa Nck Ingenieros E.I.R.L



Nota. Tomado de *(Google, 2023)*

Figura 2

Ubicación Geográfica de la asociación



Nota. Tomado de *(Google, 2023)*

1.2.3. Visión y misión de la empresa

Para efectos del presente estudio, se toma como referencia la misión y visión de la empresa NCK Ingenieros E.I.R.L., debido a su trayectoria y representatividad dentro del grupo de empresas analizadas. Estos lineamientos estratégicos constituyen el fundamento para definir objetivos y formular planes enfocados en fortalecer la gestión de activos y el mantenimiento.

- **Visión:**

  "Ser reconocida nacionalmente como una empresa líder en el rubro metalmecánica y manejo de residuos ferrosos y no ferrosos, para el sector industrial y minero, basados en altos estándares de calidad, seguridad y en la excelencia de la gestión, innovación y compromiso de nuestros colaboradores, logrando convertirnos en aliados estratégicos de nuestros clientes."

- **Misión:**

  "Somos una empresa peruana comprometida a contribuir con el desarrollo social y la actividad productiva a nivel nacional, que comercializa soluciones integrales en productos y servicios en el rubro metalmecánico, por medio del diseño, fabricación y montaje de estructuras y en el manejo de residuos ferrosos y no ferrosos, para nuestros clientes cumpliendo con altos estándares de calidad, seguridad generando valor para nuestras partes interesadas."

1.2.4. Objetivos y análisis FODA de la asociación

1.2.4.1. Objetivos.

Las asociaciones de empresas metalmecánicas tienen como finalidad fortalecer el desempeño conjunto de sus integrantes, promoviendo la competitividad, la eficiencia operativa y la sostenibilidad del sector. En este marco, los objetivos se orientan a mejorar la calidad de los servicios prestados, optimizar el uso de los recursos y generar valor tanto para las empresas participantes como para su entorno productivo y social.

En el caso de las empresas objeto de estudio, las cuales se encuentran en proceso de conformación de una asociación empresarial, se establecen los siguientes objetivos:

- Brindar servicios de calidad que satisfagan los requerimientos técnicos y operativos de los clientes del sector industrial y minero.
- Incrementar la rentabilidad y sostenibilidad mediante una gestión eficiente y coordinada de las operaciones.
- Mejorar la productividad a través de la estandarización de procedimientos, control de procesos y registro sistemático de actividades.
- Promover programas de capacitación permanente para el desarrollo técnico y profesional del personal.
- Generar oportunidades de empleo a nivel local y regional, contribuyendo al desarrollo económico.
- Mantener precios competitivos en el mercado de servicios, equipos e insumos.
- Fortalecer las competencias del capital humano, fomentando una cultura de mejora continua.
- Brindar servicios técnicos especializados que contribuyan a la reducción de costos y mejora de productividad de los clientes.
- Consolidarse como un referente del sector metalmecánico, incorporando tecnologías actualizadas y cumpliendo normas de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente.

1.2.4.2. Fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas (FODA).

El análisis FODA constituye una herramienta de diagnóstico estratégico que permite identificar y evaluar los factores internos y externos que influyen en el desempeño organizacional. A través del análisis de fortalezas y debilidades internas, así como de oportunidades y amenazas del entorno, se obtiene una visión integral que facilita la toma de decisiones y la formulación de estrategias orientadas a la mejora continua.

En la Tabla 2 se presenta el análisis FODA correspondiente a la asociación de empresas metalmecánicas en proceso de conformación, considerando la realidad operativa conjunta de las organizaciones analizadas.

Tabla 2

Análisis FODA de la empresa de metalmecánicas

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
• Experiencia acumulada de las empresas en el sector metalmecánico. • Disponibilidad de personal técnico calificado. • Formalización y homologación de las empresas integrantes. • Infraestructura productiva propia (plantas, talleres, equipos y herramientas). • Capacidad para brindar soluciones integrales y flexibilidad productiva según las necesidades del cliente. • Relación estable con el sistema financiero. • Trabajo colaborativo entre las empresas.	• Renovación constante de tecnologías en maquinaria, equipos. • Demanda sostenida de servicios por parte de empresas líderes del sector minero e industrial. • Acceso a contratos de mayor envergadura mediante asociación. • Condiciones para mantener precios competitivos en el mercado regional y nacional. • Crecimiento del mercado de servicios industriales.
DEBILIDADES	**AMENAZAS**
• Ausencia de planes de mantenimiento estructurados. • Limitaciones en la gestión comercial y de ventas a nivel asociativo. • Restricciones de espacio e infraestructura para atender mayores volúmenes de trabajo. • Falta de continuidad y estandarización de procesos entre las empresas integrantes. • Necesidad de fortalecer la gestión del capital humano y la especialización técnica. • Presencia de fallas recurrentes en equipos y activos físicos.	• Elevada competencia por parte de empresas metalmecánicas de alcance local y nacional. • Fluctuación en los precios de los insumos y materiales utilizados en la industria. • Aumento en los costos del combustible y del suministro energético. • Avances tecnológicos continuos que demandan inversiones permanentes para su adopción. • Alza del precio del acero en el mercado internacional. • Suspensión de proyectos mineros como consecuencia de conflictos socioambientales. • Aumento de las tasas de interés aplicadas al financiamiento de las empresas.

Nota. Elaboración propia.

1.2.5. Integrantes conformados en la asociación.

Tabla 3

Integrantes conformados en la asociación metal mecánica

ÁREAS	CANTIDAD DE PERSONAL
Dirección General	1
Área Administrativa	6
Área de Calidad	3
Área de Operaciones	30
Área de Mantenimiento	7
Área de Soldadura	4
Área de Electricidad	2
Área de Metalmecánica	4
Área de Pintura	1
Área de Seguridad	1
TOTAL	**60**

Nota. Elaboración propia.

1.3. Producción de la asociación de empresas metalmecánicas

1.3.1. Servicios realizados por la asociación de empresas metalmecánicas

La asociación de empresas metalmecánicas desarrolla sus actividades productivas mediante la ejecución de servicios industriales orientados principalmente al sector minero e industrial. Estas actividades se realizan, en su mayoría, a través de procesos de licitación y contratación con empresas líderes del sector, como Southern Perú, lo que exige el cumplimiento de altos estándares de calidad, seguridad y plazos de ejecución.

Las empresas que conforman la asociación, entre ellas NCK Ingenieros E.I.R.L., trabajan de manera coordinada en el desarrollo de propuestas de carácter técnico y económico, ya sea de forma conjunta o complementaria. Esta modalidad de trabajo permite incrementar la capacidad operativa, optimizar el uso de los recursos y asumir proyectos de mayor complejidad y alcance, fortaleciendo su posicionamiento en el mercado metalmecánico.

En función de su experiencia operativa, la asociación ha desarrollado diversos tipos de servicios, los cuales responden a las necesidades del sector y a las capacidades técnicas de las empresas integrantes. Entre los principales servicios se encuentran:

- Servicios metalmecánicos relacionados con la fabricación, reparación, montaje y mantenimiento de estructuras y componentes metálicos.
- Ejecución de actividades de desmantelamiento, montaje, limpieza y clasificación de materiales ferrosos y no ferrosos, desarrolladas en operaciones de los sectores minero e industrial.
- Alquiler de equipos, vehículos y maquinaria industrial, tales como camionetas, camiones grúa, montacargas y grupos electrógenos, utilizados como soporte en operaciones productivas y actividades de mantenimiento.

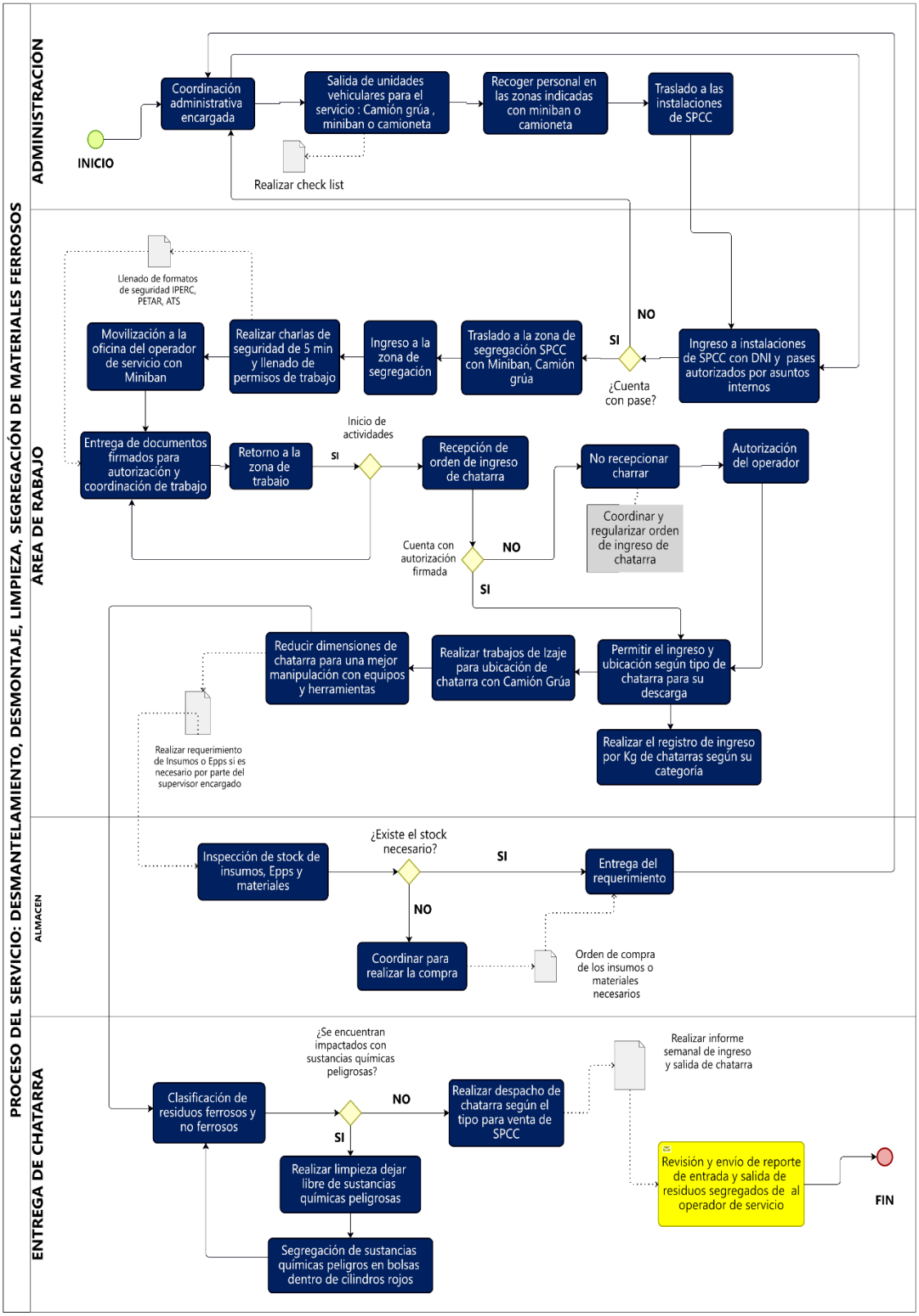
Del análisis de los servicios ejecutados, se identifica que los contratos de carácter anual constituyen una fuente de ingresos sostenibles para la asociación, ya que permiten asegurar la continuidad operativa, mejorar la planificación de recursos humanos y técnicos, y contribuir a la estabilidad económica de las empresas integrantes.

En este contexto, la producción de la asociación se consolida como un elemento clave para su crecimiento y permanencia en el sector metalmecánico, evidenciando la necesidad de optimizar la gestión de sus activos para garantizar la eficiencia y confiabilidad en la prestación de los servicios.

Finalmente, los servicios desarrollados siguen un proceso de trabajo estructurado, el cual se representa mediante diagramas de flujo que se presentan en los apartados siguientes.

Figura 3

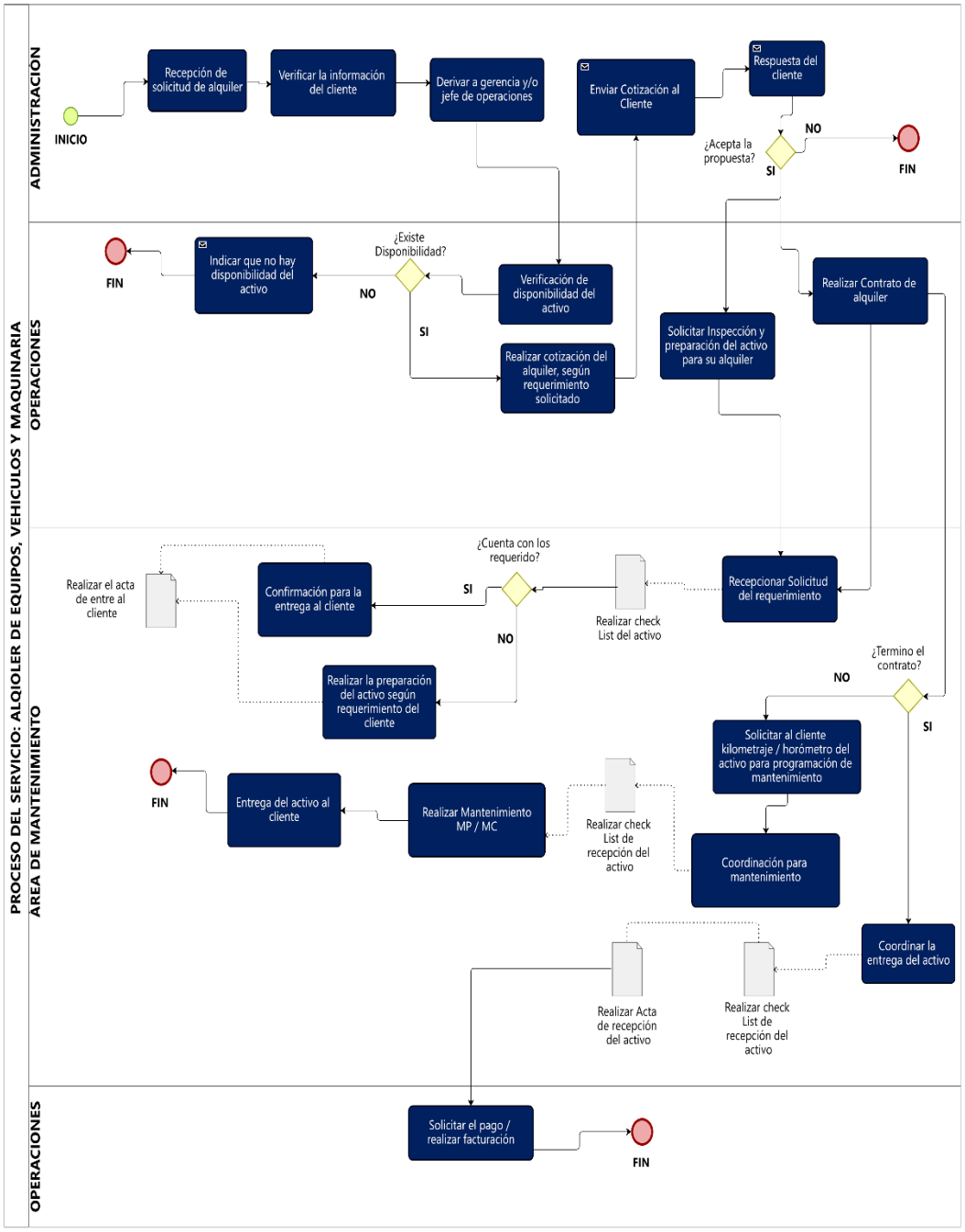
Diagrama Proceso del Servicio de Segregación



Nota. Elaboración propia.

Figura 4

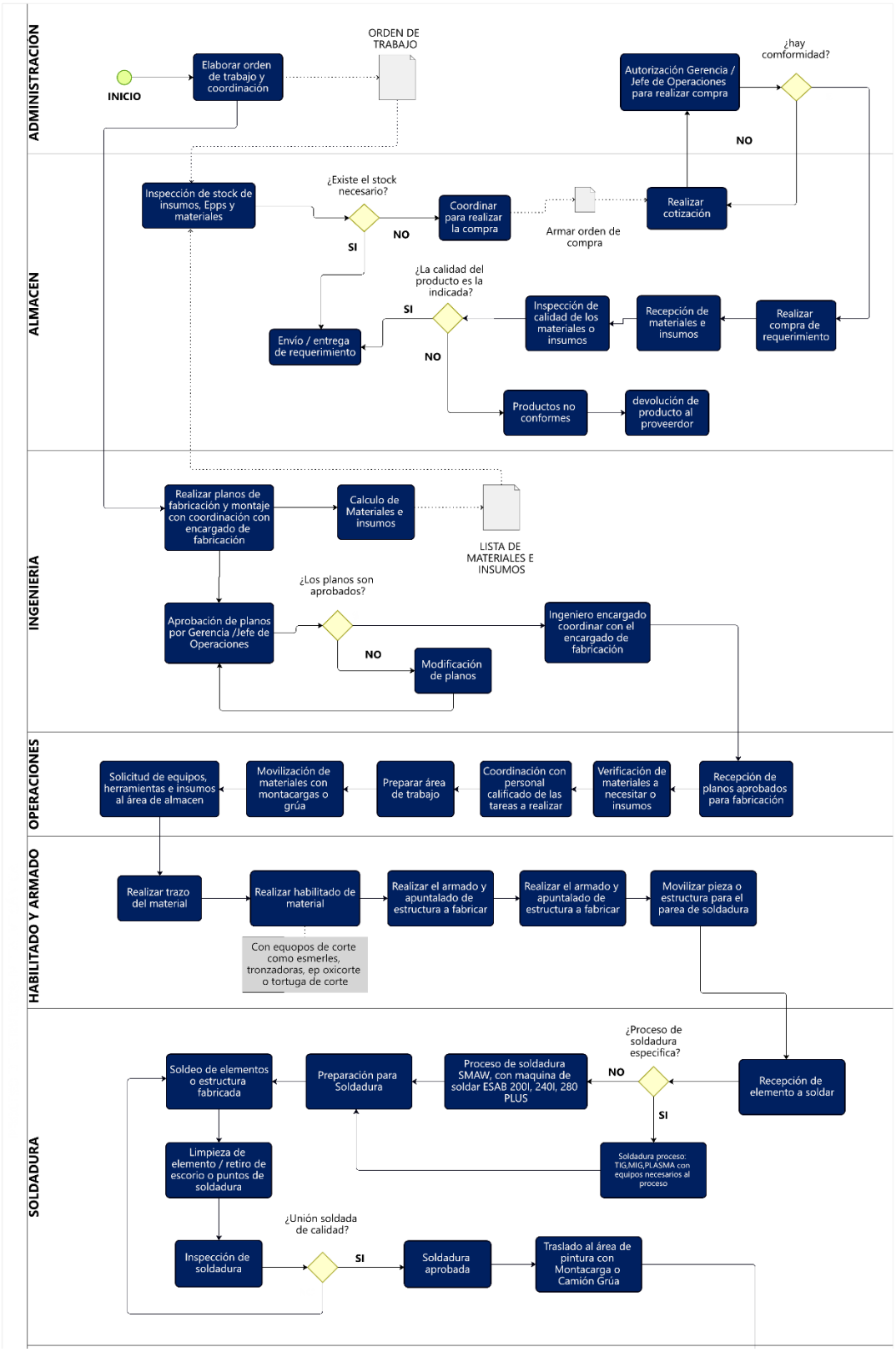
Diagrama Proceso del Servicio de alquiler de equipos y maquinaria



Nota. Elaboración propia.

Figura 5

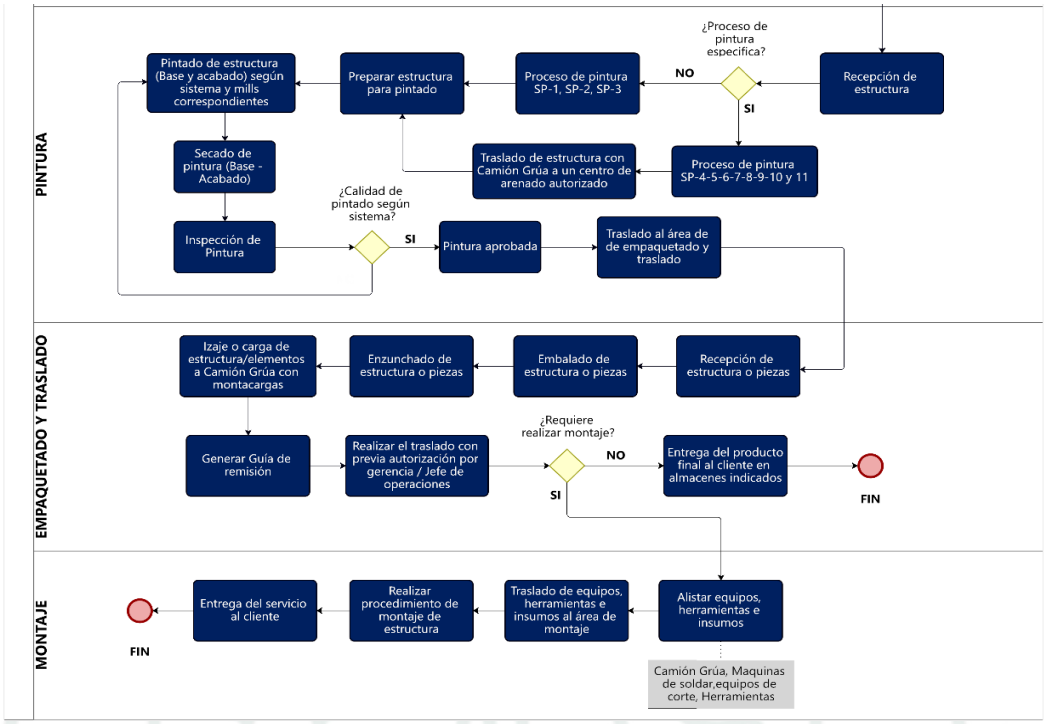
Diagrama Proceso de Servicios de Metalmecánica



Nota. Elaboración propia.

Figura 6

Diagrama Proceso de Servicios de Metalmecánica (Continuación)



Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con los diagramas de flujo presentados, la disponibilidad de los equipos y activos constituye un elemento esencial para la ejecución de las actividades que integran el proceso de prestación del servicio. La falta de disponibilidad de estos recursos puede generar retrasos en la ejecución de los trabajos, afectando el cumplimiento de los plazos establecidos y ocasionando insatisfacción en los clientes.

1.4. Planteamiento del Problema de Investigación

1.4.1. Descripción de la realidad del problema

Actualmente, el sector metalmecánico representa una de las actividades económicas de mayor importancia debido a su participación en el desarrollo de proyectos industriales, mineros y de infraestructura, además de su aporte a la generación de empleo. El crecimiento constante y el elevado nivel de competitividad del sector impulsan a las empresas a implementar procesos permanentes de mejora, mediante estrategias orientadas a fortalecer la calidad de sus procesos productivos y de la prestación de sus servicios.

En este contexto, las empresas metalmecánicas, especialmente aquellas que operan de manera asociativa, requieren no solo invertir en tecnología y equipamiento, sino también fortalecer la gestión de sus activos físicos y las prácticas de mantenimiento. Una adecuada gestión del mantenimiento resulta fundamental para garantizar que los equipos operen en condiciones óptimas, permitiendo cumplir con los plazos, estándares de calidad y niveles de seguridad exigidos por los clientes.

Sin embargo, cuando los activos físicos no reciben un mantenimiento adecuado, se incrementa la probabilidad de fallas inesperadas, generando paradas no programadas, tiempos muertos, sobrecostos operativos y retrasos en la ejecución de los servicios. Estas situaciones afectan directamente la eficiencia del proceso productivo y deterioran la imagen de las empresas frente a sus clientes, comprometiendo su competitividad en el mercado.

En la asociación de empresas metalmecánicas, estas problemáticas se intensifican debido a la diversidad de activos, la alta exigencia operativa y la necesidad de cumplir con contratos de mayor envergadura. Asimismo, la ausencia de un enfoque sistemático para identificar, evaluar y gestionar los riesgos asociados a las fallas limita la capacidad de las empresas para utilizar de manera eficiente sus recursos.

En este sentido, la mejora de la gestión del mantenimiento y la identificación de los factores que inciden en las fallas de los activos se convierte en una necesidad estratégica, orientada a incrementar los niveles de disponibilidad, confiabilidad y seguridad, asegurando la continuidad operativa y el cumplimiento de los objetivos organizacionales.

1.4.2. Definición del problema

Actualmente, la asociación de empresas metalmecánicas no cuenta con un plan de mantenimiento estructurado bajo un enfoque basado en riesgos, lo que ocasiona que la disponibilidad y confiabilidad de sus activos físicos se encuentren por debajo de los niveles requeridos para satisfacer las exigencias operativas y contractuales.

Esta situación se manifiesta en la presencia de fallas recurrentes en maquinaria y equipos, generando retrasos en la ejecución de los servicios, incremento de costos operativos y una alta dependencia del mantenimiento correctivo. Asimismo, el área de mantenimiento presenta un enfoque predominantemente reactivo, actuando principalmente ante la ocurrencia de fallas, con una limitada aplicación de mantenimiento preventivo y una escasa planificación de las actividades.

Adicionalmente, se evidencia desorganización en los procesos de mantenimiento, así como una falta de identificación y priorización de los activos críticos, lo cual limita la eficiencia en la asignación de recursos y en la toma de decisiones. Este enfoque tradicional de mantenimiento resulta poco eficiente, ya que incrementa los tiempos muertos, eleva los costos asociados a las fallas y reduce la capacidad de respuesta frente a eventos no deseados.

Según Moubray (1991), cuando los activos fallan no solo se reduce su capacidad de generar riquezas ni se interrumpen los servicios, sino que nuestra propia supervivencia se ve amenazada.

Ante esta problemática, el presente trabajo de investigación plantea la necesidad de mejorar el proceso productivo de la asociación de empresas metalmecánicas mediante la implementación de la metodología de Mantenimiento Basado en Riesgos (RBM).

Este enfoque permitirá identificar los activos críticos, evaluar los riesgos asociados a sus fallas y priorizar las acciones de mantenimiento en función de su nivel de riesgo, con el objetivo de reducir las paradas no programadas, disminuir los costos derivados de una gestión ineficiente y aumentar los niveles de disponibilidad y confiabilidad de los activos físicos. Si bien metodologías como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) también permiten analizar la criticidad de los equipos, el Mantenimiento Basado en Riesgos (RBM) resulta más adecuado para el contexto de la asociación, al facilitar una priorización más ágil y estratégica de los activos en función de su impacto operativo, optimizando el uso de los recursos disponibles y generando un impacto positivo y sostenible en la operación.

1.5. Formulación del problema.

1.5.1. Problema general.

¿De qué manera la Implementación de un Plan de Mantenimiento Basado en Riesgos influye para Optimizar la Gestión de Activos Físicos en una Asociación de Empresas Metalmecánicas - Caso Ilo.2025?

1.5.2. Problemas específicos.

P1: ¿Cuáles son las principales características del mantenimiento basado en el riesgo aplicables a la asociación de empresas metalmecánicas?

P2: ¿Cuál es el nivel actual de los indicadores de mantenimiento en la asociación de empresas metalmecánicas de la ciudad de Ilo?

P3: ¿Cómo influye el diseño de una estrategia de mantenimiento basada en el riesgo en la gestión de activos físicos?

P4: ¿Qué riesgos están asociados a los activos físicos de mayor criticidad en la asociación de empresas metalmecánicas?

P5: ¿Como influye el plan de mantenimiento basado en el riesgo en los niveles de riesgo y en los indicadores de mantenimiento de los activos físicos críticos de la asociación de empresas?

1.6. Justificación de la investigación.

1.6.1. Académica

Esta investigación contribuirá al desarrollo de la metodología del mantenimiento basado en el riesgo (RBM). A través del análisis de criticidad, FMEA y las matrices de riesgo, se enriquecerá el conocimiento sobre la gestión eficiente de activos en entornos de alta variabilidad, como las PYMES metalmecánicas. El proyecto se apoya en modelos como el Mantenimiento

Centrado en Confiabilidad (RCM), el Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (FMECA) y la norma ISO 55000.

1.6.2. Práctica.

Desde una perspectiva práctica, el plan proporcionará a las organizaciones herramientas y procedimientos claros para priorizar intervenciones en función de la criticidad de los activos, lo que permitirá reducir el número de fallas, mejorar la disponibilidad de los equipos y aumentar la confiabilidad de los procesos. Además, al optimizar los tiempos de respuesta y fortalecer la eficiencia operativa, este enfoque contribuirá a la sostenibilidad y competitividad del grupo empresarial involucrado optimiza recursos y reduce fallas imprevistas, mejorando así la gestión de activos

1.6.3. Relevancia Social.

El proyecto tiene un impacto social significativo, ya que contribuirá al fortalecimiento industrial de la ciudad de Ilo. Una gestión de mantenimiento más eficiente y proactiva se traducirá en mayor productividad, reducción de riesgos operacionales, mejora en la seguridad laboral y generación de empleo técnico calificado. A largo plazo, este tipo de iniciativas contribuyen a consolidar una industria local más sólida, con mayor capacidad de respuesta ante exigencias del mercado y mejores condiciones laborales para sus trabajadores.

1.6.4. Económica.

Desde una perspectiva económica, la investigación adquiere relevancia al proponer un plan de gestión de mantenimiento basado en el riesgo que permitirá optimizar los recursos financieros y maximizar el retorno sobre la inversión en activos físicos. La adecuada priorización de los activos críticos reducirá significativamente los costos asociados a mantenimientos correctivos, tiempos de parada no programados y fallas recurrentes, factores que actualmente impactan de manera negativa en la productividad y rentabilidad de las empresas metalmecánicas de la ciudad de Ilo. Además, el incremento en la disponibilidad y confiabilidad de los equipos contribuirá a mejorar los márgenes operativos, permitiendo que las empresas asignen sus recursos de manera más eficiente. En consecuencia, el diseño

de este plan no solo representa una mejora técnica, sino también una oportunidad estratégica para fortalecer la sostenibilidad económica y competitividad de las organizaciones participantes.

1.7. Situación o antecedentes de la Problemática:

A nivel global, las empresas manufactureras enfrentan una presión creciente para mantener la competitividad frente a los desafíos de calidad, costos y cumplimiento de entregas. En este entorno, juega un papel clave en la disponibilidad de los activos físicos y la eficiencia operativa.

Sin embargo, las malas prácticas de coordinación y gestión del mantenimiento provocan paradas imprevistas, altos costos, disminución de la confiabilidad del sistema y pérdida de ventaja competitiva. A pesar de que el mantenimiento puede representar entre el 15% y 70% de los costos totales de producción, hasta un tercio de esos costos puede considerarse como desperdicio si no se gestiona eficientemente. Muchas organizaciones aún carecen de estructuras sólidas que integren al mantenimiento como un componente estratégico dentro de sus objetivos empresariales (Andrew & Axel, 2022).

En América Latina, las pequeñas y medianas empresas (PYMES) juegan un papel fundamental en el desarrollo económico y social, aportando entre el 35% y 40% del empleo, cerca del 33% del PIB y aproximadamente el 25% de las exportaciones regionales (SELA, 2009). No obstante, enfrentan serias limitaciones en la gestión de mantenimiento, lo cual afecta directamente su competitividad, productividad y sostenibilidad operativa. Uno de los principales problemas identificados es que la mayoría de las PYMES operan con un enfoque predominantemente correctivo, es decir, solo reaccionan ante fallas una vez ocurridas, lo que incrementa los costos de operación, reduce la disponibilidad de los activos y deteriora la calidad del servicio o producto. Además, existen debilidades críticas en los procesos de planificación y mejora continua del mantenimiento, ya que muchas empresas no cuentan con políticas formales, no realizan análisis de criticidad ni aplican metodologías como el RCM o TPM, lo cual limita su capacidad de anticiparse a las fallas y optimizar recursos. A ello se suma la baja inversión en formación y capacitación del personal técnico, lo que deriva en intervenciones ineficaces y en la falta de

criterios técnicos para la toma de decisiones. También se observa una escasa documentación técnica y una débil estructura organizativa del área de mantenimiento. Otro aspecto preocupante es el desconocimiento de indicadores clave como el MTBF, MTTR o la disponibilidad operativa, lo que impide a las PYMES medir su desempeño y refuerza la visión del mantenimiento como un gasto en lugar de una fuente de valor agregado. Finalmente, la cultura de mejora continua es casi inexistente, pues pocas PYMES implementan programas de mantenimiento autónomo o herramientas como las 5S, evidenciando barreras no solo operativas, sino también culturales y gerenciales (Ortiz et al., 2013).

Por otro lado, muchas empresas tienen una percepción equivocada sobre lo que realmente implica contar con un área de mantenimiento de alto nivel. Generalmente, se considera que el mantenimiento representa un alto costo sin retorno para las organizaciones, lo cual suele deberse a la falta de conocimiento sobre el tema. Si bien es cierto que el mantenimiento genera costos, también es cierto que sus beneficios son significativos; sin embargo, estos se desconocen en gran medida debido a una deficiente gestión del mantenimiento. Es innegable que la mayoría de las empresas no son conscientes del costo que implica no contar con una adecuada administración del mantenimiento. Las pérdidas asociadas a la falta de continuidad, eficiencia y productividad de los equipos y máquinas pueden ser considerables

El mantenimiento debería recibir la importancia que merece dentro de las empresas, ya que su impacto en la rentabilidad es crucial. Por ello, en este trabajo de tesis se propone un Programa de Mantenimiento Preventivo, cuyo objetivo es mejorar la eficiencia del proceso productivo mediante un mejor control y atención oportuna de los recursos. Finalmente, a través del análisis realizado a las empresas, se pudo determinar cuál es el principal problema relacionado con el mantenimiento. A partir de ello, se busca definir y proponer un Programa de Mantenimiento Preventivo adecuado, que contribuya a optimizar la productividad empresarial (Cornú Barrón et al., 2010).

En el contexto peruano, esta problemática también se refleja en diversos sectores industriales. Investigaciones realizadas en empresas peruanas evidencian que la mayoría de organizaciones carecen de un enfoque de mantenimiento sistematizado, lo cual repercute directamente en la disponibilidad operativa de sus equipos (Díaz Cavero, 2015). Por ejemplo, en sectores como el transporte y movimiento de tierras, se observa una alta recurrencia de fallas, bajo control de indicadores y escasa planificación de mantenimientos preventivos o predictivos (Braco Ruiz, 2018). Asimismo, Muchas empresas dedicadas al transporte terrestre de carga presentan graves deficiencias en la gestión del mantenimiento de sus vehículos, lo que repercute directamente en su operatividad, incrementa los costos y deteriora la calidad del servicio ofrecido. Aunque el mantenimiento debería ser un pilar fundamental para garantizar la continuidad del negocio y la satisfacción del cliente, con frecuencia es dejado de lado por la alta dirección y las áreas operativas. Un ejemplo claro de esta situación se encuentra en la empresa Servicios de Transportes Rosmar EIRL. Este problema se refleja en la ausencia de una cultura organizacional enfocada en el mantenimiento preventivo y planificado, la falta de líderes capacitados en gestión y la poca articulación con otras áreas estratégicas de la empresa. Como consecuencia, predominan las acciones correctivas que superan el 30% del total de mantenimientos, se generan paradas imprevistas, los tiempos de reparación se alargan, los costos operativos aumentan y la disponibilidad de las unidades disminuye, afectando tanto la eficiencia del servicio como la rentabilidad del negocio. No se trata de un caso aislado. Esta situación se repite en muchas partes del país, afectando el crecimiento económico y la competitividad del sector logístico. Gran parte de las pequeñas y medianas empresas del rubro carecen de planes de negocio sólidos y no cuentan con indicadores de desempeño que les permitan evaluar ni mejorar la gestión de mantenimiento (Rosales López, 2022).

A nivel local, en la ciudad de Ilo, las empresas metalmecánicas muchas de las cuales conforman asociaciones orientadas al mantenimiento industrial y servicios a gran escala, especialmente para el sector minero enfrentan limitaciones similares. A pesar de contar con equipos clave como generadores,

montacargas, tornos, compresoras, máquinas de soldar y otros activos estratégicos, estas empresas no disponen de planes de mantenimiento estructurados ni metodologías de priorización por riesgo. Esta situación impacta negativamente en sus principales indicadores de mantenimiento, como la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, reduciendo su eficiencia operativa y su capacidad de respuesta ante exigencias del mercado.

Frente a este escenario, se vuelve indispensable el diseño de un plan de gestión de mantenimiento basado en el riesgo, que permita a esta asociación de empresas metalmecánicas jerarquizar los activos físicos, optimizar el uso de recursos, reducir la frecuencia de fallas y mejorar los principales indicadores de mantenimiento, tales como la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad. Esta propuesta contribuirá no solo a fortalecer la gestión de activos físicos en un entorno local competitivo, sino también a fomentar una cultura organizacional orientada a la sostenibilidad operativa.

1.8. Formulación de los objetivos.

1.8.1. Objetivo general.

Implementar un Plan de Mantenimiento Basado en Riesgos para Optimizar la Gestión de Activos Físicos en una Asociación de Empresas Metalmecánicas - Caso Ilo.2025

1.8.2. Objetivos específicos.

O1: Identificar las principales características del mantenimiento basado en el riesgo aplicables a la asociación de empresas metalmecánicas.

O2: Evaluar el nivel actual de los indicadores de mantenimiento en la asociación de empresas metalmecánicas de la ciudad de Ilo.

O3: Analizar la influencia de una estrategia de mantenimiento basada en el riesgo en la gestión de activos físicos.

O4: Identificar y evaluar los riesgos asociados a los activos físicos de mayor criticidad en la asociación de empresas metalmecánicas.

O5: Comparar los riesgos y los indicadores de los activos físicos críticos antes y después de la aplicación del plan de mantenimiento Basado en Riesgos.

1.9. Hipótesis

1.9.1. Hipótesis General.

La Implementación de un Plan de Mantenimiento Basado en Riesgos podría optimizar significativamente la Gestión de Activos Físicos en una Asociación de Empresas Metalmecánicas - Caso Ilo 2025.

1.9.2. Hipótesis Específicas.

H1: Las características del mantenimiento basado en el riesgo son aplicables y beneficiosas para la realidad operativa de la asociación de empresas metalmecánicas.

H2: El análisis de los indicadores actuales permite identificar oportunidades de mejora mediante un enfoque basado en el riesgo.

H3: La implementación de estrategias de mantenimiento basadas en el riesgo influye positivamente en la eficiencia de la gestión de activos físicos.

H4: La identificación de riesgos en activos críticos permite priorizar acciones de mantenimiento que impacten positivamente en los indicadores de desempeño.

H5: La aplicación del plan de mantenimiento basado en riesgos reduce significativamente los niveles de riesgo y mejora los indicadores de mantenimiento de los activos físicos críticos, en comparación con la situación previa a su implementación.

1.10. Variables

1.10.1. Operacionalización de Variables.

1.10.1.1. Variable I: Mantenimiento Basado en el riesgo

Según Infraspeak (2021), el mantenimiento basado en el riesgo es una estrategia avanzada que permite priorizar las acciones de mantenimiento según el nivel de exposición al riesgo que presentan los activos. Esta metodología evalúa tanto la probabilidad de ocurrencia de una falla como el impacto que esta tendría en aspectos como la seguridad, el medio ambiente y la producción, con el fin de asignar de manera eficiente los recursos y prevenir incidentes críticos. Es ampliamente utilizada en sectores industriales complejos donde una falla puede tener consecuencias significativas.

1.10.1.2. Variable II: Indicadores de Mantenimiento

Según Fracttal (2024), un Indicador Clave de Desempeño (KPI) en el ámbito del mantenimiento representa una herramienta esencial que permite cuantificar y analizar el rendimiento de las tareas de mantenimiento dentro de una organización. Estos indicadores actúan como referentes estratégicos que ofrecen una perspectiva precisa y medible sobre la eficacia en la administración de activos y equipos.

Tabla 4

Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLES		DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES	INSTRUMENTOS	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable Independiente	Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR)	Según Basson (2019), es un proceso que permite definir el nivel mínimo de mantenimiento y estrategias de gestión del riesgo para garantizar niveles aceptables de seguridad, confiabilidad y desempeño de los activos físicos.	La estrategia de MBR se operacionaliza mediante el análisis de criticidad, jerarquización de activos, y ajuste del plan de mantenimiento según niveles de riesgo.	Gestión de Riesgo	Nivel de Priorización de Riesgo	Cuestionario / Ficha Técnica	Ordinal (Alta, Media, Baja)
				Evaluación de criticidad	Número de activos críticos identificados	Cuestionario / Ficha técnica	Escala ordinal (Alta, Media, Baja) Número de fallas (escala de razón)
				Identificación de riesgos	Tipos de fallas asociadas a activos críticos Riesgos operacionales predominantes	AMEF (Análisis de modo y efectos de fallas) y análisis de criticidad / Registro de fallas	Escala nominal (categorías de riesgo) Escala ordinal (frecuencia)
Variable dependiente	Indicadores de Mantenimiento	Según Moubray (2004), son medidas clave que permiten evaluar la eficiencia, eficacia y continuidad de los equipos, mediante métricas como disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.	La variable se mide a través de KPIs técnicos que evalúan el rendimiento de los activos y la eficiencia del mantenimiento. Se obtendrán a partir de los registros técnicos de mantenimiento de los activos físicos de la asociación metalmecánica, antes y después de la implementación del plan, y también mediante encuestas a técnicos y supervisores.	Confiabilidad	MTBF (tiempo medio entre fallas)	Registro de mantenimiento	Escala de razón (horas)/ Escala porcentual (%)
				Mantenibilidad	MTTR (tiempo medio para reparar)	Registro de mantenimiento	Escala de razón (horas)/ Escala porcentual (%)
				Disponibilidad	% de disponibilidad total de equipos	Registro de mantenimiento	Escala porcentual (%) / Escala porcentual (%)
				Costos y fallas	-Costo de mantenimiento preventivo por equipo crítico	Reporte técnico / Registro de fallas	Escala de razón / Escala porcentual (%)

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Internacional

Ortiz Parra (2020), en su tesis de investigación "Modelo de gestión del mantenimiento para empresas distribuidoras de energía eléctrica, utilizando estrategias basadas en la confiabilidad y en los riesgos de los componentes asociados a las redes de distribución", publicado por la Escuela Politécnica nacional en Quito, Describe en su tesis la metodología para desarrollar un modelo de gestión del mantenimiento para empresas distribuidoras como parte del proceso de gestión de activos, utilizando estrategias basadas en la confiabilidad y en los riesgos de los componentes asociados a las redes de distribución. La implementación de RCM se centra en la determinación de los componentes críticos del sistema eléctrico de distribución y en proponer posibles planes de mantenimiento preventivo; la determinación de los componentes críticos se logra mediante un procedimiento de simulación, en función de este análisis se determina el factor de criticidad de los componentes, los componentes con mayor factor de criticidad serán los candidatos para ser sometidos a los posibles planes de mantenimiento. Una vez identificado los componentes críticos del sistema y disponiendo de un listado de posibles planes de mantenimiento, se realiza la implementación de mantenimiento basado en riesgo (RBM), este se centra en la reducción del riesgo de cada componente y en la determinación de los planes de mantenimiento óptimos, esto permitirá alcanzar las metas en los índices de confiabilidad establecidos por la empresa distribuidora. Finalmente, esta metodología se aplica y valida en dos sistemas de prueba.

El-Thalji (2025), en su estudio "Emerging Practices in Risk-Based Maintenance Management Driven by Industrial Transitions: Multi-Case Studies and Reflections", publicado en la revista Applied Sciences de Suiza, desarrollaron un estudio exploratorio de tipo aplicado en siete plataformas petroleras offshore ubicadas en la plataforma continental noruega. El objetivo fue comprender cómo la digitalización, la automatización y los cambios normativos están influyendo en la adopción del mantenimiento basado en el riesgo (MBR). Utilizaron métodos mixtos

que incluyeron entrevistas, análisis de datos operativos e inspecciones técnicas. Los resultados evidenciaron que la implementación del MBR, apoyada en tecnologías como sensores inteligentes e inteligencia artificial, permitió reducir fallas inesperadas en un 24% y mejorar la disponibilidad operativa de los activos críticos. La investigación recomienda la adopción gradual del MBR, destacando su flexibilidad frente a condiciones operativas cambiantes.

Toufighi et al. (2024), en su trabajo "Risk-Based Maintenance Strategy for Oil Transfer Pipelines Using an Intuitive Fuzzy Computational Approach", publicado en International Journal of Computer Integrated Manufacturing, desarrollaron una investigación aplicada con enfoque cuantitativo, orientada a optimizar la gestión del mantenimiento en oleoductos de India. Utilizaron un modelo computacional basado en lógica difusa para evaluar riesgos en función de variables como presión, temperatura y edad de los componentes. Los resultados demostraron que el uso de esta estrategia permitió priorizar inspecciones de alto impacto, reduciendo en un 31% los eventos críticos y mejorando la seguridad operativa. La investigación validó que los modelos difusos son eficaces para ambientes con alta incertidumbre, recomendando su aplicación en sistemas de transporte energético.

Jácome Changoluisa y Pilataxi Quisaguano (2023), en su tesis "Gestión de mantenimiento del área de laminados en la empresa Adelca mediante el programa SAP (PM)", desarrollada en la Universidad Técnica de Cotopaxi (Ecuador), propusieron un sistema de gestión del mantenimiento apoyado en el software SAP PM para optimizar las actividades de mantenimiento del tren de laminación T07. La investigación contempló la identificación de los equipos críticos mediante la aplicación de la metodología AMEF y un análisis de criticidad, lo que permitió clasificarlos de acuerdo con su importancia para el proceso productivo y establecer un plan de mantenimiento dirigido a los activos de mayor impacto. Posteriormente, dicho plan fue implementado a través del sistema SAP PM, logrando una reducción de las fallas en los equipos críticos. Los resultados mostraron que, en julio, las fallas disminuyeron a seis eventos (16 %), en comparación con abril (10 fallas, 27 %), mayo (9 fallas, 24 %) y junio (12 fallas, 32 %), evidenciando la efectividad de la estrategia de mantenimiento propuesta.

Pilamunga Salazar (2023) por otro lado en su tesis “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo programado para la flota de ambulancias ancladas al SIS ECU 911 de la ciudad de Riobamba, creando un software de mantenimiento para optimizar los procesos”, desarrollada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Ecuador), diseñó un plan de mantenimiento preventivo apoyado en un software de gestión para optimizar el control de la flota de ambulancias del Ministerio de Salud Pública vinculada al SIS ECU 911. La investigación tuvo como objetivo mejorar la disponibilidad y confiabilidad de las unidades de emergencia, garantizando su operatividad durante la atención de incidentes. Para ello, se recopiló información sobre las fallas registradas en los últimos años, se evaluó el estado de funcionamiento de las ambulancias mediante encuestas y se analizó el historial de mantenimiento de cada unidad. Posteriormente, se implementó el software SASM para gestionar las órdenes de trabajo y el seguimiento de las actividades de mantenimiento, lo que permitió agilizar la programación de intervenciones, reducir los tiempos de inactividad y disminuir los costos de mantenimiento. Finalmente, la evaluación realizada después de la implementación evidenció una mejora en la gestión del mantenimiento, logrando recuperar la operatividad del 50 % de las ambulancias que inicialmente se encontraban fuera de servicio por falta de mantenimiento, concluyendo que la propuesta contribuyó al fortalecimiento de la disponibilidad de la flota y al mejor desempeño de las actividades de mantenimiento.

Nacional

Tapie Quispe (2023) en su tesis “Optimización del tiempo de cambio de revestimiento del molino SAG aplicando mantenimiento basado en el riesgo, realizado por FLSMIDTH en minera Constancia” en la Universidad Nacional del Centro del Perú, desarrolló un estudio aplicado de nivel experimental, cuyo objetivo fue optimizar los tiempos de intervención en el cambio de revestimientos del molino SAG. Utilizó la metodología del mantenimiento basado en el riesgo (MBR), complementado con herramientas como el análisis HAZOP, el control de avance en línea y el análisis FODA cuantitativo. La implementación del MBR permitió reducir el tiempo de cambio de revestimientos de 101.40 a 96.00 horas, logrando una mejora significativa del 96% con respecto al tiempo óptimo teórico (92.43

horas), lo que se tradujo en un ahorro económico considerable, estimado en 82,500 dólares por hora ganada. Asimismo, se demostró que la planificación HAZOP contribuyó en un 39% a la mejora del tiempo, el control de avance en línea un 33% y el FODA cuantitativo un 28%. Esta investigación evidencia la eficacia del MBR como estrategia en la gestión de mantenimiento en la industria minera peruana, recomendando su implementación continua para fortalecer la seguridad, eficiencia y rentabilidad de los servicios técnicos especializados.

Medina Lozano (2022) en su tesis "Estrategias de gestión de mantenimiento para mejorar los indicadores de mantenimiento de equipos de transporte de carga terrestre", desarrollada en la Universidad San Ignacio de Loyola, evaluó el efecto de la implementación de estrategias de gestión de mantenimiento sobre el desempeño de los equipos de una empresa de transporte de carga. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de nivel relacional y con un diseño cuasi experimental de tipo ex post facto. La muestra estuvo conformada por 30 equipos seleccionados mediante un pretest y postest, considerando criterios como baja disponibilidad operativa, elevados tiempos de reparación, altos costos de mantenimiento y mayor frecuencia de fallas. Los resultados evidenciaron una mejora significativa en los indicadores de mantenimiento, incrementándose la disponibilidad operativa en un 9 %, reduciéndose el tiempo promedio de reparación aproximadamente a la mitad y disminuyendo los costos de mantenimiento en un 20 %. Asimismo, la frecuencia de mantenimiento alcanzó la meta proyectada de 50 intervenciones, demostrando que la aplicación de estrategias de gestión de mantenimiento contribuye a optimizar el desempeño y la eficiencia de los equipos de transporte.

Callirgos Gonzales (2021) en su tesis "Sistema de gestión de mantenimiento preventivo para mejorar la confiabilidad de los equipos del área de elaboración de la empresa Agropucalá S.A.A" en la Universidad Señor de Sipán propuso el diseño de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad de los equipos del área de elaboración de una empresa dedicada a la producción de azúcar rubia. La propuesta surgió a partir de las deficiencias identificadas en la gestión del mantenimiento, las cuales afectaban el desempeño y la continuidad operativa de los activos. Para el desarrollo del estudio se tomó como

referencia la norma ISO 55001 de Gestión de Activos y el enfoque de mejora continua. Inicialmente, se realizó un diagnóstico de la situación de los equipos, obteniéndose indicadores de 81,00 % de disponibilidad, 75,00 % de confiabilidad y 70,51 % de mantenibilidad. Posteriormente, se elaboró un inventario de activos, se aplicó un análisis de criticidad para identificar los equipos prioritarios, se implementó un sistema de codificación y se programaron las actividades de mantenimiento preventivo. Como resultado de la propuesta, los indicadores de mantenimiento mostraron una mejora cercana al 10 %, alcanzando valores de 90,50 % de disponibilidad, 86,60 % de confiabilidad y 75,00 % de mantenibilidad, demostrando que la implementación del sistema contribuyó a optimizar el desempeño de los equipos y fortalecer la gestión del mantenimiento.

Montenegro Salcedo (2022) en su tesis "Gestión del mantenimiento basado en riesgo para incrementar la disponibilidad de los ascensores de una empresa de servicios en la ciudad de Lima, 2022" en la Universidad César Vallejo, propuso un modelo de gestión del mantenimiento basado en riesgos con el propósito de incrementar la disponibilidad de los ascensores de una empresa de servicios. La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo, diseño preexperimental y alcance explicativo. El estudio consideró una población de 3 500 ascensores, seleccionándose una muestra de 400 equipos de uso residencial, para los cuales se analizaron los registros históricos de mantenimiento y la información correspondiente a los modos de falla, el tiempo entre fallas y el tiempo de reparación. El diagnóstico inicial evidenció que la disponibilidad de los ascensores oscilaba entre 88,69 % y 91,22 %. A partir de esta evaluación se identificaron los componentes críticos mediante el análisis de modos de falla y el cálculo del Nivel de Prioridad del Riesgo (NPR), información que permitió reestructurar la planificación del mantenimiento y fortalecer las competencias del personal técnico mediante capacitaciones. Como resultado de la implementación de la propuesta, la disponibilidad aumentó hasta valores comprendidos entre 93,06 % y 95,29 %, logrando reducir las interrupciones del servicio ocasionadas por la detención de los ascensores y las pérdidas económicas derivadas de dichas fallas.

Labán Cruz (2021), en su tesis “Diseño de plan de mantenimiento basado en el riesgo y mantenimiento predictivo para mejorar los indicadores de gestión de mantenimiento de una flota de transportes de Tumbes” en la Universidad César Vallejo, propuso el diseño de un plan de mantenimiento basado en riesgos y mantenimiento predictivo para la flota de transportes María Magdalena, con la finalidad de mejorar los indicadores de gestión del mantenimiento. Como parte del diagnóstico inicial, se evaluaron siete camiones (cuatro Volvo y tres Mitsubishi), obteniéndose niveles de disponibilidad entre 89,06 % y 93,79 %, confiabilidad entre 82,06 % y 90,74 % y mantenibilidad entre 9,60 % y 15,37 %. Estos resultados se atribuyeron a un promedio anual de 94 fallas y 2 138 horas de inactividad registradas en la flota. Posteriormente, mediante un análisis de criticidad se identificaron cuatro camiones como los activos de mayor prioridad (Volvo WB-7173, Volvo BM5-886, Volvo WC-7014 y Mitsubishi QL-5663). Asimismo, el análisis de modos de falla permitió identificar 50 fallas críticas, determinándose que el 74 % presentaba un nivel de riesgo clasificado como indeseable. Con base en estos resultados se planteó un nuevo plan de mantenimiento, cuya estimación estadística proyectó un incremento de la disponibilidad hasta valores entre 97,16 % y 98,39 %, y de la confiabilidad entre 95,32 % y 97,64 %. Finalmente, el estudio concluyó que la propuesta era económicamente viable, estimando un beneficio anual de S/ 142 390,80, un costo de mantenimiento de S/ 110 204,00, un periodo de recuperación de la inversión de 10 meses, una rentabilidad del 127 % y un valor actual neto de S/ 429 569,16.

Local

Medina Villegas (2021) en su tesis “Diseño de la estrategia de mantenimiento basado en el riesgo para incrementar los indicadores de mantenimiento de la Asociación Textil AETI de la ciudad de Ilo” en la Universidad José Carlos Mariátegui, señala que, desde una perspectiva económica, los activos físicos desempeñan un papel fundamental en la generación de valor. En ese contexto, la Asociación Textil AETI requiere garantizar adecuados niveles de disponibilidad y confiabilidad mediante la implementación de una estrategia de mantenimiento que permita alcanzar los objetivos propuestos. El autor indica que la organización venía desarrollando un mantenimiento de carácter reactivo debido

a la inexistencia de una programación de las actividades de mantenimiento, interviniendo los activos únicamente cuando ocurría una falla. Para afrontar esta situación, se aplicó un análisis de criticidad a los activos físicos, identificándose como equipos críticos las cinco bordadoras CNC. Asimismo, se determinaron indicadores iniciales de disponibilidad y confiabilidad de 78.82% y 65.24%, respectivamente. Tras la implementación de la estrategia de mantenimiento propuesta, los activos críticos registraron una disminución de las paradas no programadas y de los costos de mantenimiento, permitiendo elevar los indicadores de disponibilidad y confiabilidad hasta 85.29% y 82.08%, respectivamente.

Quevedo Abarca (2024) en su tesis "Implementación del Mantenimiento Basado en el Riesgo a las Grúas Telescópicas en la Construcción de la Planta Concentradora Quellaveco- Moquegua" en la Universidad Católica de Santa María, analizó la implementación del mantenimiento basado en riesgos aplicado a las grúas telescópicas utilizadas durante la construcción de la Planta Concentradora del Proyecto Minero Quellaveco, una de las inversiones mineras de mayor envergadura del país, ubicada en la región Moquegua. El estudio señala que estos equipos cumplen un papel fundamental en las actividades de izaje, montaje y movilización de estructuras, por lo que su disponibilidad resulta determinante para el cumplimiento de los cronogramas de construcción. Sin embargo, la elevada demanda operativa, las paradas ocasionadas por fallas, inspecciones y reparaciones, así como la ausencia de una adecuada programación del mantenimiento, generaban retrasos en la ejecución del proyecto y afectaban la continuidad de las operaciones. Frente a esta situación, se planteó la implementación de un programa de mantenimiento basado en riesgos como alternativa para mejorar la planificación de las actividades de mantenimiento, reducir la probabilidad de fallas y minimizar las consecuencias derivadas de estas. Asimismo, la investigación evidenció que las grúas telescópicas presentaban una confiabilidad inferior al 80 %, debido a su alto nivel de utilización en las distintas áreas de construcción. En ese contexto, el autor concluye que la aplicación de esta metodología permitirá fortalecer la gestión del mantenimiento y mejorar el desempeño operativo de la flota de equipos administrada por CUMBRA.

Jahuira Salas (2021) en su tesis “Método de gestión de mantenimiento para evaluar la disponibilidad en la flota de volquetes Volvo FMX. Caso: Gobierno Regional de Puno” en la Universidad José Carlos Mariátegui, Indica que la investigación surge como respuesta a la limitada gestión del mantenimiento aplicada a la flota de volquetes Volvo FMX-440, situación que ocasionaba fallas imprevistas y dificultaba la evaluación de la disponibilidad de las unidades. Frente a esta problemática, propone la integración de un método de gestión del mantenimiento con la administración de la flota, con el propósito de asegurar la confiabilidad operativa de los volquetes durante su vida útil en las actividades desarrolladas diariamente en la región de Puno. Asimismo, destaca la necesidad de establecer un método de gestión que permita definir intervalos adecuados de mantenimiento, fortaleciendo la disponibilidad de las unidades y mejorando el desempeño mediante una programación eficiente de las actividades, dentro del marco de una investigación descriptiva de diseño no experimental. Como parte del estudio, se identificó la unidad de mayor criticidad y los sistemas más críticos de sus componentes, determinándose que el volquete con placa EGK-176 presentaba el mayor nivel de riesgo, motivo por el cual fue seleccionado para la evaluación. Los resultados iniciales mostraron una disponibilidad de 90.35%, un TPEF de 17.36 horas y un TMPR de 1.63 horas, correspondientes a las condiciones operativas previas a la implementación de una evaluación continua del mantenimiento. Posteriormente, al aplicar el método de gestión de mantenimiento orientado a incrementar la disponibilidad, los indicadores evidenciaron mejoras, alcanzando una disponibilidad de 92.69%, un TMEF de 20.00 horas y un TMPR de 1.50 horas, confirmando que la propuesta contribuyó a fortalecer la disponibilidad operativa de la flota de volquetes Volvo FMX-440.

Gonzales Larico (2023) en su tesis “Implementación del Mantenimiento Basado en el Riesgo a las Grúas Telescópicas en la Construcción de la Planta Concentradora Quellaveco- Moquegua” en la Universidad Católica de Santa María, propuso la implementación de un plan integral de mantenimiento orientado a mejorar la gestión del mantenimiento mediante soluciones técnica y operativamente viables. El estudio inició con un diagnóstico basado en observaciones de campo y el análisis de los procesos de mantenimiento, identificándose deficiencias en el flujo

de trabajo del taller. Entre los principales hallazgos se determinó que el proceso de recepción e inspección inicial de los vehículos presentaba un tiempo promedio de 33 minutos por unidad, generando demoras en el inicio de las actividades de mantenimiento. Asimismo, se evidenció que el 87,50 % de la flota no recibía el mantenimiento preventivo en el kilometraje programado y que el 31,33 % de los vehículos no efectuaba el mantenimiento de sus componentes críticos conforme a las recomendaciones del fabricante. Además, se identificó la inexistencia de indicadores clave de desempeño (KPI) para el control de la gestión del mantenimiento. Como propuesta de mejora, el autor aplicó el ciclo de Deming (PHVA), priorizando acciones relacionadas con la planificación, el control y el seguimiento de las actividades de mantenimiento. Los resultados obtenidos evidenciaron una reducción del 30 % en el tiempo de recepción e inspección de los vehículos, disminuyendo de 33 a 23 minutos mediante la aplicación del Diagrama de Análisis del Proceso. Del mismo modo, la implementación de KPI permitió incrementar el cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo del 89,38 % al 97,50 %, equivalente a una mejora del 9,09 %. Asimismo, la confiabilidad del mantenimiento aumentó del 92,69 % al 94,54 %, mientras que el MTBF se incrementó de 261,01 horas a 305,03 horas (16,86 %) y el MTTR se redujo de 20,53 horas a 17,62 horas (14,19 %). Finalmente, se alcanzó una disponibilidad operativa del 95,19 % durante el año 2023. En el análisis económico, la propuesta presentó un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 146 943,69 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 39 %, demostrando que la mejora implementada contribuyó a optimizar los costos asociados a la gestión del mantenimiento.

Pareja Daza (2020) en su tesis “Propuesta para la mejora de la gestión de mantenimiento de una empresa de curtido de pieles - Arequipa 2019” en la Universidad Católica de Santa María, planteó una propuesta para fortalecer la gestión del mantenimiento de una empresa dedicada al curtido de pieles en la ciudad de Arequipa, tomando como base el ciclo de mejora continua de Deming (PHVA). El estudio tuvo como propósito establecer un modelo de gestión que permitiera alcanzar un nivel inicial de organización y control de las actividades de mantenimiento. Como parte del diagnóstico, se emplearon herramientas como el Diagrama de Ishikawa y el análisis de causa raíz, identificándose que las frecuentes

paradas de producción estaban asociadas principalmente a deficiencias en la gestión del mantenimiento y a la recurrencia de fallas en los equipos. Asimismo, mediante la observación directa y la aplicación de cuestionarios al personal involucrado, se determinó que predominaban las actividades de mantenimiento correctivo, mientras que el mantenimiento preventivo era inexistente. También se evidenció la ausencia de un plan de mantenimiento, limitaciones en la planificación para la adquisición de repuestos y deficiencias en la organización de los procesos. Como resultado, el autor recomendó implementar un modelo de gestión de mantenimiento que permitiera reducir los costos ocasionados por paradas no programadas y tiempos muertos, estimados en S/ 267 219,60 anuales. Además, la propuesta proyectó mejoras en los principales indicadores de desempeño, alcanzando una disponibilidad del 90 %, un MTBF de 24 horas y una mayor vida útil de las máquinas y equipos. Finalmente, el análisis económico determinó una relación beneficio/costo (B/C) de 7,7, concluyendo que la propuesta era técnicamente y económicamente viable para la empresa.

Chávez Ordoñez (2020) en su tesis "Optimización de la gestión del mantenimiento de una flota de maquinaria pesada, en la construcción de un tranque de relaves mineros" en la Universidad Católica de Santa María, propuso optimizar la gestión del mantenimiento con el propósito de incrementar la disponibilidad operacional de una flota de maquinaria pesada empleada en la construcción de un tranque de relaves de una unidad minera ubicada al sur del Perú. La investigación se enfocó en los equipos que presentaban mayores requerimientos de mantenimiento y que demandaban un uso considerable de mano de obra especializada y recursos materiales, afectando directamente la continuidad de las operaciones. La flota analizada estuvo integrada por 12 tractores topadores CAT D8T y 5 excavadoras hidráulicas CAT 326D2L. Como parte del estudio, se evaluaron las actividades de mantenimiento desarrolladas en los equipos críticos dentro de su contexto operacional, identificando las fallas con mayor frecuencia de ocurrencia y aquellas que generaban los tiempos de inactividad más prolongados. Asimismo, se analizaron las funciones del área de mantenimiento y las principales causas, efectos y consecuencias asociadas a las paradas de los equipos. Para la propuesta de mejora se aplicó una metodología de optimización integral del

mantenimiento, apoyada en el ciclo de mejora continua y en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Como resultado, la disponibilidad operacional de los equipos críticos aumentó en 4 %, contribuyendo a reducir las paradas más recurrentes, las cuales representaban aproximadamente el 97 % del tiempo total de inactividad de la flota. Finalmente, el autor concluyó que la aplicación de estas herramientas de gestión permitió establecer estrategias de mantenimiento acordes con el contexto operacional de los equipos, mejorando significativamente la gestión del mantenimiento mediante un enfoque tanto cualitativo como cuantitativo.

2.2. Bases Teórico Científicas

La gestión del mantenimiento ha evolucionado considerablemente a lo largo del tiempo, adaptándose a los cambios tecnológicos desde la revolución industrial hasta la actualidad, donde predominan sistemas de producción modernos y altamente automatizados. Las crecientes exigencias en términos de eficiencia operativa y control de costos han motivado el desarrollo de metodologías más eficaces, entre ellas el mantenimiento basado en el riesgo. Esta estrategia representa una mejora respecto al mantenimiento centrado en la confiabilidad, al permitir priorizar intervenciones según la criticidad de los activos, lo que ha llevado a su implementación tanto en empresas pequeñas como en grandes industrias.

En el presente capítulo se abordará la evolución histórica del mantenimiento, desde sus primeras etapas hasta la consolidación del mantenimiento basado en el riesgo como una de las metodologías más completas, al integrar conceptos de modelos anteriores y brindar un enfoque integral para la gestión de activos físicos.

2.2.1. Definición de mantenimiento

El mantenimiento puede entenderse como el conjunto de acciones técnicas orientadas a preservar el funcionamiento de los equipos e instalaciones, prolongando su operatividad con altos niveles de eficiencia y disponibilidad (García, 2003).

Asimismo, comprende un conjunto de acciones técnicas y administrativas orientadas a asegurar el funcionamiento eficiente, la conservación y la reparación

oportuna de equipos, maquinaria e instalaciones, con el propósito de mantenerlos operativos y seguros conforme a su propósito original (Pérez, 2021).

Con el transcurso del tiempo, las exigencias y necesidades del entorno industrial han impulsado un proceso permanente de mejora, dando lugar a cambios significativos en las industrias, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 7

Revolución industrial en el tiempo



Nota. Tomado de *(HGS, 2025)*.

Durante la década de 1970, en el Reino Unido surgió una nueva corriente tecnológica denominada Terotecnología, término derivado del griego que significa preservar o cuidar, cuyo alcance va más allá de la simple preservación de equipos. Esta disciplina integra aspectos de gestión, análisis financiero y técnicas operativas aplicadas al manejo de activos físicos, con el objetivo de optimizar el costo total asociado a su ciclo de vida (Moubray, 2004).

De acuerdo con este concepto, la disponibilidad de los equipos debe establecerse un horizonte temporal previamente definido.

Esta visión conduce a comprender que el mantenimiento no comienza cuando la máquina entra en funcionamiento, sino desde la fase de diseño. Para garantizar una gestión eficaz desde el inicio, es necesario intervenir en la elaboración de las especificaciones técnicas como planos, tolerancias, normas y

demás documentación suministrada por el fabricante y continuar con las etapas de recepción, instalación y puesta en servicio. Si estas fases cuentan con la participación del equipo de mantenimiento, permiten definir y registrar un estado inicial de referencia, el cual será fundamental durante toda la vida útil del equipo para evaluar su desempeño, funcionamiento y demás características operativas (Daz, 2011).

2.2.2. Evolución de las Estrategias de Mantenimiento

En los últimos años, el mantenimiento ha experimentado un notable desarrollo en cuanto a nuevas metodologías y enfoques estratégicos. Este progreso responde, entre otras razones, al incremento en la cantidad y complejidad de los activos físicos, así como a su diversificación y dimensiones operativas. A ello se suma una creciente conciencia sobre el papel que desempeña el mantenimiento en aspectos críticos como la sostenibilidad ambiental, la seguridad laboral, el rendimiento económico de las empresas y la calidad de los productos finales (Moubray, 2004).

la rentabilidad mantiene una relación directa con la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos, mientras que la calidad de los productos elaborados depende del estado operativo en que estos se encuentren. (Moubray, 2004).

Fernández (2018) indica que la evolución histórica del mantenimiento puede organizarse de manera simplificada en distintas generaciones:

La Primera Generación: se basó en el mantenimiento correctivo, interviniendo solo cuando ocurrían fallas. Esta etapa se desarrolló desde la Revolución Industrial hasta aproximadamente 1950, con altos costos debido a los tiempos de inactividad. Con la producción en serie surgieron los primeros equipos de mantenimiento para reducir paradas, originando posteriormente el área de mantenimiento, inicialmente enfocada en reparaciones y luego en acciones preventivas básicas (Moubray, 1991).

Este enfoque presentaba desventajas como elevados costos, disminución de la calidad por el desgaste de los equipos, falta de repuestos, tiempos improductivos y el riesgo de fallas adicionales en la operación (Castillo, 2021).

La Segunda Generación: surge durante la Segunda Guerra Mundial, cuando el mantenimiento preventivo comenzó a aplicarse de forma sistemática. Esta etapa, que se extendió hasta finales de los años setenta, se caracterizó por la implementación de rutinas programadas para anticipar fallas y sustituir componentes según su vida útil.

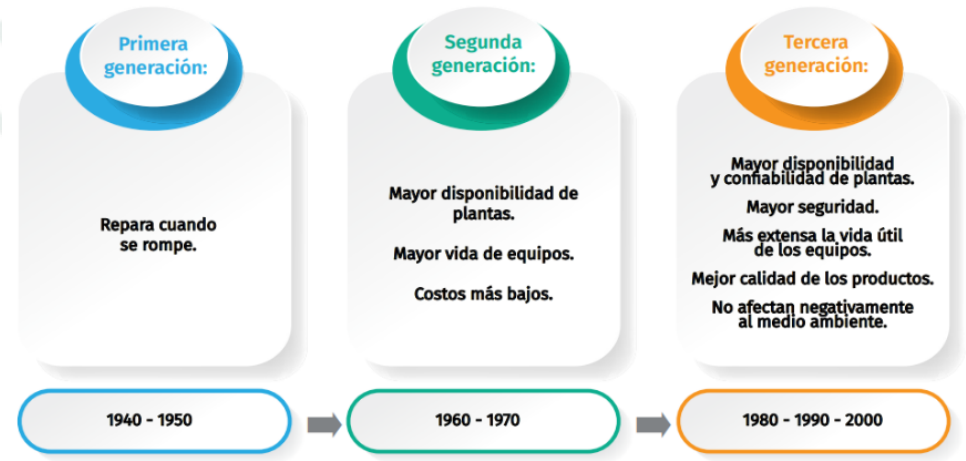
Además, se establecieron intervenciones periódicas basadas en recomendaciones de fabricantes y normas técnicas, se promovieron mejoras en los procesos y se introdujo el mantenimiento autónomo, donde los operadores realizaban tareas básicas para conservar los equipos en condiciones operativas (Castillo, 2021).

La Tercera Generación: En esta etapa se introduce el mantenimiento basado en la condición, apoyado en el monitoreo de variables del equipo para determinar el momento adecuado de intervención. Este enfoque dio lugar al mantenimiento predictivo, orientado a detectar señales tempranas de fallas y facilitar la toma de decisiones preventivas.

Además, se incorporó el análisis causa-efecto y una mayor participación del personal de producción en la detección de anomalías. Este enfoque permitió documentar los fallos, mejorar la planificación y reducir las intervenciones correctivas no programadas (Castillo, 2021).

Figura 8

Evolución del mantenimiento - Nuevas expectativas.



Nota. Tomado de *(Pérez, 2021)*

Figura 9

Evolución del mantenimiento - Nuevas técnicas.



Nota. Tomado de *(Pérez, 2021).*

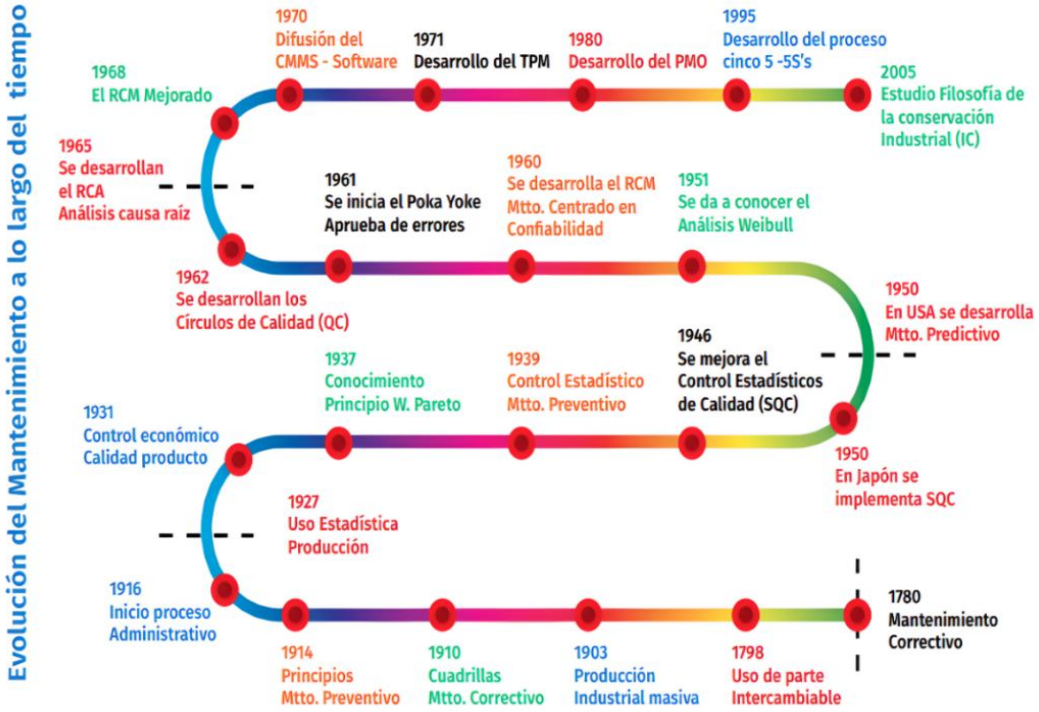
Cuarta Generación: Esta etapa surge en la década de 1990 con la adopción de la Gestión de la Calidad Total (TQM) y el desarrollo del Mantenimiento Productivo Total (TPM), orientados a maximizar el rendimiento de los equipos con participación de todo el personal. Este enfoque promueve la mejora continua, pequeñas intervenciones operativas y la coordinación entre producción y mantenimiento para aumentar la eficiencia de los activos.

Asimismo, el mantenimiento pasa a considerarse una inversión estratégica y se incorporan herramientas como el análisis de confiabilidad, la ingeniería del riesgo y la mejora de la mantenibilidad. También se refuerzan aspectos relacionados con la seguridad, el bienestar laboral y la sostenibilidad ambiental dentro de la gestión del mantenimiento (Castillo, 2021).

A continuación, se presenta una figura que resume las principales características de la evolución del mantenimiento a lo largo de los años:

Figura 10

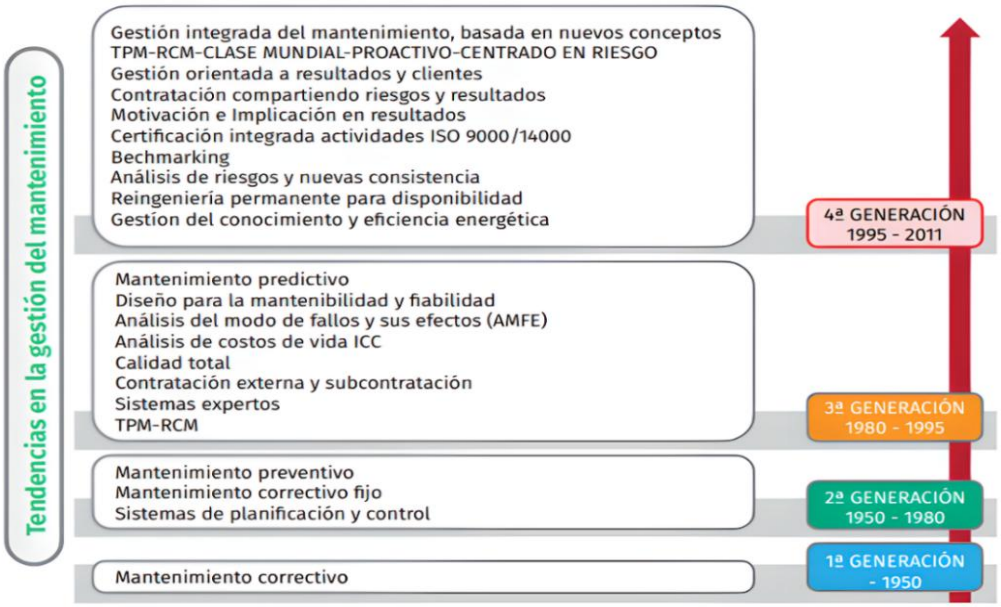
Evolución del mantenimiento a lo largo del tiempo



Nota. Tomado de *(Pérez, 2021)*.

Figura 11

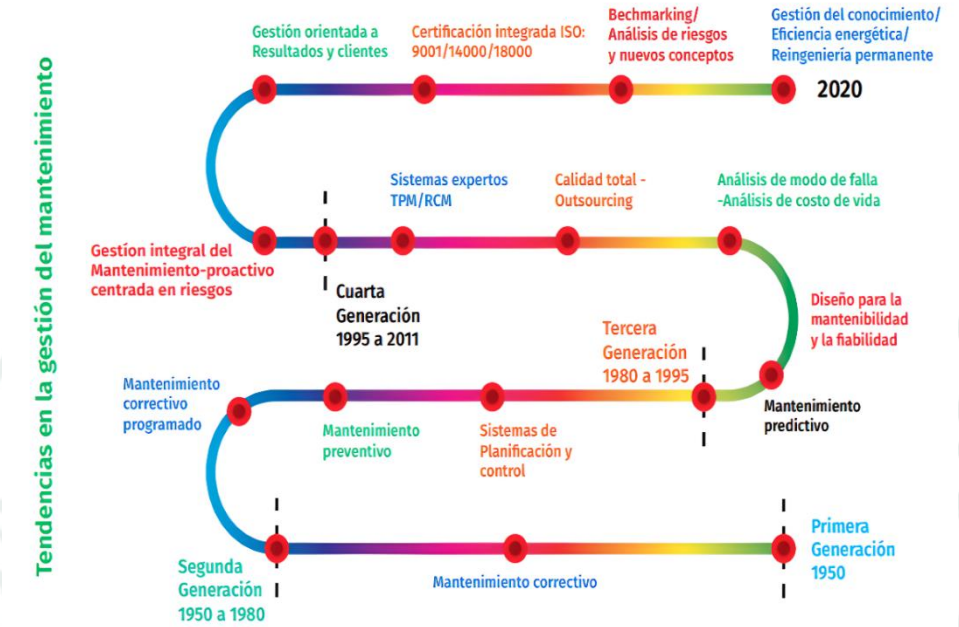
Tendencias en la gestión del mantenimiento



Nota. Tomado de *(Pérez, 2021)*.

Figura 12

Gestión del mantenimiento, a lo largo del tiempo



Nota. Tomado de *(Pérez, 2021)*.

La Quinta Generación: Esta etapa, correspondiente a la transición entre los siglos XX y XXI, incorpora un enfoque tecnológico avanzado centrado en la administración del ciclo de vida completo de los activos físicos. Su esencia radica en monitorear y mejorar el desempeño de los equipos desde su concepción y adquisición, pasando por su operación, hasta su desincorporación final. Este enfoque no solo considera aspectos técnicos, sino que también incluye variables estratégicas como la gestión financiera, la logística, la producción y la planificación organizacional, lo que favorece una administración sostenible y eficaz de los recursos (Medina Villegas, 2021).

Uno de los principales aportes de esta generación es su capacidad de adaptación a diversos sectores industriales, gracias a su flexibilidad para integrarse a distintos entornos productivos. En este contexto, se persiguen objetivos como:

- Mejorar y mantener la eficiencia operativa y económica de los equipos a lo largo de su vida útil.
- Racionalizar el consumo energético, disminuyendo los costos y aumentando la eficiencia global del sistema.

Esta etapa generación se incorpora el enfoque del mantenimiento basado en el riesgo (MBR), derivado del modelo RCM II. Este método permite tomar decisiones de intervención considerando tanto la frecuencia esperada de fallas como las consecuencias operativas y económicas que estas podrían generar. De esta manera, se fortalece la estrategia preventiva incorporando criterios de seguridad, criticidad y rentabilidad (Medina Villegas, 2021).

La Sexta Generación: La sexta generación del mantenimiento se desarrolla en el contexto de la cuarta revolución industrial, también conocida como Industria 4.0, y se extiende desde mediados de la década de 2010 hasta la actualidad. Esta nueva etapa se caracteriza por un enfoque inteligente y digital, en el que el mantenimiento se gestiona a partir de tecnologías emergentes que permiten predecir fallas, automatizar decisiones y optimizar la disponibilidad de los activos a lo largo de su ciclo de vida (ATMEC, 2025).

A diferencia de generaciones anteriores, esta propone una integración total entre los sistemas de mantenimiento y otras áreas organizacionales, incorporando herramientas como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), el análisis de Big Data, los gemelos digitales, y la realidad aumentada. Estas tecnologías permiten monitorear continuamente las condiciones de operación de los equipos, identificar comportamientos anómalos y ejecutar mantenimientos preventivos con una alta precisión, incluso antes de que se manifiesten los síntomas de una falla (Toro, 2024).

Dentro de esta generación también se potencia el uso del Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR), que ahora se ejecuta con el respaldo de modelos predictivos avanzados. Esto permite valorar no solo la probabilidad de ocurrencia de una falla, sino también el impacto que podría generar sobre la operación, la seguridad, el medio ambiente o la economía del proceso productivo (Iung, 2014).

Los principales objetivos de esta generación son:

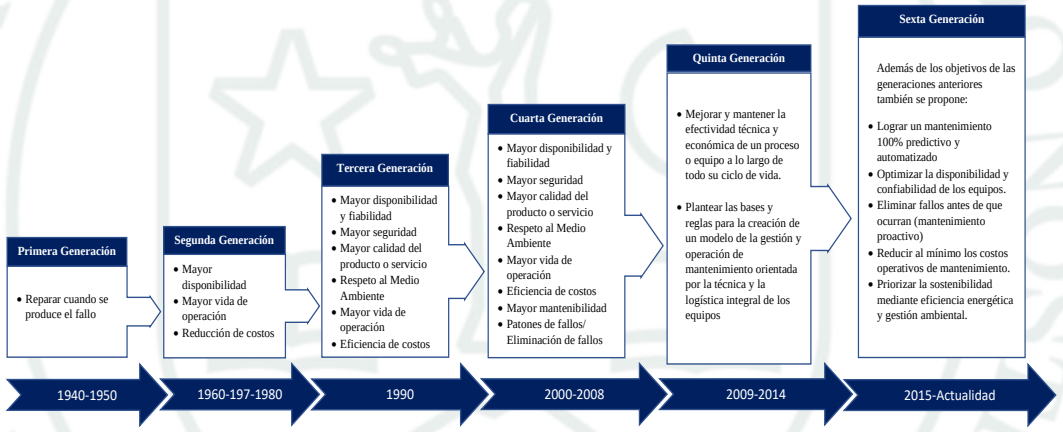
- Anticipar las fallas mediante análisis predictivo en tiempo real.
- Reducir los costos operativos mediante decisiones automáticas basadas en datos confiables.

- Garantizar la sostenibilidad, integrando criterios energéticos y medioambientales en la gestión del mantenimiento.
- Elevar la confiabilidad y disponibilidad de los activos físicos con intervención humana mínima.

Esta generación representa un cambio de paradigma al convertir el mantenimiento en un proceso altamente automatizado, autónomo y conectado, donde la toma de decisiones ya no depende exclusivamente del criterio humano, sino de sistemas inteligentes que aprenden y optimizan continuamente. De este modo, se logra una mejora continua no solo en la eficiencia técnica, sino también en la competitividad global de las organizaciones (ATMEC, 2025).

Figura 13

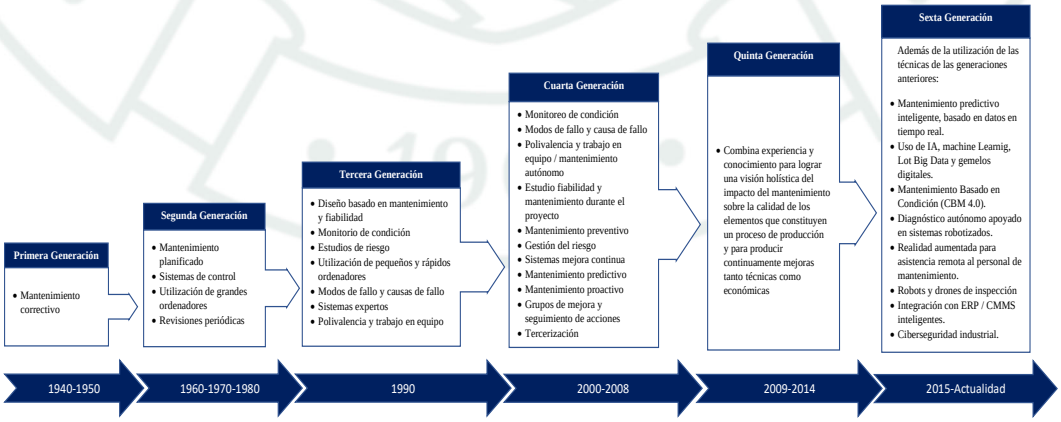
Evolución de los objetivos del Mantenimiento



Nota. Adaptado de *(Smart Thinking, 2020)*.

Figura 14

Evolución de las Técnicas de Mantenimiento



Nota. Adaptado de *(Smart Thinking, 2020)*.

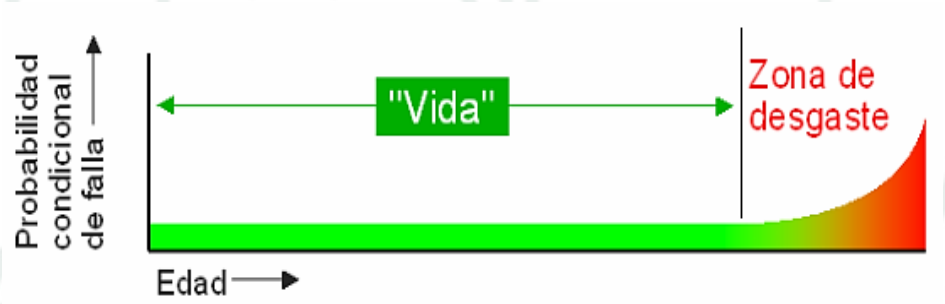
2.2.3. Cambio de Paradigmas del mantenimiento.

Durante los años 70, los avances en el campo del mantenimiento transformaron profundamente la manera en que se concebían las estrategias de conservación de activos. Uno de los hitos más relevantes fue el trabajo realizado por Stanley Nowlan y Howard Heap en 1978, mientras colaboraban con United Airlines. Estos investigadores realizaron un análisis detallado sobre los modos de falla de componentes aeronáuticos, identificando patrones que cuestionaron las suposiciones tradicionales sobre el envejecimiento de los equipos. Su propuesta sentó las bases de un nuevo enfoque preventivo en el mantenimiento, orientado a anticiparse a los fallos antes de que estos ocurran (Moubray, 2004).

Inicialmente, se creía que el deterioro natural incrementaba progresivamente la probabilidad de falla, pero sus hallazgos demostraron que esta visión era limitada y no siempre aplicable a todos los activos físicos.

Figura 15

Visión Tradicional de la Falla de Equipos

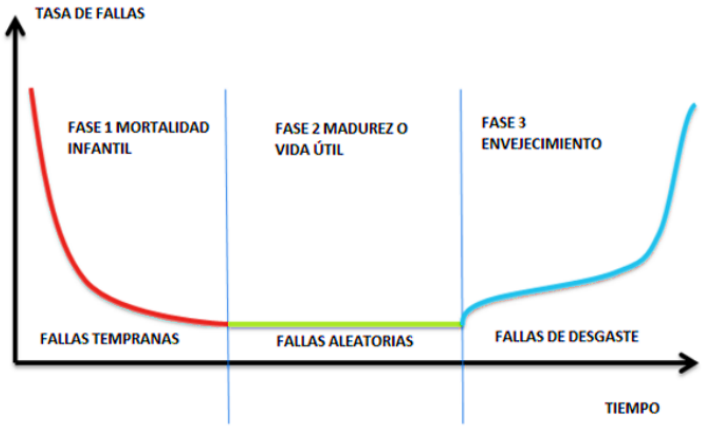


Nota. Tomado de *(Moubray, 2004)*.

Posteriormente, durante la Segunda Generación, el incremento del conocimiento sobre el desgaste ocasionado por el uso dio origen a la aceptación generalizada de la denominada “curva de la bañera”. Sin embargo, los estudios realizados demostraron que las fallas no responden a un único patrón, sino que pueden presentarse mediante seis patrones diferentes de falla.

Figura 16

Curva de la bañera

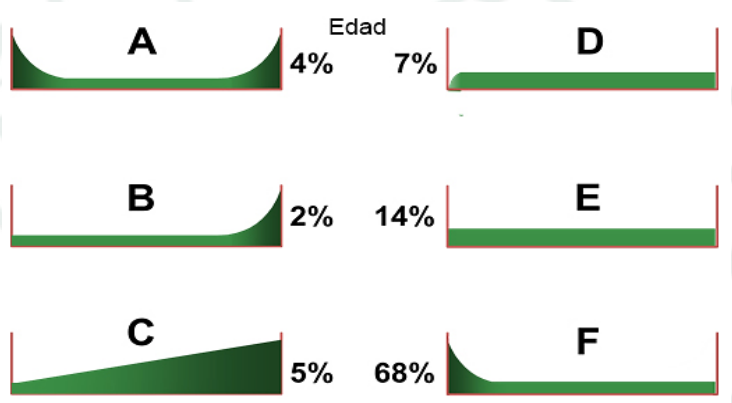


Nota. Tomado de *(Moubray, 2004)*.

En la actualidad, los sistemas y equipos presentan un nivel de complejidad significativamente mayor al que mostraban hace cuatro décadas. Esta evolución ha influido directamente en la manera en que se manifiestan las fallas, modificando sus patrones tradicionales. Tal como se aprecia en el gráfico anterior, se analiza la relación entre la probabilidad condicional de que ocurra una falla y la vida útil del componente, abarcando una amplia gama de causas de falla tanto en elementos eléctricos y mecánicos (Moubray, 2004).

Figura 17

Seis Patrones de Fallas



Nota. Tomado de *(Moubray, 2004)*.

Patrón A – Curva de bañera inicial: Presenta una alta tasa de fallas al inicio, luego un periodo de fallas aleatorias bajas y finalmente un incremento pronunciado al final de la vida útil. Representa aproximadamente el 4% de las fallas.

Patrón B – Desgaste tradicional: Se caracteriza por una baja tasa de fallas durante la mayor parte de la vida útil, seguida de un aumento marcado al final. Corresponde al 2% de las fallas.

Patrón C – Ascenso gradual sin zona de desgaste diferenciada: Conocido como curva de fatiga, muestra un incremento progresivo de fallas a lo largo del tiempo. Representa cerca del 5% de las fallas.

Patrón D – Aumento inicial con desaceleración (fallo aleatorio): Inicia con una baja tasa de fallas que aumenta hasta estabilizarse en un nivel constante. Explica aproximadamente el 7% de las fallas.

Patrón E – Fallo aleatorio: Presenta una tasa de fallas constante y aleatoria durante toda la vida útil del activo. Representa el 11% de las fallas.

Patrón F – Mortalidad infantil: Muestra una alta tasa de fallas al inicio, seguida de un comportamiento aleatorio. Es el patrón más frecuente y causa alrededor del 68% de las fallas (Moubray, 2004).

Al analizar estos patrones, se puede comprender el comportamiento de las fallas a lo largo de la vida útil de un activo. En función de ello, es posible agruparlos en dos categorías principales:

- **Los patrones A-B-C** corresponden a activos con una vida útil definida, en los que la tasa de fallas se incrementa cuando el equipo alcanza cierta edad. Estas fallas suelen estar asociadas al paso del tiempo, a las horas de operación y a los volúmenes de producción.
- **Los patrones D-E-F** representan aproximadamente el 89 % de las fallas y se consideran de carácter aleatorio o casual. Estos patrones evidencian que muchas fallas se presentan en las primeras etapas de vida del activo, generalmente provocadas por deficiencias de mantenimiento, operación o fabricación. Una vez superado este periodo inicial, las fallas tienden a ocurrir de manera aleatoria (Tractian, 2026).

Estos hallazgos cuestionan la relación directa entre la confiabilidad y la edad operativa, ya que las revisiones frecuentes no siempre reducen las fallas. Si no existe un modo de falla asociado a la edad, los mantenimientos programados

aportan poco a la confiabilidad e incluso pueden incrementarlas al introducir fallas tempranas en sistemas estables (Moubray, 2004).

2.2.4. Pirámide de madurez en mantenimiento.

Entre las principales prioridades de la industria se encuentran mejorar la fiabilidad, el rendimiento y la seguridad de los activos. En este contexto, las organizaciones orientan sus esfuerzos a controlar los costos y maximizar el valor de las inversiones realizadas en activos físicos. Para lograr estos objetivos, es indispensable definir la estrategia de mantenimiento más adecuada para cada activo, considerando su criticidad y el impacto que genera en el negocio.

La pirámide de madurez en mantenimiento constituye una forma sencilla de visualizar las diferentes estrategias de mantenimiento. Se trata de una representación gráfica que muestra los enfoques que pueden aplicarse a los activos de una organización con el propósito de mantenerlos operativos y asegurar su desempeño.

Este modelo se fundamenta en la idea de que las empresas generalmente inician con estrategias de carácter reactivo. Conforme evolucionan, reconocen la importancia del mantenimiento e incorporan progresivamente nuevas prácticas y tecnologías, avanzando hacia niveles superiores de la pirámide. No obstante, esto no implica necesariamente avanzar de manera secuencial hasta alcanzar la cúspide, sino identificar la situación actual para definir objetivos y establecer una hoja de ruta de mejora.

De esta manera, la pirámide de madurez no solo funciona como un modelo conceptual, sino también como una guía para determinar el nivel en el que se encuentra la organización y hacia dónde desea dirigirse. Conocer la posición actual permite identificar oportunidades de mejora, donde cada nivel representa un avance hacia una gestión del mantenimiento más eficiente (Mata, 2020).

Figura 18

Pirámide de Madurez en Mantenimiento



Nota. Tomado de *(Sobrino, 2025)*.

2.2.4.1. ¿Cómo interpretar la pirámide de mantenimiento?

Uno de los errores más comunes al interpretar la pirámide de madurez del mantenimiento consiste en asumir que se debe avanzar de manera secuencial entre cada nivel. Bajo esta idea, se cree que, si una organización aplica actualmente mantenimiento preventivo, el siguiente paso obligatorio sería implementar mantenimiento basado en la condición. Sin embargo, este enfoque no es correcto, ya que la pirámide no implica una evolución estrictamente escalonada, sino una integración de estrategias según las necesidades del activo y del contexto operativo (Mata, 2020).

2.2.4.2. ¿Es posible evolucionar nuestro mantenimiento a través de la pirámide?

Para evolucionar dentro de la pirámide de mantenimiento es necesario analizar detalladamente cada activo y definir qué estrategia aplicar con el fin de obtener el mayor rendimiento económico. En este contexto, el mantenimiento basado en riesgos, ubicado en la parte superior de la pirámide, cobra especial importancia.

Esta estrategia constituye un enfoque integral orientado a resultados, cuyo propósito es determinar las acciones necesarias para asegurar que los activos cumplan la función esperada por el usuario. De esta manera, se convierte en un elemento clave dentro de un programa de mantenimiento completamente integrado.

Un estudio de mantenimiento basado en riesgos permite establecer la estrategia más adecuada para cada activo considerando su criticidad y el impacto que tiene en los resultados de la organización. Esto implica que una empresa no aplica una única estrategia, sino que combina diferentes enfoques de mantenimiento, seleccionando el más conveniente para cada activo según su nivel de criticidad (Mata, 2020).

2.2.4.3. Gestión de Activos

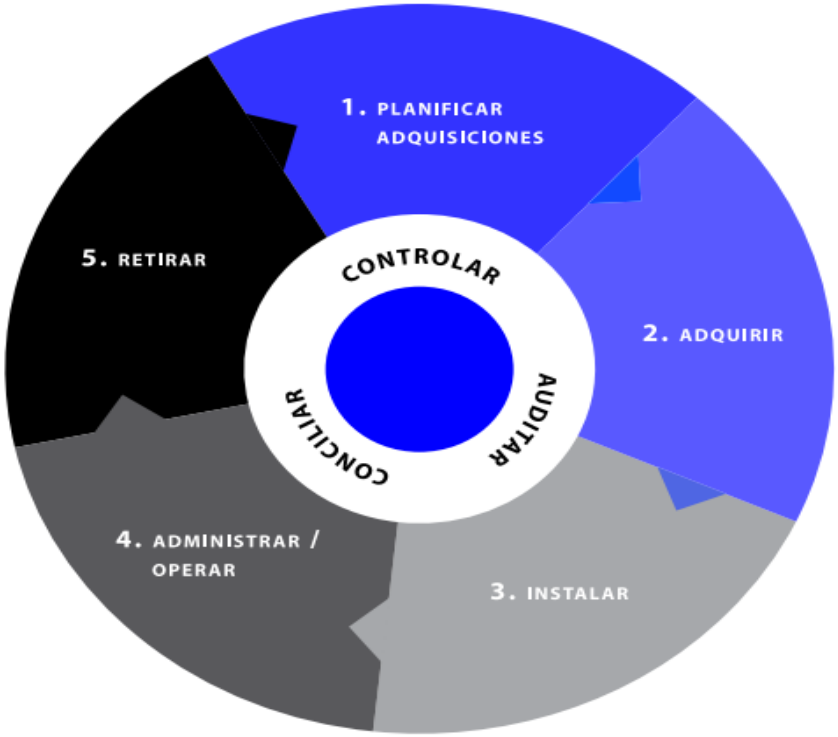
La gestión de activos es una disciplina orientada a administrar los activos físicos durante todas las etapas de su ciclo de vida, con el propósito de maximizar el valor que aportan a la organización mediante un adecuado equilibrio entre desempeño, costos, riesgos y sostenibilidad. Para su aplicación existen estándares internacionales, entre ellos la ISO 55000, que define la gestión de activos como la coordinación de las actividades de una organización para generar valor a través de sus activos. Desde el ámbito empresarial, este enfoque integra la planificación, operación, mantenimiento, renovación y disposición final de los activos, independientemente de su ubicación, área funcional o unidad de negocio, permitiendo una administración uniforme y eficiente. En organizaciones con una elevada cantidad de activos, una gestión adecuada resulta fundamental para minimizar el impacto de las fallas, garantizar la continuidad de las operaciones y mantener la competitividad, cumpliendo simultáneamente con los requisitos de seguridad, salud ocupacional y protección del medio ambiente establecidos para sus instalaciones e (Negrete, 2017).

2.2.4.4. Ciclo de vida del activo

"El ciclo de vida de un activo es todo lo que ocurre con el éste desde la idea con la cual se crea o se incorpora a un proyecto hasta su descarte final, reciclaje o venta. Es decir, son las etapas por las que un activo pasa a través de su vida útil, la cual se entiende como el periodo de tiempo en el que el activo cumple sus funciones correctamente:

Figura 19

Etapas del ciclo de vida del activo



Nota. Tomado de *(Negrete, 2017).*

La gestión de activos ha encontrado un espacio relevante también dentro del ámbito de la ingeniería, consolidándose como una disciplina formal bajo el respaldo de organizaciones como la Sociedad Internacional de Ingeniería de Gestión de Activos (ISEAM). Desde esta perspectiva, la ingeniería orientada a la gestión de activos físicos se centra en administrar todo el ciclo de vida de dichos activos, con el fin de facilitar la producción de bienes y la prestación de servicios de manera eficiente y alineada a los objetivos estratégicos del negocio. Para implementar este enfoque, se consideran como base técnica las normas PAS 55-1:2008, PAS 55-2:2008, así como el marco internacional establecido por la norma ISO 55000 (Mehairjan, 2017).

2.2.5. Norma ISO 55000

En enero de 2014 se publicó la familia de normas ISO 55000, orientadas a estandarizar la gestión de activos en diversos sectores. Estas normas se desarrollaron tomando como referencia la PAS 55 (British Standards Institution [BSI], 2008), pero con un alcance más amplio. A diferencia de su predecesora, que

se enfocaba específicamente en activos físicos, la ISO 55000 está diseñada para aplicarse a cualquier tipo de activo, permitiendo una mayor flexibilidad según el entorno organizacional. Su propósito es ofrecer una visión integral de la gestión de activos, la cual define como un conjunto de actividades planificadas y coordinadas mediante las cuales una organización genera valor a partir de sus activos (International Organization for Standardization [ISO], 2014).

La norma ISO 55000 presenta las siguientes características (ISO, 2014):

- Promueve la integración de los objetivos estratégicos de la organización con las metas y planes asociados a la gestión de activos, asegurando coherencia desde la planificación hasta las operaciones cotidianas.
- Fomenta una visión integral del ciclo de vida del activo, basada en una colaboración efectiva entre diversas disciplinas para alcanzar un desempeño óptimo.
- Introduce la gestión de riesgos como un elemento clave, orientando los procesos de toma de decisiones hacia criterios fundamentados en el análisis y evaluación de riesgos.

2.2.6. Definición del Mantenimiento Basado en el Riesgo.

Desde la perspectiva de la ingeniería, la gestión de los activos físicos comprende dos aspectos fundamentales: el mantenimiento y la modificación a lo largo del tiempo. El mantenimiento se orienta a garantizar que los activos continúen desempeñando las funciones requeridas por el usuario durante su vida útil.

Las funciones que debe cumplir un activo dependen del lugar y de la forma en que este es utilizado, lo cual se conoce como contexto operacional. Este concepto da origen al mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM), definido como un proceso sistemático que permite establecer los requerimientos de mantenimiento de los activos físicos considerando sus condiciones reales de operación.

A partir de este enfoque surge el Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR), el cual se define como un proceso orientado a determinar el nivel mínimo necesario de mantenimiento, ingeniería y otras estrategias de gestión del riesgo. Su propósito es asegurar niveles aceptables de seguridad, integridad ambiental y desempeño

operativo, considerando además la relación entre costos y beneficios, conforme a lo establecido en el sistema de gestión de activos de la organización (Basson, 2019).

2.2.6.1. Objetivos del MBR

Según Udealo (2024), el mantenimiento basado en el riesgo tiene como objetivo principal optimizar las actividades de mantenimiento mediante la priorización de los activos críticos. Entre los principales objetivos se encuentran:

- Identificar los activos críticos del sistema productivo
- Evaluar la probabilidad de falla
- Analizar las consecuencias de las fallas
- Determinar el nivel de riesgo de los activos
- Priorizar las actividades de mantenimiento
- Optimizar el uso de los recursos disponibles
- Reducir fallas críticas y paradas no programadas
- Mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los activos

Estos objetivos permiten que la gestión del mantenimiento se enfoque en los equipos con mayor impacto operacional, contribuyendo a mejorar el desempeño global de los activos.

2.2.6.2. Beneficios del MBR

El mantenimiento basado en el riesgo permite optimizar la gestión de activos mediante la priorización de equipos según su criticidad. Entre sus principales beneficios destacan (Zoidii, 2024):

Mejor asignación de recursos: El MBR permite concentrar los recursos de mantenimiento en los activos con mayor nivel de riesgo, evitando intervenciones innecesarias en equipos de baja criticidad. Esto contribuye a reducir costos laborales, optimizar el uso de repuestos y minimizar el mantenimiento innecesario.

Reducción del tiempo de inactividad y mayor disponibilidad: Al identificar los equipos con mayor probabilidad de falla, el MBR facilita la programación de acciones preventivas oportunas. Esto disminuye las paradas no planificadas y mejora la disponibilidad operativa de los activos críticos.

Mejora de la seguridad y cumplimiento normativo: El MBR prioriza el mantenimiento de los equipos cuya falla puede generar riesgos para las personas, el ambiente o la operación. De esta manera, se promueve un entorno de trabajo más seguro y se facilita el cumplimiento de normas y estándares industriales.

Reducción de costos de mantenimiento: Este enfoque evita el mantenimiento excesivo propio de estrategias tradicionales, ya que las intervenciones se realizan según el nivel de riesgo. Como resultado, se optimizan los costos, se reducen fallas costosas y se mejora la gestión de inventarios.

Toma de decisiones basada en datos: El MBR utiliza información técnica, histórica y análisis de riesgo para definir las estrategias de mantenimiento. Esto permite tomar decisiones más objetivas, justificar las acciones ante la organización y alinear el mantenimiento con los objetivos operacionales.

2.2.7. Comparación entre mantenimiento tradicional, RCM y RBM

Tabla 5

Comparación entre mantenimiento tradicional, RCM y RBM

Criterio	Mant. Tradicional	RCM	RBM
Enfoque	Basado en el tiempo o uso	Basado en la confiabilidad y funciones del activo	Basado en el riesgo y consecuencias de fallas
Objetivo principal	Evitar fallas mediante rutinas regulares	Asegurar que los activos continúen cumpliendo sus funciones	Minimizar el riesgo total (probabilidad × consecuencias)
Técnicas principales	Mantenimiento preventivo, correctivo	Análisis funcional, modos de falla y efectos (FMEA)	Análisis de criticidad, análisis de riesgos cualitativo/cuantitativo
Priorización de activos	No se realiza o se hace de forma básica	Basada en la función y consecuencias de la falla	Basada en la criticidad del riesgo (impacto en seguridad, ambiente, producción)
Costo operativo	Puede ser alto por sobre-mantenimiento o mantenimiento innecesario	Optimiza los recursos al evitar mantenimientos innecesarios	Reducción de costos al enfocar esfuerzos en activos de mayor riesgo
Flexibilidad	Baja, se basa en calendarios fijos	Media, se ajusta a las funciones del activo	Alta, adaptable según el nivel de riesgo
Complejidad de implementación	Baja	Media-alta	Alta
Uso de datos e información	Limitado	Requiere historial y análisis detallado de fallas	Requiere datos de riesgo, criticidad, confiabilidad y consecuencias
Aplicación recomendada	Equipos simples, sin alto impacto por fallas	Sistemas complejos donde la confiabilidad es crítica	Activos críticos con alto impacto potencial (financiero, ambiental o de seguridad)

Nota. Elaboración propia.

Diferencias clave:

Tabla 6

Diferencias claves de la metodología de mantenimiento RCM Y RBM

CARACTERÍSTICA	RCM	RBM
Enfoque	Confiabilidad y optimización	Gestión de riesgos
Priorización	Importancia del activo y gravedad de los fallos	Riesgo de falla
Metodología	Análisis individual de cada activo y modos de falla	Evaluación del riesgo de falla de cada activo

Nota. Elaboración propia.

2.2.8. Contexto Operativo.

Según Basson (2019), basado en la guía técnica SAE JA1012, señala que el contexto operativo se refiere a las condiciones específicas en las que se espera que funcione un sistema o activo físico. Estas circunstancias influyen directamente en el comportamiento del equipo, por lo que incluso máquinas idénticas pueden tener desempeños distintos si operan bajo entornos diferentes. Como consecuencia, los programas de mantenimiento diseñados para dichos equipos también deben adaptarse a esas condiciones particulares, lo cual explica por qué no siempre es adecuado aplicar una misma estrategia de mantenimiento en todos los casos.

Los principales parámetros y condiciones de operación que se consideran son:

- La secuencia del proceso productivo
- Las condiciones ambientales y físicas del entorno de operación.
- Los estándares de calidad aplicables al producto o servicio.
- Normativas ambientales y de sostenibilidad.
- Requisitos legales y de seguridad industrial.
- La estructura de los turnos de trabajo.
- La existencia de sistemas de respaldo o redundancia.
- La carga de trabajo o inventario en proceso.
- El nivel de utilización del equipo.
- Las políticas de gestión de repuestos y logística.

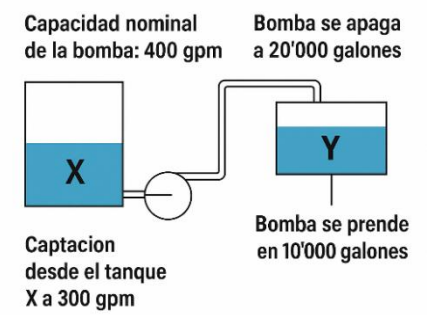
- El estado actual del activo.
- Las demandas del mercado y la disponibilidad de insumos.
- Las competencias técnicas del personal y la tecnología disponible.
- La posibilidad de reacondicionar, reutilizar o reciclar componentes.

Estos elementos no solo influyen en las funciones y expectativas de desempeño del activo, sino que también condicionan los modos de falla que pueden presentarse, la frecuencia con la que ocurren, sus consecuencias potenciales y la estrategia más adecuada para gestionarlas (Basson, 2019).

Por ejemplo, la función principal de la bomba mostrada en la figura siguiente puede definirse como el bombeo de agua desde el tanque X hacia el tanque Y, garantizando un caudal mínimo de 300 galones por minuto.

Figura 20

Esquema de Sistema de Bombeo



Nota. Tomado de *(Basson, 2019)*.

Si una bomba es trasladada para bombear slurry abrasivo en lugar de agua hacia un tanque B con un flujo mínimo de 300 galones por minuto, su función primaria y el estándar de desempeño aumentan. Este cambio implica que la bomba opere bajo condiciones más exigentes, lo que modifica la naturaleza, frecuencia y severidad de los modos de falla. Aunque el equipo no cambie físicamente, el contexto operativo distinto provoca que requiera un programa de mantenimiento diferente, ajustado a las nuevas condiciones de operación.

Esto evidencia que, al aplicar mantenimiento basado en el riesgo, es fundamental comprender completamente el contexto operativo del activo, ya que los requerimientos de desempeño y las condiciones de trabajo influyen directamente en las estrategias de mantenimiento a implementar (Basson, 2019).

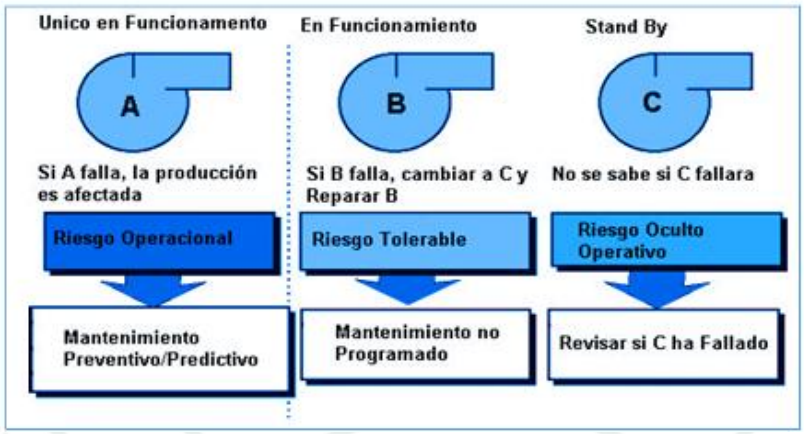
2.2.8.1. Redundancia.

La redundancia, es decir, la disponibilidad de equipos alternos, es un aspecto importante del entorno operativo que debe considerarse al definir las funciones de un activo. Cuando un equipo tiene respaldo, las consecuencias de una falla son menores que en otro que trabaja sin apoyo.

Por ejemplo, si dos bombas son iguales pero una cuenta con una unidad en espera y la otra no, sus condiciones de operación y nivel de criticidad serán diferentes. Debido a ello, aunque los equipos sean idénticos, sus requerimientos y estrategias de mantenimiento no necesariamente serán los mismos, ya que dependen del contexto en el que operan (Basson, 2019).

Figura 21

Diferentes Contextos Operativos



Nota. Tomado de *(Basson, 2019)*.

2.2.8.2. Utilización y Carga.

La utilización y la carga de un equipo influyen directamente en su desempeño y en sus necesidades de mantenimiento. Algunos activos operan de manera continua, mientras que otros solo funcionan en determinadas condiciones. Además, existen equipos que trabajan cerca de su límite de diseño y otros que lo hacen dentro de un margen seguro. Estas diferencias modifican los modos de falla, la frecuencia con que pueden presentarse y los intervalos de mantenimiento, los cuales dependen del patrón operativo y del nivel de exigencia al que esté sometido el equipo (Basson, 2019).

2.2.8.3. Ambiente Operativo y Estándares Medioambientales.

Influyen directamente en el rendimiento y los modos de falla de los equipos. Un activo instalado en condiciones húmedas, corrosivas o expuestas a la intemperie no tendrá el mismo comportamiento que otro ubicado en un entorno seco y con control climático. Estas diferencias del entorno modifican la confiabilidad del equipo y las necesidades de mantenimiento. Además, el impacto que los activos pueden generar sobre el medio ambiente se ha convertido en un aspecto relevante del contexto operativo, por lo que también debe considerarse al definir las estrategias de mantenimiento (Basson, 2019).

2.2.8.4. Jornada de Trabajo.

La jornada de trabajo influye directamente en el entorno operativo y en la estrategia de mantenimiento. Algunas organizaciones operan en turnos limitados, mientras que otras funcionan de manera continua las 24 horas. Cuando la operación es en un solo turno, las fallas pueden compensarse con horas extras, aunque esto incrementa los costos; además, el mantenimiento puede programarse fuera del horario operativo. En cambio, en plantas que operan continuamente, las fallas generan mayores pérdidas de producción y económicas, por lo que se requiere un mantenimiento más proactivo y una planificación más rigurosa para intervenir equipos que están en servicio constante (Basson, 2019).

2.2.9. Estándares de Funciones y Rendimiento.

Antes de aplicar el mantenimiento basado en el riesgo, es necesario definir con claridad las funciones del activo y los estándares de rendimiento esperados dentro de su contexto operativo. Para ello, primero se deben identificar los objetivos que el usuario desea alcanzar con el activo y comprobar que este tenga la capacidad de cumplirlos (Basson, 2019).

Las expectativas del usuario se dividen en funciones primarias, que corresponden al propósito principal del activo como capacidad, producción o calidad, y funciones secundarias, que incluyen aspectos adicionales como seguridad, eficiencia energética, cumplimiento normativo o impacto ambiental. Debido a que los

usuarios conocen el valor del activo en la operación y en la rentabilidad, su participación resulta fundamental al definir estos estándares (Basson, 2019).

- **Funciones primarias:** Representan la razón principal por la cual se adquirió el activo. Incluyen aspectos como velocidad, capacidad de producción, almacenamiento, calidad del producto o servicio, y atención al cliente (Basson, 2019).
- **Funciones secundarias:** Abarcan otras responsabilidades que se espera que el activo cumpla, más allá de su propósito principal. Estas pueden incluir seguridad, eficiencia energética, cumplimiento normativo, facilidad de reciclaje o reutilización, y hasta su apariencia física (Basson, 2019).

2.2.9.1. Descripción de Funciones.

Uno de los principios fundamentales en ingeniería de valor establece que toda función debe formularse mediante un verbo seguido de un objeto. Sin embargo, como se abordará más adelante, los usuarios no solo esperan que un activo cumpla una tarea específica, sino que también lo haga con un nivel de desempeño aceptable. Por ello, la definición funcional de un activo, así como la formulación de sus objetivos de mantenimiento, no estará completa a menos que se especifique con claridad el estándar de rendimiento que se espera alcanzar (Basson, 2019).

Una función debe de consistir de un verbo, un objeto y de un estándar de rendimiento deseado.

Considerando el ejemplo presentado en el apartado 2.5, la función principal de la bomba mostrada en la Figura 6 consiste en bombear agua desde el tanque X hacia el tanque Y, garantizando un caudal mínimo de 300 galones por minuto.

En este caso, la función está compuesta por un verbo (bombear), un objeto (agua) y un estándar de rendimiento definido por el usuario, correspondiente a un caudal mínimo de 300 galones por minute (Basson, 2019).

2.2.9.2. Estándares de Rendimiento

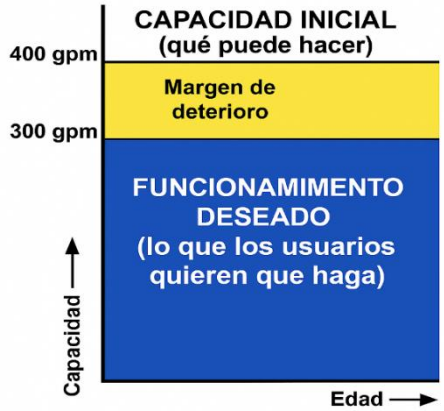
Los estándares de rendimiento permiten asegurar que los activos continúen cumpliendo las expectativas funcionales dentro de su entorno operativo. Aunque idealmente un equipo podría operar indefinidamente sin mantenimiento, en la

práctica todos los activos sufren desgaste y deterioro, lo que provoca la reducción progresiva de su desempeño. Por ejemplo, una bomba diseñada para 300 galones por minuto puede disminuir su capacidad con el tiempo debido al desgaste de sus componentes (Basson, 2019).

Debido a que este deterioro es inevitable, los activos deben diseñarse con una capacidad superior al mínimo requerido, de modo que exista un margen de rendimiento inicial que permita mantener la funcionalidad a lo largo del tiempo. Este margen se conoce como confiabilidad inherente y justifica la necesidad de establecer y controlar los estándares de rendimiento mediante el mantenimiento (Basson, 2019).

Figura 22

Capacidad Inicial vs Rendimiento Deseado



Nota. Tomado de *(Basson, 2019)*.

Para asegurar que una bomba cumpla con los requerimientos a lo largo del tiempo, se debe seleccionar un equipo cuya capacidad inicial sea mayor al rendimiento requerido. Por ejemplo, si se necesitan 300 galones por minuto, conviene elegir una bomba capaz de 400 galones por minuto, de modo que el desgaste no impida cumplir la función (Basson, 2019).

De esta manera, el rendimiento puede entenderse como:

- Rendimiento esperado (función requerida por el usuario).
- Capacidad operativa (desempeño que puede alcanzar el activo).

El mantenimiento busca mantener la capacidad por encima del mínimo requerido o restaurarla cuando disminuye. Sin embargo, la capacidad inicial

depende del diseño y la calidad del activo, y el mantenimiento solo puede devolverlo a ese nivel original, no mejorarlo. Por ello, cuando los equipos están bien diseñados, pueden mantenerse para que continúen cumpliendo las expectativas del usuario (Basson, 2019).

Figura 23

Características de un Activo Mantenible



Nota. Tomado de *(Basson, 2019)*.

Un activo puede mantenerse adecuadamente cuando los requisitos funcionales están dentro de su capacidad de diseño. Sin embargo, si el desempeño exigido supera esa capacidad inherente, ningún programa de mantenimiento podrá lograrlo. En estas condiciones, el activo se considera no mantenible, ya que el mantenimiento no puede aumentar su capacidad original. Por ejemplo, exigir 75 HP a un motor diseñado para 50 HP provocará sobrecargas y fallas repetitivas, aun cuando el equipo esté en buenas condiciones (Basson, 2019).

Figura 24

Características de un Activo no Mantenible



Nota. Tomado de *(Basson, 2019)*.

De los ejemplos presentados se concluye que un activo es mantenible solo cuando el rendimiento requerido se encuentra dentro de su capacidad de diseño. Para comprobarlo, es necesario conocer tanto la capacidad inicial del equipo como el nivel mínimo de desempeño aceptable definido por el usuario en su contexto operativo. Esto resalta la importancia de entender claramente las expectativas desde el inicio al desarrollar el programa de mantenimiento.

2.2.9.3. Múltiples Estándares de Rendimiento

En algunos casos, una misma función puede tener varios estándares de rendimiento. Por ejemplo, **Elevar la temperatura de 1,000 libras del producto X desde condiciones ambientales hasta su punto de ebullición (257 °F) en un plazo de una hora**. Esto implica que el desempeño no se evalúa con un solo criterio, sino con varios, como la cantidad procesada, la temperatura alcanzada y el tiempo requerido. Todos estos elementos deben cumplirse para considerar que la función se ejecuta correctamente (Basson, 2019).

2.2.10. Definición de Fallo

Una falla se define como la incapacidad de un activo para cumplir la función requerida dentro de los estándares de rendimiento establecidos. Esta definición implica que una falla no solo ocurre cuando el equipo deja de operar completamente, sino también cuando presenta una degradación que impide cumplir los niveles de desempeño esperados (Moubray, 2004).

De acuerdo con este enfoque, el análisis de fallas se desarrolla considerando tres elementos fundamentales:

- Estado de falla: condición en la que el activo no cumple su función
- Modo de falla: causa que origina la falla
- Efecto de falla: consecuencias que produce la falla

Este análisis permite identificar los riesgos asociados al funcionamiento del activo y definir estrategias de mantenimiento orientadas a prevenir o mitigar dichas fallas.

2.2.10.1. Estado de Falla

Las fallas funcionales, también denominadas estados de falla, se presentan cuando el equipo o sistema analizado no es capaz de cumplir las funciones para las cuales fue concebido. Para identificarlas, es necesario definir previamente la función del activo y establecer la falla del incumplimiento total o parcial de dicha función (García, 2003).

Por su parte, un fallo técnico corresponde a una situación en la que el equipo continúa cumpliendo su función, pero lo hace bajo condiciones anormales de operación. Aunque este tipo de fallas tiene menor impacto inmediato que las fallas funcionales, representan desviaciones que pueden provocar un deterioro acelerado del activo y, con el tiempo, evolucionar hacia una falla funcional. Asimismo, como se ha mencionado, las fuentes de información para identificar fallos y modos de falla en un equipo pueden ser diversas (García, 2003).

Esta definición no solo abarca la incapacidad total de operar, sino también situaciones en las que el activo sigue funcionando, pero con un rendimiento insuficiente, como una pérdida de precisión o calidad. Para poder identificar estos estados, es indispensable haber definido previamente las funciones del activo y los estándares de desempeño esperados (Basson, 2019).

2.2.10.2. Modo de Falla

Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funciona. Moubray (2004) explica que la descripción de un modo de falla como mínimo debe consistir de un sustantivo y un verbo.

Una vez identificados los estados de falla, el siguiente paso es determinar los eventos que pueden originarlos, conocidos como modos de falla. Estos incluyen aquellos que ya han ocurrido en equipos similares, los que se previenen mediante mantenimiento y los que, aunque no se hayan presentado, son razonablemente posibles en el contexto operativo. También es recomendable considerar modos de falla poco probables para anticipar sus consecuencias.

Además de fallas por desgaste o deterioro, el análisis debe contemplar errores humanos y deficiencias de diseño para lograr una evaluación integral. Cada modo

de falla debe describirse con suficiente claridad para identificar las causas reales, evitando tanto el enfoque en síntomas como un nivel excesivo de detalle que dificulte la toma de decisiones. En esencia, un modo de falla está constituido por una causa y el mecanismo que conduce al estado de falla (Basson, 2019).

Tipos de modos de falla: Los modos de falla comprenden los eventos o mecanismos que pueden originar una falla funcional. Entre ellos se incluyen el deterioro, las deficiencias de diseño y los errores humanos generados por operadores o personal de mantenimiento. En el ámbito de la gestión de activos físicos, estos errores se agrupan en las siguientes categorías (SAE International [SAE], 2002):

- Operación incorrecta.
- Ensamblaje incorrecto
- Daño externo

2.2.10.3. Efecto de Falla y Severidad de las Consecuencias

Moubray (2004) explica que los efectos de falla describen lo que sucede cuando se presenta un modo de falla e incluyen la información necesaria para evaluar las consecuencias que dicho evento puede generar. En este contexto, es importante distinguir ambos conceptos, ya que el efecto de falla responde a la pregunta ¿qué ocurre?, mientras que la consecuencia de falla permite establecer ¿qué importancia tiene? o cuál es el impacto del evento sobre la organización. Cuando las consecuencias son significativas, es necesario establecer acciones orientadas a prevenir, eliminar o reducir sus efectos, especialmente si representan riesgos para la seguridad de las personas, ocasionan daños al medio ambiente, afectan la continuidad de las operaciones o la producción, o generan daños secundarios en otros componentes o sistemas.

Entre los aspectos que deben considerarse se incluyen:

- ¿En qué momento es más probable que ocurra la falla (inicio, operación normal o después del mantenimiento)?
- ¿Con qué frecuencia podría presentarse si no se implementan acciones preventivas?

- ¿Qué evidencia (si hay alguna) existe que la falla ha ocurrido?
- ¿De qué manera (si hay alguna) amenaza la seguridad o el medio ambiente?
- ¿De qué manera (si hay alguna) afecta la producción u operaciones?
- ¿Qué daño físico (si hay alguno) es causado por la falla?
- ¿Qué se debe de hacer para reparar la falla?
- ¿La falla puede generar daños secundarios en otros componentes o sistemas?
- ¿Cuál sería la pérdida económica o de ingresos asociada a la falla?

Este análisis, basado en la identificación de las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y sus efectos, permite evaluar el riesgo con mayor precisión. Además, ofrece oportunidades valiosas para mejorar la gestión, reducir riesgos, optimizar el rendimiento operativo y minimizar costos innecesarios (Basson, 2019).

2.2.11. Método de Toma de Decisiones Según el Riesgo

2.2.11.1. Riesgo

El riesgo se define como la combinación entre la probabilidad de que ocurra un suceso y sus consecuencias. En las organizaciones, estos sucesos pueden representar tanto oportunidades para obtener beneficios como amenazas para el éxito. La gestión de riesgos considera simultáneamente los aspectos positivos y negativos del riesgo. Sin embargo, en el ámbito de la seguridad, las consecuencias suelen interpretarse únicamente como negativas, por lo que la gestión se enfoca principalmente en la prevención y mitigación del daño (Federation of European Risk Management Associations [FERMA], 2003).

Riesgo es la combinación del efecto (severidad) del evento y la posibilidad (probabilidad) de que ocurra el evento.

$$\text{RIESGO} = \text{SEVERIDAD} \times \text{PROBABILIDAD}$$

En términos generales, la existencia de riesgo implica la posibilidad de que ocurran consecuencias negativas o desviaciones respecto a los resultados esperados. La gestión de riesgos no se limita únicamente a aspectos técnicos, sino que también abarca el análisis de eventos que afectan sistemas completos. Además, este enfoque

incluye la evaluación y priorización de decisiones relacionadas con los activos (Mehairjan, 2017).

El mantenimiento basado en el riesgo distingue entre dos grandes tipos de riesgo:

- **Riesgo físico,** que afecta la seguridad de las personas o el medio ambiente.
- **Riesgo económico**, que impacta la operación o los costos financieros.

Basson (2019) identifica cinco categorías de riesgo asociadas a fallas:

- **Riesgo físico oculto:** Fallas no visibles que, al combinarse con otras, pueden generar consecuencias graves, generalmente asociadas a dispositivos de protección.
- **Riesgo económico oculto**: Fallas en sistemas de protección que no afectan a las personas, pero sí a los equipos, ocasionando altos costos.
- **Riesgo físico evidente:** Fallas que pueden provocar lesiones, muertes o daños ambientales, incumpliendo normativas
- **Riesgo económico evidente:** Fallas que impactan la producción, la calidad, el servicio o generan costos adicionales.
- **Riesgo evidente tolerable:** Fallas no críticas que deben gestionarse, ya que pueden afectar la operación o la reputación.

2.2.12. Estándares de Gestión de Riesgo

La gestión del riesgo, integrada en los procesos empresariales, proporciona un marco estructurado para identificar, analizar y tratar los riesgos que pueden afectar a la organización. Este enfoque permite anticipar eventos adversos y fortalecer la conciencia sobre los riesgos socio-tecnológicos asociados a los activos, así como definir estrategias para su mitigación y control (FERMA, 2003).

El estándar internacional que orienta este enfoque es la norma ISO 31000, la cual establece principios y directrices para gestionar los riesgos en organizaciones de cualquier tipo y tamaño, promoviendo la integración del proceso de gestión del riesgo en todas sus actividades (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2018)

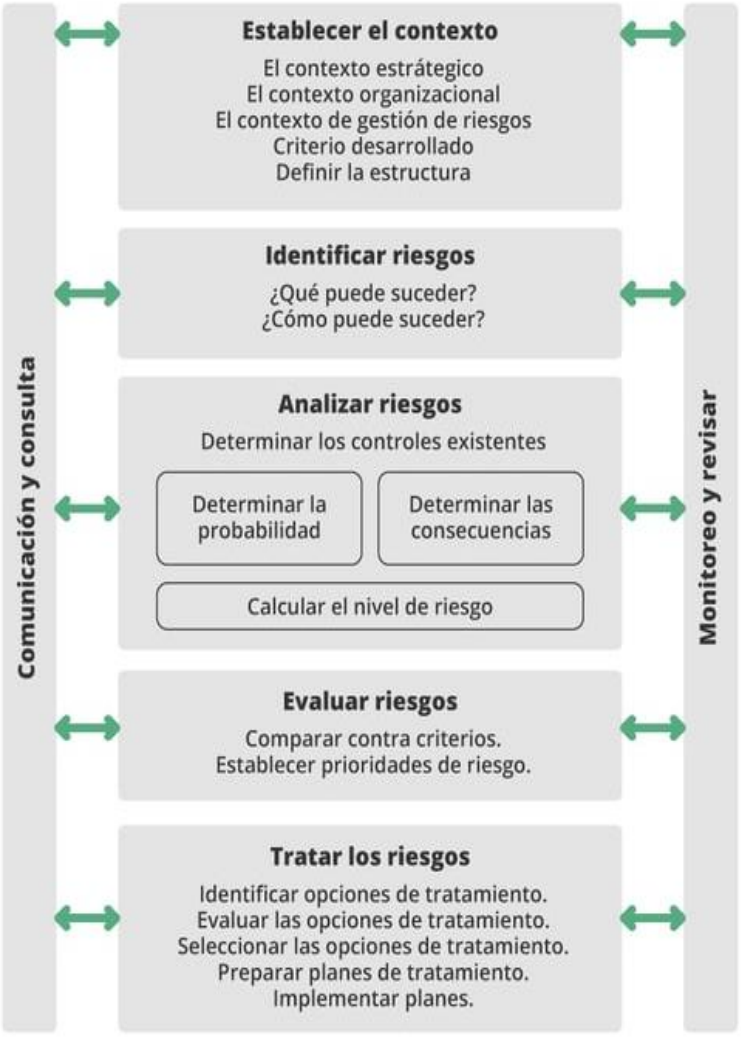
2.2.12.1. Norma ISO 31000:2018

En la norma ISO 31000, la gestión del riesgo implica un proceso evaluativo que contribuye a definir las responsabilidades y facilitar decisiones fundamentadas. Este proceso permite comparar los diversos riesgos que pueden obstaculizar el cumplimiento de los objetivos organizacionales y aplicar controles pertinentes y eficaces. A partir de estas evaluaciones, es posible establecer los métodos más adecuados para abordar dichos riesgos. La valoración del riesgo constituye, por tanto, una parte dentro del proceso decisional de la entidad, abarcando etapas como la identificación, análisis y evaluación del riesgo (Mehairjan, 2017).

La norma ISO 31000 presenta un enfoque sistemático para apoyar la toma de decisiones mediante la gestión de riesgos, como se observa en la siguiente figura:

Figura 25

Proceso General de Toma de Decisiones de la Generación de Riesgo



Nota. Tomado de *(ISO,2018)*.

FERMA (2003) señala que la gestión de riesgos protege y añade valor a la empresa y a sus partes interesadas mediante el apoyo a los objetivos organizacionales, a través de los siguientes aspectos:

- Proveer una estructura que permite que las actividades futuras se desarrollen de forma consistente y controlada.
- Mejorar la toma de decisiones, la planificación y el establecimiento de prioridades mediante una visión integrada y estructurada del negocio, su volatilidad y las oportunidades y amenazas del proyecto.
- Contribuir a una asignación más eficiente del capital y los recursos dentro de la organización.
- Reducir la volatilidad en las áreas no esenciales del negocio.
- Proteger y mejorar los activos y la imagen de la compañía.
- Desarrollar y apoyar a los empleados y la base del conocimiento de la organización.
- Optimizar la eficiencia operacional.

2.2.13. Evaluación del Riesgo

La evaluación del riesgo permite determinar el nivel de criticidad de las fallas y priorizar las acciones de mantenimiento en función de su impacto sobre la operación. Este proceso considera la probabilidad de ocurrencia de una falla y la severidad de sus consecuencias, con el fin de establecer criterios para la toma de decisiones basadas en el riesgo (Benyssaad, 2014).

De forma general, el riesgo se expresa como:

RIESGO = PROBABILIDAD x CONSECUENCIA

Sin embargo, en metodologías más detalladas como el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF), la evaluación del riesgo incorpora un tercer factor denominado detección, el cual representa la capacidad de identificar la falla antes de que genere consecuencias. En este caso, se utiliza el Número de Prioridad de Riesgo (RPN), el cual se calcula mediante:

RPN= Severidad (S) x Ocurrencia (O) x Detectabilidad (D)

Donde:

- **Severidad (S):** Mide el impacto que genera la falla sobre la seguridad, el ambiente, la producción o los costos.
- **Ocurrencia (O):** Representa la frecuencia o probabilidad de que la falla ocurra.
- **Detección (D):** Indica la capacidad del sistema para detectar la falla antes de que genere consecuencias.

El RPN permite jerarquizar los modos de falla según su nivel de criticidad, facilitando la priorización de acciones de mantenimiento y la asignación eficiente de recursos. De esta manera, los modos de falla con valores más altos de RPN requieren atención prioritaria, mientras que aquellos con valores menores pueden ser gestionados mediante controles rutinarios.

Este enfoque es ampliamente utilizado en el mantenimiento basado en el riesgo, ya que permite evaluar de manera estructurada las fallas potenciales de los activos y establecer estrategias de mantenimiento orientadas a reducir la probabilidad de ocurrencia, minimizar las consecuencias y mejorar la capacidad de detección (Benyssaad, 2014).

Tabla 7

Parámetros FMECA – Probabilidad de ocurrencia (O)

Tasa posible de ocurrencia	Criterio de ocurrencia	Valor
Una vez cada 12 años	Falla cercana a cero o nula	1
Una vez cada 10 años	Muy baja, falla rara	2
Una vez cada 8 años	Baja, fallas frecuentes	3
Una vez cada 6 años		4
Una vez cada 4 años	Media, fallas ocasionales	5
Una vez cada 2 años		6
Una vez por año		7
Una vez cada 6 meses	Alta, fallas frecuentes	8
Una vez por mes		9
Una vez por semana	Muy alta, falla muy frecuente	10

Nota. Tomado de (Yssaad et al., 2012).

Tabla 8

Parámetros FMECA – Severidad (S)

Duración de interrupción del servicio	Criterio de severidad	Valor
> 8 h	Muy catastrófico	8
7 h	Catastrófico	7
6 h	Muy serio	6
5 h	Serio	5
4 h	Medio	4
3 h	Significativo	3
2 h	Menor	2
1 h	Muy menor	1
30 min	Pequeño	0.6
< 30 min	Muy pequeño	0.2

Nota. Tomado de (Yssaad et al., 2012).

Tabla 9

Parámetros FMECA – Detectabilidad (D)

Nivel de detectabilidad	Criterio de detectabilidad	Valor
No detectable	Imposible	10
Difícil de detectar	Muy difícil	9
	Muy tardío	8
Detección aleatoria (poco probable)	Incierto	7
	Ocasional	6
Detección posible	Baja	5
	Tardía	4
Detección confiable	Fácil	3
	Inmediata	2
Detección en todo momento	Acción correctiva inmediata	1

Nota. Tomado de (Yssaad et al., 2012).

Tabla 10

FMECA – Criticidad (C)

Grado de criticidad	Valor RPN	Riesgo
Menor	0 – 30	Aceptable
Medio	31 – 60	Tolerable
Alto	61 – 180	
Muy alto	181 – 252	Inaceptable
Crítico	253 – 324	
Muy crítico	> 324	

Nota. Tomado de (Yssaad et al., 2012).

2.2.14. Indicadores de Mantenimiento

Los indicadores de mantenimiento constituyen herramientas que permiten evaluar la gestión del mantenimiento y conocer el desempeño con el que se ejecutan las actividades dentro de la organización (Gutierrez, 2016).

Estos indicadores corresponden a parámetros cuantitativos que facilitan la identificación de oportunidades de mejora continua en la aplicación de métodos y técnicas de mantenimiento. Asimismo, sus resultados pueden compararse con valores de referencia para determinar la necesidad de implementar acciones correctivas, modificativas o predictivas, según las condiciones identificadas. En este contexto, la confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad representan los principales indicadores técnicos empleados en el análisis del mantenimiento, ya que se sustentan en fundamentos matemáticos, estadísticos y probabilísticos (Rashuamán, 2019).

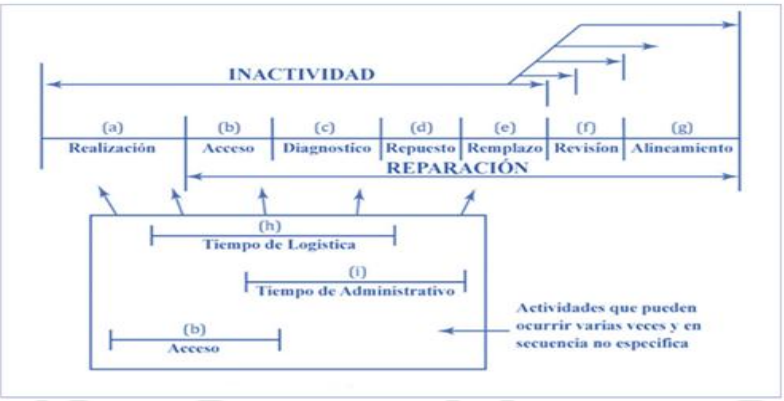
2.2.14.1. Tiempo de Inactividad y Reparación

El tiempo de inactividad es el periodo en que un equipo permanece fuera de servicio por una falla. Su definición y duración dependen de las condiciones operativas y de diversos factores que influyen en la parada

- La falla puede ocurrir cuando el equipo está sin uso y el inicio del tiempo de inactividad depende del contexto operativo.
- La reparación puede postergarse por razones técnicas o económicas.
- El sistema no siempre puede reiniciarse inmediatamente después de la reparación.
- El tiempo de reparación puede incluir inspección, calibración y otras actividades según el análisis realizado (Smith, 2021).

Figura 26

Elementos de Tiempo de Inactividad y Reparación



Nota. Tomado de *(Basson, 2019)*.

- Tiempo de realización: intervalo entre la ocurrencia de una falla latente y su detección, considerado dentro del proceso de reparación.
- Tiempo de acceso: periodo necesario para acceder físicamente al componente afectado tras reconocer la falla.
- Tiempo de diagnóstico: tiempo requerido para identificar la falla y definir la acción correctiva.
- Tiempo de procura de repuestos: incluye la localización, selección y traslado de las piezas necesarias.
- Tiempo de reemplazo: comprende la retirada del componente defectuoso y la instalación del nuevo.
- Tiempo de revisión: verificación del correcto funcionamiento del sistema después de la reparación.
- Tiempo de alineamiento: ajustes adicionales necesarios para asegurar la operación adecuada.
- Tiempos logísticos: movilización de herramientas, repuestos y personal para la reparación.
- Tiempos administrativos: actividades de reporte, coordinación y gestión interna del proceso.

Hablar de un tiempo máximo de reparación o de inactividad puede resultar inapropiado, ya que siempre pueden presentarse eventos más prolongados que los

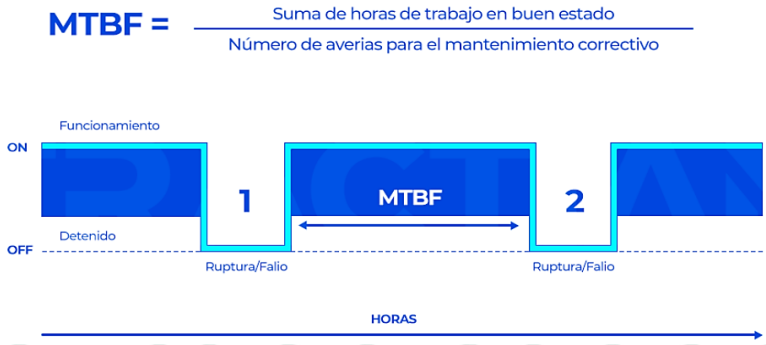
registrados. Por ello, es más recomendable utilizar valores estadísticos, como el tiempo medio o percentiles, para fines de diseño (Smith, 2021).

2.2.14.2. Indicadores de disponibilidad y Mantenibilidad.

MTBF: Mean Time Between Failures: El MTBF, conocido como tiempo medio entre fallas, es un indicador ampliamente utilizado para evaluar la confiabilidad de los equipos reparables. Este indicador determina el tiempo promedio de operación transcurrido entre una falla y la siguiente, proporcionando información sobre el desempeño y la continuidad operativa del equipo (Lameirinhas, 2020).

Figura 27

Formula de Tiempo Medio Entre Fallos



Nota. Tomado de *(Lameirinhas, 2020).*

La manera más adecuada de gestionar este indicador consiste en calcularlo de forma individual para cada equipo, ya que ello permite analizar su comportamiento específico y planificar intervenciones de mantenimiento acordes con su condición operativa. Además, debe considerarse que cada activo presenta un ciclo de vida diferente, por lo que el seguimiento individual facilita una mejor gestión del mantenimiento (Lameirinhas, 2020).

Un valor elevado de MTBF indica un mejor desempeño del equipo, debido a que el intervalo de tiempo entre fallas es mayor y, en consecuencia, la frecuencia de averías disminuye.

Principales Errores Cometidos:

- Calcular un único MTBF considerando la totalidad de los equipos.
- Calcular el MTBF en equipos irreparables

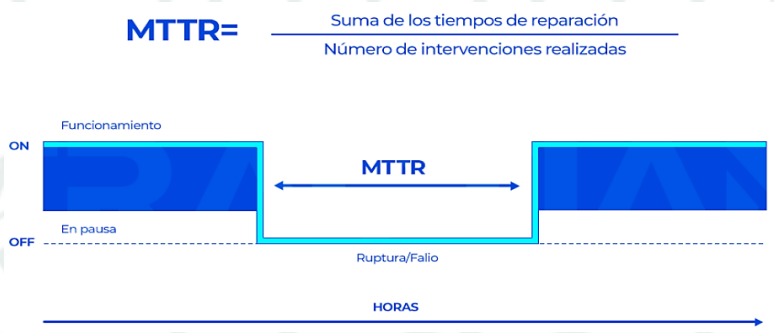
- Reiniciar el cálculo del MTBF al finalizar cada mes, en lugar de mantener el registro acumulado.

En la actualidad, diversos sistemas informáticos de mantenimiento predictivo permiten estimar la ocurrencia de fallas mediante el análisis de variables como la vibración y la temperatura de los equipos. A partir de esta información, el software puede generar automáticamente órdenes de trabajo para atender las anomalías detectadas. Esta tecnología reemplaza el análisis manual realizado en planillas por un proceso digital ejecutado en tiempo real, mejorando la precisión de los resultados para la toma de decisiones y reduciendo significativamente los tiempos de respuesta (Lameirinhas, 2020).

a) MTTR: Mean Time To Repair: Es un indicador utilizado para evaluar la mantenibilidad de un equipo, ya que expresa el tiempo promedio necesario para devolver un activo a condiciones operativas luego de la ocurrencia de una falla. En consecuencia, este indicador representa el tiempo medio empleado en la reparación del equipo (Lameirinhas, 2020).

Figura 28

Formula Tiempo Medio Para Reparación



Nota. Tomado de *(Lameirinhas, 2020).*

A diferencia del MTBF, un menor valor del MTTR refleja un mejor desempeño, por lo que las estrategias de mantenimiento deben orientarse a minimizar el tiempo promedio de reparación de los equipos.

Principales Errores Cometidos:

- Considerar que el MTTR posee un valor ideal de referencia para todos los equipos.

- Exigir al personal de mantenimiento mantener un MTTR reducido, ya que esta práctica puede propiciar errores durante la ejecución de las reparaciones.

La prioridad del mantenimiento no debe centrarse únicamente en disminuir el MTTR, sino en prevenir la ocurrencia de fallas. En este sentido, el gestor de mantenimiento debe promover el uso de técnicas predictivas y de monitoreo de condición que permitan diagnosticar el estado de los equipos mediante la detección temprana de señales de deterioro. Esto facilita la intervención oportuna antes de que el activo alcance una condición crítica, contribuyendo a mantener su desempeño operativo (Lameirinhas, 2020).

b) Mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad de los activos

La mantenibilidad, la disponibilidad y la confiabilidad constituyen indicadores esenciales para el Planeamiento y Control del Mantenimiento (PCM). En conjunto, permiten evaluar el desempeño de los activos y orientar las acciones de mantenimiento hacia el incremento de su productividad. En este sentido, uno de los principales objetivos del PCM consiste en fortalecer estos tres indicadores para garantizar una gestión eficiente de los activos físicos (Lameirinhas, 2020).

Estos indicadores se determinan a partir de los valores de MTBF y MTTR. No obstante, antes de efectuar su cálculo, es necesario comprender el significado de cada uno de ellos según lo establecido en la Norma NBR 5462:

Mantenibilidad: Se define como la probabilidad de que un activo que ha presentado una falla pueda ser diagnosticado y restablecido a sus condiciones normales de operación dentro de un tiempo determinado y bajo condiciones operativas previamente establecidas.

Disponibilidad: Corresponde a la **capacidad** de un activo para permanecer en condiciones de cumplir la función para la cual fue diseñado en un instante específico o durante un intervalo de tiempo determinado.

Confiabilidad: Es la **probabilidad** de que un activo desempeñe satisfactoriamente la función prevista bajo las condiciones de operación establecidas durante un periodo de tiempo determinado.

Aunque los términos capacidad y probabilidad pueden parecer similares, representan conceptos diferentes. La disponibilidad expresa el porcentaje de tiempo durante el cual un activo permanece apto para operar dentro de un periodo determinado. En cambio, la confiabilidad refleja la probabilidad de que dicho activo continúe funcionando correctamente durante un periodo futuro, sin que ocurra una falla (Lameirinhas, 2020).

Finalmente, para determinar estos indicadores se emplean las siguientes expresiones matemáticas. La disponibilidad se calcula mediante la siguiente fórmula:

Figura 29

Formula de Disponibilidad

$$\text{DISPONIBILIDAD} = \frac{\text{MBTF}}{\text{MBTF} + \text{MTTR}} \times 100$$

Nota. Tomado de *(Lameirinhas, 2020)*.

Cuando se requiere determinar la probabilidad de que un motor mantenga un funcionamiento adecuado durante un periodo futuro, como la semana siguiente, se recurre al cálculo de la confiabilidad:

Figura 30

Formula de Confiabilidad

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

λ = tasa de fracaso	t = tiempo	e = El Número de Euler
$\lambda(t) = \frac{1}{\text{MTBF}}$	Debe seguir la unidad **MTBF (horas, dias...)**	2,71

Nota. Tomado de *(Lameirinhas, 2020)*.

Principales Errores Cometidos:

- Expresar el valor de la confiabilidad sin indicar el periodo de tiempo al que corresponde.

- Ejemplo incorrecto: La confiabilidad de la centrifugadora es de 85,4 %. Ejemplo correcto: La confiabilidad de la centrifugadora es de 85,4 % durante las próximas 400 horas de operación.
- Aplicar la ecuación de confiabilidad a equipos no reparables; en estos casos, la evaluación debe realizarse mediante el análisis de Weibull.

Cuando se requiere estimar la probabilidad de que un equipo recupere sus condiciones de operación en un tiempo específico tras la ocurrencia de una falla, se utiliza el cálculo de la mantenibilidad:

$$M(T) = 1 - \exp\left(-\frac{T}{MTTR}\right)$$

Donde:
- **M(T):** Mantenibilidad
- **T:** Tiempo de reparación
- **MTTR:** tiempo medio para reparar
- **λr** : Tasa de reparación

Figura 31

Formula de Mantenibilidad

Nota. Tomado de *(Lameirinhas, 2020)*.

Para determinar la mantenibilidad se empleará la ecuación de Bernardo, la cual se presenta a continuación:

$$\boldsymbol{M(i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4}}$$

Figura 32

Formula de Bernardo

Nota. Tomado de *(Lameirinhas, 2020)*.

Donde:

M(i): Mantenibilidad estimada con la ecuación bernardo %

i: Acumulada de fallas n: Número total de eventos de fallas

2.2.15. Indicadores de Mantenimiento aplicados al RBM

Tabla 11

Indicadores de mantenimiento aplicados del RBM

INDICADOR	FÓRMULA / DESCRIPCIÓN	INTERPRETACIÓN EN RBM
MTBF (Tiempo medio entre fallas)	MTBF = Tiempo operativo total / Nº de fallas	Mide la **confiabilidad** del activo. Mayor MTBF = menos fallas = menor riesgo.
MTTR (Tiempo medio para reparar)	MTTR = Tiempo total de reparación / Nº de fallas	Mide la **rapidez de recuperación**. MTTR bajo = mayor mantenibilidad.
Disponibilidad operativa (%)	A = MTBF / (MTBF + MTTR) × 100	Mide la **disponibilidad** real del equipo. Impacta la productividad y continuidad operativa.
Confiabilidad (R)	R(t) = e^(−λt), donde λ = 1 / MTBF	Probabilidad de que el equipo no falle en un tiempo t. **Fundamental en análisis de riesgo.**
Mantenibilidad (M)	M(t) = 1 − e^(−μt), donde μ = tasa de reparación (1 / MTTR)	Probabilidad de reparar un equipo dentro de un tiempo t. Mejora disponibilidad y reduce severidad del riesgo.
Índice de criticidad del activo	Evaluación ponderada: seguridad, medio ambiente, producción, costos	Permite priorizar activos según el impacto potencial de sus fallas.
Riesgo inherente	Riesgo = Probabilidad × Consecuencia	Núcleo del RBM. Determina qué activos requieren estrategias preventivas más estrictas.
Reducción del riesgo residual (%)	[(Riesgo inicial – Riesgo residual) / Riesgo inicial] × 100	Evalúa la **efectividad** de las acciones de mantenimiento frente a los riesgos.
Costo de mantenimiento por criticidad	Costos en activos críticos / Total de costos de mantenimiento	Mide si el presupuesto está alineado con los activos de mayor riesgo.
Índice de fallas repetitivas (%)	(Nº fallas recurrentes / Total fallas) × 100	Identifica activos con problemas estructurales no resueltos. Afecta la confiabilidad.

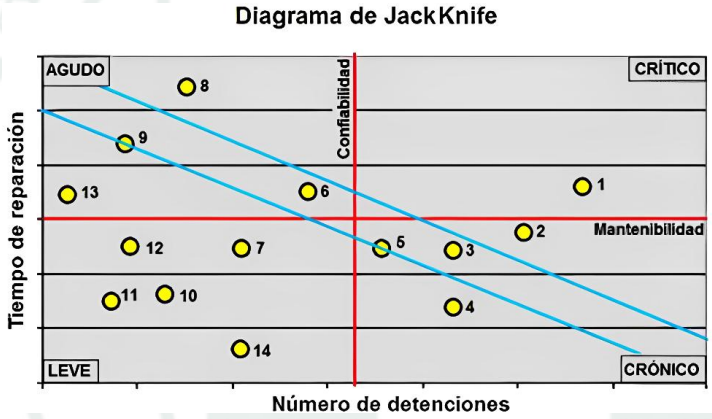
Nota. Elaboración propia.

2.2.16. Análisis Jack Knife Aplicado al Mantenimiento.

El método Jack Knife es una herramienta utilizada para establecer la criticidad de los activos mediante la jerarquización de sus fallas. Su aplicación se basa en el análisis de la dispersión logarítmica de la información disponible, utilizando como variables principales el tiempo medio de reparación (MTTR) y la frecuencia de fallas de los equipos o sistemas. Este método permite evaluar el comportamiento de las fallas desde una perspectiva cualitativa y cuantitativa, contribuyendo a la identificación de los activos con mayor criticidad y facilitando la toma de decisiones en la gestión del mantenimiento (Allauca Naranjo, 2022).

Figura 33

Diagrama de Jackknife



Nota. Tomado de *(Garrido, 2016).*

El diagrama Jack Knife clasifica las fallas en cuatro cuadrantes, de acuerdo con la relación entre el tiempo medio de reparación (MTTR) y la frecuencia de ocurrencia, permitiendo identificar el nivel de criticidad de los equipos o sistemas:

1) AGUDO: Corresponde a fallas con alto tiempo de reparación y baja frecuencia de ocurrencia.

2) LEVE: Agrupa las fallas caracterizadas por un bajo tiempo de reparación y escasa frecuencia.

3) CRÍTICO: Incluye las fallas que presentan elevado tiempo de reparación y alta frecuencia, representando el mayor nivel de criticidad.

4) CRÓNICO: Comprende las fallas con bajo tiempo de reparación, pero con alta frecuencia de ocurrencia.

Asimismo, este método permite interpretar indicadores relacionados con el desempeño del mantenimiento, entre los que destacan:

- Confiabilidad: Incrementa conforme el análisis se desplaza hacia el lado izquierdo del gráfico.
- Mantenibilidad: Aumenta a medida que la evaluación se orienta hacia la parte inferior del gráfico.

Los equipos con mayor confiabilidad se ubican en los cuadrantes izquierdos, mientras que aquellos con mayor mantenibilidad se encuentran en los cuadrantes inferiores. Estos cuadrantes se definen mediante los límites del MTTR (línea horizontal) y el número de detenciones n (línea vertical) (Garrido, 2016).

Dichos límites pueden establecerse según criterios del área de mantenimiento o mediante cálculos basados en magnitudes relativas, lo que permite determinar valores de referencia para clasificar la criticidad de los equipos, como los siguientes:

D= ∑ Tiempo de detenciones

N= ∑ Tiempo de cada falla

Q= Numero de códigos distintivos de las fallas

Una vez definidos estos parámetros, es posible determinar los límites descritos anteriormente:

$$\text{Limite MTTR} = D/N$$

$$\text{Limite n} = N/Q$$

En la Figura 33, las líneas diagonales de color azul corresponden a las denominadas líneas de iso-indisponibilidad, debido a que todas las fallas ubicadas sobre una misma línea generan el mismo nivel de indisponibilidad en el proceso evaluado (Garrido, 2016).

2.2.17. Distribuciones Estadísticas Al Mantenimiento.

Para determinar la confiabilidad y los indicadores asociados, como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), el Tiempo Medio para Reparar (MTTR) y el comportamiento característico de los modos de falla de los componentes, es necesario establecer la función de distribución que representa el comportamiento de las fallas mediante procedimientos analíticos. La selección de una distribución probabilística adecuada depende de diversos factores, entre los que destacan (Calderón, 1999):

- La naturaleza física del componente.
- La información proveniente de datos experimentales o de componentes con características similares.
- Los supuestos considerados para cada distribución probabilística.
- La forma que adopta la gráfica obtenida a partir de los datos disponibles.
- La facilidad y conveniencia para efectuar los cálculos posteriores utilizando la distribución seleccionada.

A partir del histograma de frecuencias es posible identificar la distribución probabilística que mejor representa el comportamiento de una población de datos de fallas. No obstante, esta selección puede realizarse con mayor precisión mediante técnicas de estadística no paramétrica, empleando pruebas de bondad de ajuste como Chi-cuadrado y Kolmogorov-Smirnov. Asimismo, el uso de software estadístico que incorpore estas pruebas permite determinar de forma rápida y confiable la función de distribución que presenta el mejor ajuste para los datos analizados (Calderón, 1999).

En la práctica, los estudios de confiabilidad utilizan con mayor frecuencia las siguientes distribuciones probabilísticas para modelar el comportamiento de las fallas: Distribución Exponencial, Distribución Weibull, Distribución Normal, Distribución Log-Normal y Distribución Gamma. Las principales características de cada una de estas distribuciones se describen a continuación: (Calderón, 1999).

2.2.17.1. Distribución de Weibull aplicado al mantenimiento.

El análisis de Weibull constituye una herramienta estadística ampliamente utilizada en la ingeniería de confiabilidad y mantenimiento para estudiar el comportamiento de la vida útil de los equipos, la ocurrencia de fallas y la estimación de su confiabilidad.

La distribución de Weibull corresponde a una distribución continua de tres parámetros, por lo que su comportamiento queda definido mediante tres variables fundamentales. Debido a su flexibilidad para representar distintos patrones de falla, es una de las distribuciones más empleadas en los estudios de confiabilidad de activos físicos (Inga & Choccelahua, 2019)

Según Bertram (2009, como se citó en Inga y Choccelahua, 2019), la distribución de Weibull se utiliza ampliamente en el análisis de la vida a fatiga de los materiales. A diferencia de la distribución exponencial negativa, cuya definición depende únicamente del parámetro λ, y de la distribución normal, caracterizada por los parámetros α y σ, la distribución de Weibull requiere la estimación de tres parámetros para describir completamente su comportamiento. Estos corresponden al parámetro de escala (α), el parámetro de forma (β) y el parámetro de origen (γ), los cuales intervienen en la función de densidad de probabilidad. La estimación de estos parámetros permite calcular indicadores como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y la desviación estándar mediante el uso de tablas especializadas. Asimismo, el parámetro de forma (β) proporciona información relevante para identificar la etapa del ciclo de vida del activo y comprender su comportamiento frente a las fallas.

Las expresiones matemáticas de la distribución de Weibull se presentan a continuación, considerando que la variable aleatoria continua t sigue este modelo de distribución.

Función de Densidad:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{-\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}$$

$Endonde \beta, \eta > 0\ y\ (t-\gamma) \geq 0$

En cualquier otra parte $f(t) = 0$

Función de distribución acumulada de probabilidad de fallo:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)}$$

Donde:

β= Parámetro de forma (indicador del mecanismo de falla).

η= Parámetro de escala (unidad de tiempo).

γ= Parámetro de localización (vida mínima).

Función de confiabilidad:

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]}$$

Se hace la observación que para γ=0 y β=1, se reduce a la distribución exponencial, caso particular de la ley de Weibull en dónde:

Tasa de falla (λ):

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

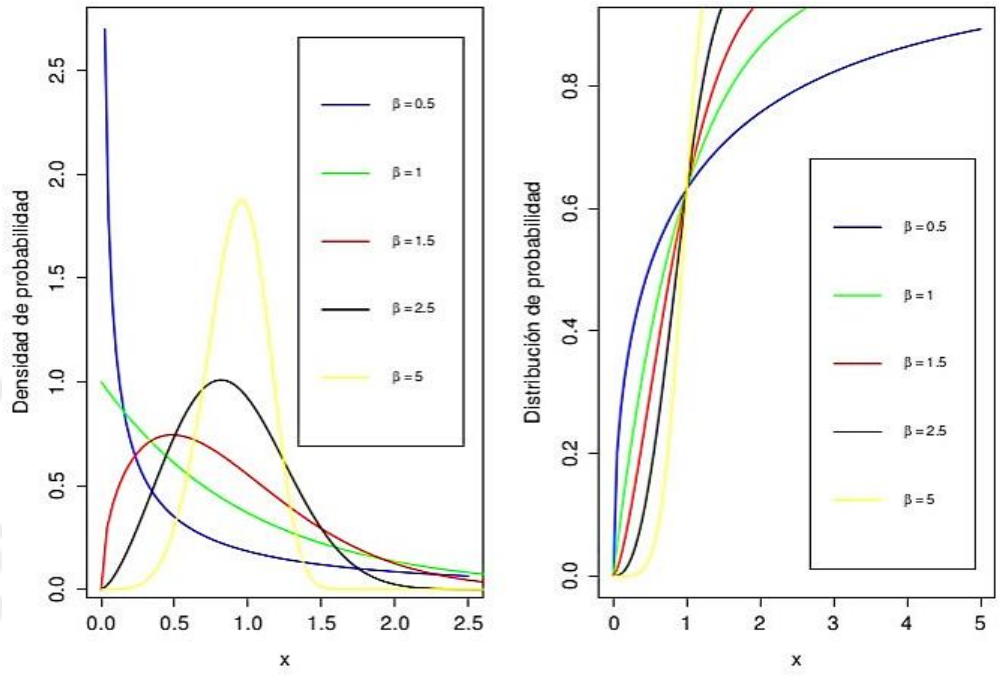
Tasa instantánea de fallo:

$$\lambda(t) = \frac{f\ (t)}{1 - F(t)}$$

En la figura podemos apreciar el comportamiento de la distribución Weibull para diferentes valores del parámetro de Forma β.

Figura 34

Distribución de Weibull para Distintos Valores de β



Nota. Tomado de *(Lameirinhas, 2020).*

La distribución de Weibull se utiliza para modelar el comportamiento de las fallas en sistemas donde la tasa de fallas mantiene una relación proporcional con una potencia del tiempo:

- Un valor $\beta < 1$, indica que la tasa de fallos decrece con el tiempo.
- Cuando $\beta = 1$, la tasa de fallos es constante en el tiempo.
- Un valor $\beta > 1$, indica que la tasa de fallos crece con el tiempo.

2.2.17.2. Distribución Exponencial.

distribución exponencial es uno de los modelos probabilísticos más utilizados por su simplicidad y por su adecuada representación de la etapa central de la curva de la bañera, donde la tasa de fallas permanece constante y las fallas ocurren de manera aleatoria. Bajo este modelo, se asume que el componente no presenta efectos de envejecimiento durante el periodo analizado, por lo que la probabilidad de falla es la misma independientemente del tiempo que lleve en

operación. En consecuencia, un elemento que aún no ha fallado conserva el mismo comportamiento probabilístico que uno completamente nuevo.

Esta distribución permite estimar la probabilidad de ocurrencia de un número determinado de eventos dentro de un intervalo de tiempo definido. Por ello, su aplicación resulta apropiada cuando la tasa de fallas se mantiene constante, condición característica de este modelo probabilístico (Zegarra, 2019).

$$\lambda(t) = \lambda$$

La función de confiabilidad correspondiente es entonces:

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

La función de distribución de probabilidad de fallo, por tanto:

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

Y la función de densidad f (t):

$$f(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t}, & x \geq 0 \\ 0, & de\ otro\ modo \end{cases}$$

El valor esperado y la varianza de una variable aleatoria X con distribución exponencial son:

$$E(x) = \frac{1}{\lambda}; V(x) = \sigma^2 = \frac{1}{\lambda^2}$$

$\boldsymbol{\lambda(t)}$: Tasa de ocurrencia de fallos por unidad de tiempo.

$\boldsymbol{\sigma^2}$: Varianza.

$\boldsymbol{F(t)}$: Función de distribución acumulada de fallas.

$\boldsymbol{f(t)}$: Función de densidad de fallas.

$\boldsymbol{R(t)}$: Función de confiabilidad

$\boldsymbol{E(x)}$: Función de la media.

En el análisis de confiabilidad, la distribución exponencial constituye uno de los modelos probabilísticos de mayor aplicación, debido a las siguientes características:

- Es sencilla de tratar algebraicamente.

- Se considera adecuada para modelar el intervalo de vida funcional de ciclo de vida del dispositivo.
- La distribución exponencial aparece cuando la tasa de fallos es constante. $\boldsymbol{\lambda(t)} = \lambda$

Cuando la tasa de fallos se mantiene constante, la función de distribución de fallas es exponencial. En este caso, la probabilidad de que una unidad en operación falle en el siguiente instante es independiente del tiempo que haya estado funcionando, lo que indica que no presenta efectos de envejecimiento y que es igualmente probable que falle tanto cuando es nueva como cuando ha estado en servicio por más tiempo; es decir: la probabilidad de falla permanece constante y no depende de la edad del equipo (Romero, 2012).

2.2.18. Proceso de Selección de Estrategias

Según Basson (2019), el mantenimiento basado en el riesgo permite seleccionar estrategias proactivas técnicamente viables, definiendo además su frecuencia y responsables de ejecución. La factibilidad depende de las características de la tarea y del tipo de falla, mientras que su conveniencia está asociada al nivel de mitigación del riesgo. Cuando no existen acciones preventivas eficaces, se recurre a un enfoque reactivo controlado o al rediseño del sistema.

La selección de la estrategia considera los siguientes criterios:

- **Fallas ocultas con impacto en seguridad o medio ambiente:** se priorizan tareas preventivas que reduzcan el riesgo; si no son viables, se aplican inspecciones programadas y, en última instancia, el rediseño del sistema.
- **Fallas ocultas con impacto económico:** se adoptan tareas proactivas costo-efectivas o búsquedas periódicas de fallas; si no son viables, se evalúa el rediseño.
- **Fallas con consecuencias operativas directas:** se implementan intervenciones solo si el costo es menor que el de la falla; de lo contrario, se adopta mantenimiento correctivo o mejoras en protección.

- **Fallas con riesgo tolerable:** se aplican tareas preventivas solo si generan ahorro; si no, se utiliza mantenimiento correctivo o cambios estructurales.

Este enfoque permite concentrar las estrategias proactivas en fallas críticas, reducir tareas innecesarias y mejorar la efectividad del mantenimiento, a diferencia del enfoque tradicional que define políticas uniformes sin considerar el contexto ni las consecuencias de falla (Basson, 2019).

El mantenimiento proactivo es una estrategia orientada a eliminar las causas raíz de las fallas mediante mejoras en el diseño, operación o condiciones del activo, con el fin de incrementar la confiabilidad y reducir la probabilidad de ocurrencia de fallas futuras (Basson, 2019).

2.2.19. Aplicación del Mantenimiento Basado en el Riesgo

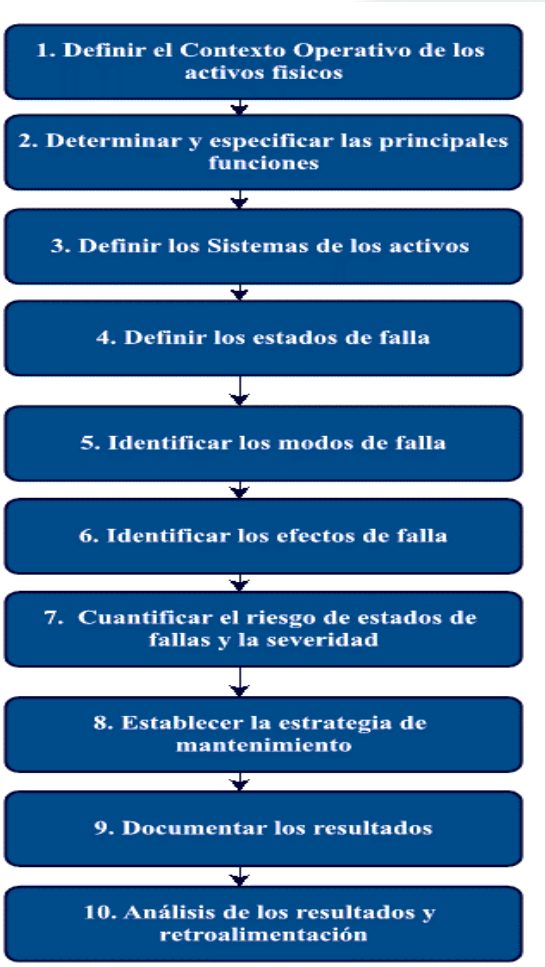
Para implementar eficazmente una estrategia de mantenimiento basada en el riesgo, es necesario analizar cada activo o sistema considerando una serie de preguntas fundamentales que permiten identificar sus vulnerabilidades y determinar las acciones más adecuadas para su gestión (Basson, 2019).

- ¿Cuál es el entorno operativo en el que funciona el activo o sistema?
- ¿Cuáles son sus funciones principales y los niveles de rendimiento esperados dentro de dicho contexto?
- ¿De qué formas específicas podría fallar en el cumplimiento de sus funciones?
- ¿Qué factores o condiciones podrían provocar cada tipo de falla?
- ¿Cuáles serían las consecuencias si dichas fallas se presentaran? (esto incluye tanto los efectos directos como la gravedad de sus impactos).
- ¿Qué nivel de riesgo implica cada tipo de falla identificado? (riesgo inherente estimado o cuantificado)
- ¿Qué acciones pueden tomarse para mitigar esos riesgos hasta niveles aceptables?
- ¿Qué medidas pueden implementarse que equilibren adecuadamente el costo de su aplicación con el beneficio en reducción del riesgo?

Estas interrogantes pueden organizarse visualmente mediante un diagrama de flujo que represente el proceso lógico de toma de decisiones para cada activo o sistema evaluado:

Figura 35

Secuencia de Análisis de MBR



Nota. Adaptado de *(Basson, 2019)*.

El desarrollo de esta metodología se efectuará de acuerdo con las etapas que se presentan a continuación:

2.2.19.1. Paso 1 – Definir el Contexto Operacional

El primer paso del mantenimiento basado en el riesgo consiste en identificar los activos físicos de la Asociación de Empresas Metalmecánicas y asignarles una codificación única, para posteriormente realizar un análisis de criticidad que permita priorizarlos según su impacto en el proceso productivo. La jerarquía y clasificación de los activos se establecen siguiendo la norma ISO 14224:2016 (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2016), definiendo un

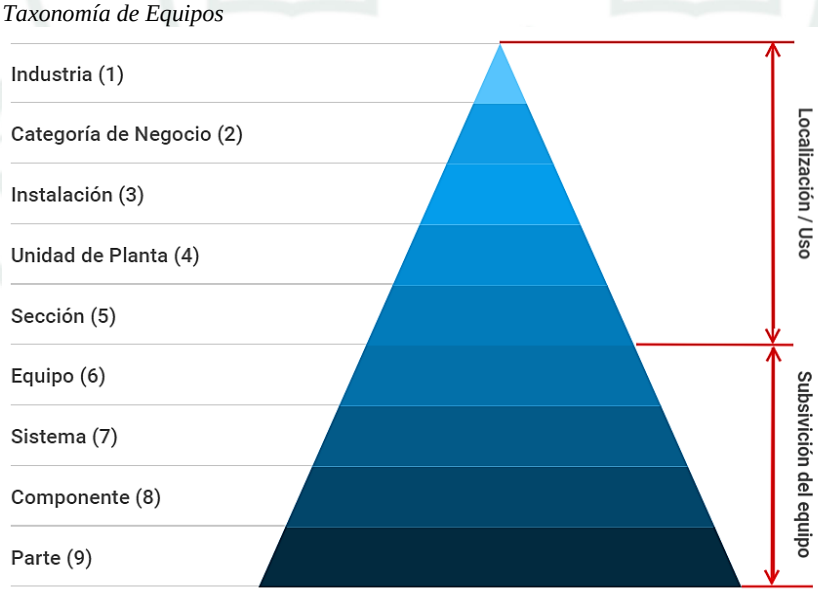
contexto operacional que incluya la descripción del proceso, el rol del activo, su repercusión en el negocio y su funcionalidad (Basson, 2019).

Según la propuesta metodológica se deben considerar los siguientes aspectos:

- **Descripción del proceso**: Explicar en qué consiste el proceso productivo vinculado al activo y detallar las condiciones del entorno en que opera (interior/exterior, ambiente limpio o contaminado, seco o húmedo, entre otros), así como identificar al personal encargado de su operación.
- **Rol del activo en el proceso**: Indicar su finalidad principal y cómo contribuye al funcionamiento general del sistema, incluyendo la interacción con otras áreas o equipos.
- **Repercusión en el negocio**: Analizar qué consecuencias genera una falla o bajo desempeño del activo, tanto en la calidad del producto o servicio como en la atención al cliente.
- **Funcionalidad del activo**: Elaborar una descripción técnica basada en el flujo lógico del proceso, señalando sus componentes clave, la existencia de equipos en reserva o redundancia, y la necesidad de materiales o condiciones de operación especiales.

Figura 36

Taxonomía de Equipos



Nota. Tomado de *(ISO, 2016)*.

Posteriormente, se realiza el análisis de criticidad utilizando información del sistema de mantenimiento y del entorno operativo, basado en el proceso, el cual evalúa el escenario de fallo más crítico, la existencia de protecciones, las consecuencias del fallo, la frecuencia de ocurrencia y el nivel de riesgo aceptable. Con estos resultados, los activos se organizan y priorizan para orientar las intervenciones del mantenimiento basado en riesgos. La criticidad no determina la frecuencia del mantenimiento, pero sí define qué sistemas deben incluirse en el programa de mantenimiento (Basson, 2019).

2.2.19.2. Paso 2 – Establecer las Funciones de Activos Físicos.

El segundo paso consiste en definir las funciones de los activos físicos, considerando tanto funciones primarias como secundarias, las cuales se documentan en fichas técnicas con sus parámetros operacionales. Esta información es necesaria para la aplicación del mantenimiento basado en el riesgo y debe verificarse mediante revisión documental e inspecciones en campo (Basson, 2019).

Las funciones primarias corresponden a la razón principal del activo, mientras que las secundarias son funciones adicionales esperadas (SAE International [SAE], 2002). El proceso incluye la identificación y ubicación de los activos, su clasificación por criticidad, la recopilación de información técnica y la identificación de redundancias y dispositivos de protección.

2.2.19.3. Paso 3 – Determinar los Sistemas de Activos Físicos.

En este paso, los activos se descomponen jerárquicamente en sistemas, subsistemas y componentes, con el fin de identificar elementos susceptibles a fallas por desgaste, diseño o intervención humana, y facilitar el análisis de modos y consecuencias de fallo. Esta información se obtiene principalmente de manuales de operación y mantenimiento, lo que también permite identificar correctamente los componentes y su reposición (Basson, 2019).

Además, el mantenimiento basado en el riesgo se complementa con la gestión de repuestos, ya que estos reducen el tiempo medio de reparación (MTTR) y mitigan las consecuencias de las fallas. La estrategia de inventario debe equilibrar los costos de almacenamiento con los impactos derivados de la falta de repuestos, considerando los tiempos de entrega y las características logísticas (Basson, 2019).

Asimismo, la disponibilidad de habilidades técnicas y recursos logísticos influye en la gestión de fallas, debido a que la necesidad de personal especializado o reparaciones externas puede aumentar el tiempo de inactividad y los costos. Por ello, estos factores deben considerarse en la definición del contexto operativo y en la estrategia de mantenimiento basada en el riesgo (Basson, 2019).

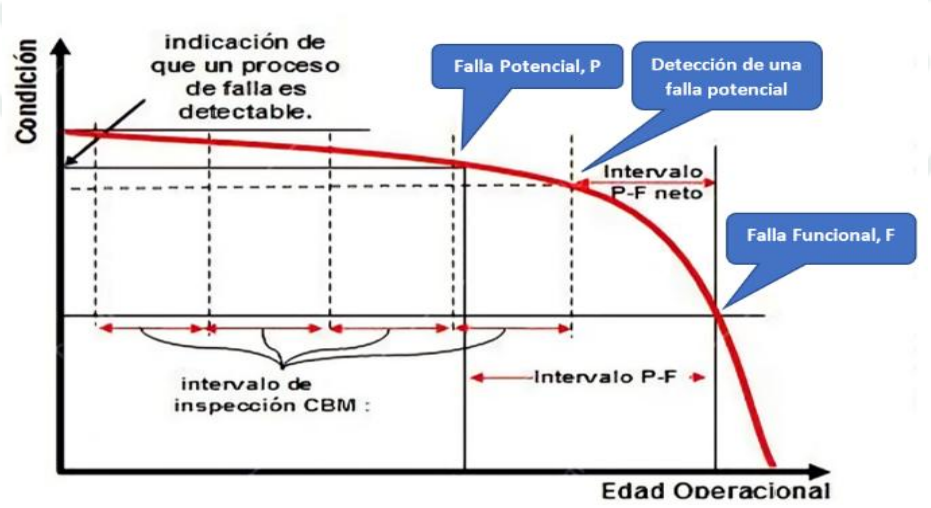
2.2.19.4. Paso 4 – Identificar los Estados de Falla de los Activos Físicos

En este paso, una vez definidas las funciones de los activos, se identifican las condiciones en las que un equipo se considera en estado de falla. Para ello, se recopila información mediante encuestas al personal de operaciones, mantenimiento y otras áreas, debido a que la definición de falla puede variar entre los distintos actores. Esta integración de criterios permite establecer una visión común y mejorar la efectividad del mantenimiento basado en el riesgo.

La identificación de los estados de falla se apoya en el concepto del intervalo P-F, que describe la evolución desde la falla potencial hasta la falla funcional, permitiendo definir estrategias de detección y mantenimiento basado en condición. Para ello, es necesario establecer criterios de desempeño que permitan reconocer las fallas funcionales, optimizar el uso de recursos y definir estándares operativos de forma colaborativa entre mantenimiento, operaciones y otras áreas involucradas (SAE, 2002).

Figura 37

Diagrama de Intervalo P-F



Nota. Tomado de *(SAE, 2002)*.

2.2.19.5. Paso 5 – Identificar los Modos de Falla.

Después de identificar los estados de falla, se determinan las causas que los originan, conocidas como modos de falla, los cuales representan los eventos o condiciones que impiden que un activo cumpla su función. Es importante diferenciar el estado de falla funcional, que describe la pérdida de la función, del modo de falla, que corresponde al evento o mecanismo que la provoca.

La identificación de los modos de falla se realiza a partir de los estados de falla, listando las posibles causas que pueden generarlos. Este análisis es fundamental para pasar de un mantenimiento correctivo a un enfoque proactivo, ya que permite anticiparse a los eventos más probables y definir estrategias preventivas. Una vez identificados los modos de falla, se pueden evaluar sus consecuencias, estimar los riesgos y establecer acciones para prevenir, detectar o mitigar las fallas antes de que afecten el funcionamiento del activo (Basson, 2019).

Un modo de fallo es un evento el cual causa un estado de falla y los mecanismos que llevan a cabo el estado de falla.

2.2.19.6. Paso 6 – Identificar los Efectos de Falla.

Después de identificar los modos de falla, se procede a evaluar los efectos que estos generan cuando se presentan. Los efectos de falla describen lo que sucede como consecuencia de un modo de falla específico, mientras que las consecuencias representan la magnitud o el impacto que dicho evento ocasiona. Esta diferenciación constituye un aspecto fundamental dentro del análisis de confiabilidad (Moubray, 2004).

La identificación de los efectos de falla constituye la base para analizar sus consecuencias y establecer estrategias de mantenimiento destinadas a prevenir, reducir o controlar sus impactos. Con este propósito, se recopila información relacionada con la evidencia de la falla, los riesgos para la seguridad y el medio ambiente, las repercusiones sobre la operación, los daños ocasionados al sistema y las acciones requeridas para recuperar su funcionamiento.

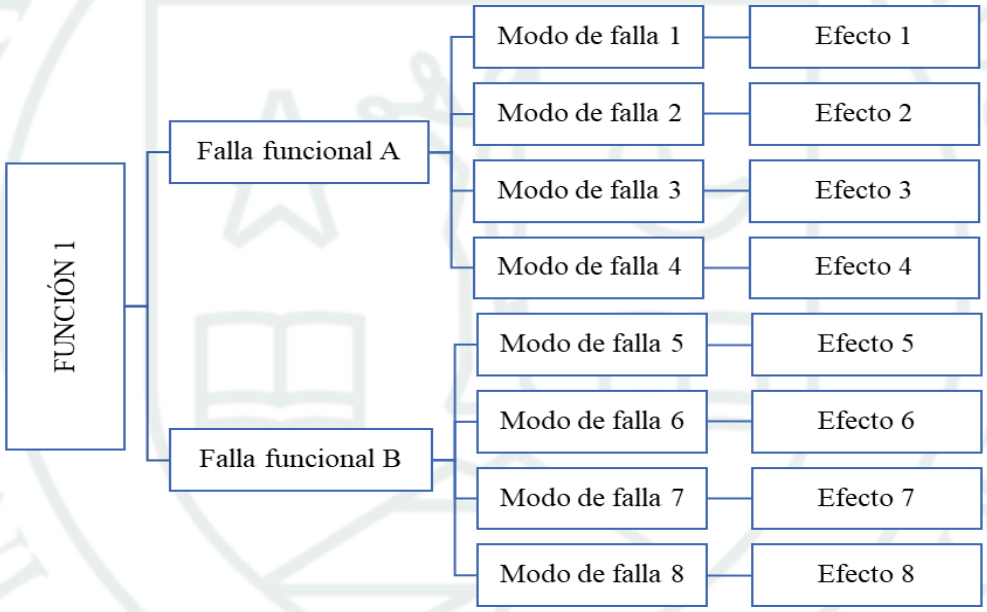
Los efectos derivados de una falla pueden afectar el desempeño del sistema, la calidad del servicio, la seguridad, el medio ambiente y los costos de operación.

De acuerdo con la magnitud de sus consecuencias, las fallas pueden abordarse mediante estrategias de mantenimiento preventivo o correctivo. Generalmente, las consecuencias de las fallas se clasifican en fallas evidentes u ocultas, efectos sobre la seguridad, impactos ambientales, consecuencias operacionales y efectos funcionales o económicos (SAE, 2002).

El Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) se desarrolla mediante un proceso sistemático en el que, para cada función del activo, se identifican las fallas funcionales, los modos de falla y sus respectivos efectos, tal como se presenta en la siguiente figura:

Figura 38

Proceso del análisis de Mod y efecto de falla



Nota. Tomado de *(Moubray, 2004)*.

2.2.19.7. Paso 7 – Evaluar el Riesgo de los Activos Físicos.

En este paso, una vez identificados los estados de falla, modos de falla y sus efectos, se estima el nivel de riesgo que estos representan para el proceso productivo, considerando la probabilidad de ocurrencia y la severidad de sus consecuencias, especialmente en los activos críticos. Esta información se documenta para facilitar la toma de decisiones y la priorización de acciones de mantenimiento basado en el riesgo (Basson, 2019).

La evaluación del riesgo implica analizar los modos de falla, sus efectos y el impacto físico, operativo y económico que podrían generar, con el fin de asignar recursos adecuados y mantener el riesgo en niveles aceptables. Existen enfoques subjetivos, cualitativos y cuantitativos para evaluar el riesgo; sin embargo, en esta metodología se emplea el análisis cuantitativo mediante matrices que combinan probabilidad y severidad para clasificar los niveles de riesgo (Basson, 2019).

2.2.19.8. Paso 8 – Establecer la Estrategia de Mantenimiento.

Una vez cuantificado el riesgo de cada modo de falla, se define la estrategia de mantenimiento más adecuada considerando la criticidad de los activos y el contexto operativo, técnico y económico. Las acciones pueden incluir mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo o proactivo, seleccionadas según su viabilidad y relación costo-beneficio (Basson, 2019).

Para ello, se evalúa cada modo de falla con el fin de reducir los riesgos inaceptables y optimizar los riesgos tolerables mediante medidas rentables. Las estrategias se orientan principalmente a disminuir la probabilidad de falla o a minimizar la severidad de sus consecuencias, mediante acciones proactivas, mejoras de diseño y mantenimiento basado en confiabilidad que permitan preservar la funcionalidad del activo (Basson, 2019).

2.2.19.9. Paso 9 – Documentar los Resultados.

Como etapa final, se registran de manera sistemática los resultados obtenidos y se integran en los historiales técnicos de los equipos. Esta documentación permite dar seguimiento a la aplicación del mantenimiento basado en el riesgo, apoyar la toma de decisiones y facilitar la actualización o mejora de la estrategia según las condiciones reales de operación y las necesidades de la organización.

2.2.19.10. Paso 10 – Análisis de los Resultados y Retroalimentación.

En este paso se analizan los resultados obtenidos tras la implementación de la estrategia de mantenimiento basada en el riesgo, evaluando su efectividad mediante indicadores de confiabilidad y disponibilidad de los activos. Este análisis

permite verificar si las acciones aplicadas han reducido los riesgos identificados y mejorado el desempeño operativo.

Asimismo, la retroalimentación obtenida se utiliza para actualizar la información de los activos, ajustar la evaluación de riesgos y optimizar las estrategias de mantenimiento. Este proceso continuo garantiza la mejora permanente del mantenimiento basado en el riesgo y su adaptación a las condiciones reales de operación.

2.3. Definición de Términos

- **Consecuencias Operacionales:** Efectos derivados de una falla que reducen el desempeño operativo de un activo o sistema, afectando la producción, la calidad, el servicio al cliente y los costos de operación, además de los gastos de reparación (SAE, 2002).
- **Contexto operacional:** Conjunto de condiciones que influyen en la operación y el mantenimiento de un activo, entre ellas los factores ambientales, la normativa, los reglamentos y los estándares de calidad aplicables (SAE, 2002).
- **Desempeño deseado:** Nivel de rendimiento que el propietario o usuario espera que alcance un activo físico o sistema durante su operación (SAE, 2002).
- **Efecto de Falla:** Consecuencia que se genera cuando ocurre un determinado modo de falla (SAE, 2002).
- **Falla Evidente**: Modo de falla cuyos efectos pueden ser identificados por el personal de operación durante las condiciones normales de funcionamiento (SAE, 2002).

- **Falla Funcional:** Situación en la que un activo o sistema pierde la capacidad de cumplir una función específica con el nivel de desempeño requerido (SAE, 2002).
- **Falla Oculta:** Modo de falla cuyos efectos no son detectables por el personal de operación en condiciones normales de servicio (SAE, 2002).
- **Falla Potencial:** Condición identificable que evidencia el inicio del deterioro y anticipa la ocurrencia de una falla funcional (SAE, 2002).
- **Función:** Actividad o propósito que el propietario o usuario espera que desempeñe un activo físico o sistema (SAE, 2002).
- **Función Evidente:** Función cuya pérdida puede ser detectada fácilmente por el personal de operación durante el funcionamiento normal (SAE, 2002).
- **Función Oculta:** Función cuya pérdida no resulta perceptible para el personal de operación bajo condiciones normales (SAE, 2002).
- **Función Primaria:** Propósito principal por el cual se incorpora un activo, como producción, almacenamiento o aseguramiento de la calidad (SAE, 2002).
- **Funciones Secundarias:** Funciones complementarias relacionadas con la protección, el control, la seguridad, el cumplimiento normativo y la eficiencia del activo (SAE, 2002).
- **Intervalo P-F:** Tiempo transcurrido desde que una falla potencial puede detectarse hasta que evoluciona hacia una falla funcional (SAE, 2002).
- **Intervalo P-F Neto:** Menor periodo estimado entre la detección de una falla potencial y la manifestación de una falla funcional (SAE, 2002).

- **Modo de Falla:** Evento o mecanismo que ocasiona la pérdida de una función o provoca una falla funcional del activo (SAE, 2002).
- **Efectos de Falla:** Describen las consecuencias que produce cada modo de falla sobre el activo o sistema (SAE, 1999).
- **Operar hasta Fallar:** Estrategia de mantenimiento que consiste en permitir que el activo continúe operando hasta que ocurra una falla, sin aplicar acciones preventivas para evitarla (SAE, 2002).
- **Disponibilidad:** Aptitud de un activo para encontrarse en condiciones de cumplir la función requerida cuando sea solicitado (ISO 14224, 2016).
- **Confiabilidad:** Probabilidad de que un activo desempeñe la función para la cual fue diseñado durante un periodo determinado y bajo condiciones establecidas, sin presentar fallas (ISO 14224, 2016).
- **Mantenibilidad:** Capacidad de un activo para ser restaurado a condiciones operativas mediante actividades de mantenimiento ejecutadas bajo condiciones específicas (ISO 14224, 2016).
- **Riesgo:** efecto de la incertidumbre sobre los objetivos (ISO, 2018).
- **Activo:** Recurso o bien perteneciente a una organización que genera valor y contribuye al logro de sus objetivos (SAE, 1999).
- **Ley de Weibull:** Distribución probabilística continua de tres parámetros utilizada ampliamente para modelar el comportamiento de las fallas y analizar la confiabilidad de los activos.
- **Criticidad:** Nivel de prioridad asignado a un activo de acuerdo con el impacto que tendría su falla sobre la operación.

- **Datos técnicos:** Información que reúne las características técnicas, operativas y generales de un equipo para facilitar su identificación y gestión (Zegarra, 2019).
- **Mantenimiento correctivo:** Tipo de mantenimiento ejecutado después de presentarse una falla funcional para restablecer la capacidad operativa del active (ISO 14224, 2016).
- **Mantenimiento preventivo:** mantenimiento que ejecuta en tiempos determinados en base a un criterio prescrito y su objetivo es minimizar las probabilidades de falla o de humillación de la funcionalidad (ISO 14224, 2016).
- **Mantenimiento predictivo:** Estrategia basada en el monitoreo continuo de la condición del activo para detectar oportunamente señales de deterioro y programar intervenciones antes de que ocurra la falla (ISO 14224, 2016).
- **Mantenimiento Proactivo:** Conjunto de acciones orientadas a prevenir la aparición de fallas mediante restauraciones programadas, mantenimiento basado en condición u otras estrategias preventivas (ISO 14224, 2016).
- **MTBF:** Indicador que representa el tiempo promedio transcurrido entre fallas sucesivas de un componente o equipo reparable (ISO 14224, 2016).
- **MTTR:** Indicador que expresa el tiempo promedio requerido para reparar un equipo y restablecer su funcionamiento (ISO 14224, 2016).
- **AMEF:** Herramienta de análisis empleada para identificar los modos de falla, evaluar sus efectos y establecer acciones para minimizar sus consecuencias (Moubray, 2004).

- **Consecuencias Ambientales:** Impactos ocasionados por una falla que generan incumplimiento de requisitos o regulaciones ambientales aplicables al activo o sistema (SAE, 2002).
- **Capacidad Inicial:** Nivel de desempeño que un activo puede alcanzar cuando inicia su operación (SAE, 2002).
- **Usuario:** Persona u organización encargada de operar un activo y que puede verse afectada por las consecuencias derivadas de un modo de falla (SAE, 2002).
- **Dueño:** Persona u organización propietaria del activo que asume la responsabilidad por las consecuencias asociadas a un modo de falla (SAE, 2002).
- **Error humano:** Diferencia entre la acción ejecutada y la acción que realmente se pretendía realizar (ISO 14224, 2016).
- **Nivel jerárquico:** Grado de subdivisión de un activo o elemento utilizado para organizar las actividades de mantenimiento (ISO 14224, 2016).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo de la investigación

La presente investigación corresponde a un estudio de tipo básico y aplicado, debido a que integra el desarrollo de conocimientos teóricos con su aplicación para resolver un problema específico dentro del contexto de estudio.

3.1.1. Investigación básica.

La investigación básica tiene como propósito ampliar el conocimiento mediante la recopilación, análisis e interpretación de información. Asimismo, busca fortalecer los fundamentos teóricos y contribuir al desarrollo de principios y modelos que sirvan de base para futuras investigaciones.

3.1.2. Investigación aplicativa.

La investigación aplicada se orienta a emplear los conocimientos teóricos para dar solución a problemas concretos dentro de un contexto determinado. En el presente estudio, se plantea la implementación de un plan de mantenimiento basado en riesgos en la asociación de empresas metalmecánicas, con el propósito de fortalecer la gestión de los activos físicos, optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles y reducir la ocurrencia de fallas y paradas no programadas.

3.2. Metodología del Proyecto

3.2.1. Diseño Metodológico.

La presente investigación adopta un **diseño cuasi experimental, longitudinal, de nivel descriptivo–correlacional y con enfoque cuantitativo**.

Se considera **cuasi experimental**, ya que se realizará una comparación entre dos mediciones de los indicadores de mantenimiento: antes y después de aplicar el plan de gestión basado en el riesgo, sin manipular las variables en un entorno controlado, sino en condiciones reales de trabajo.

El diseño cuasi experimental resulta apropiado para investigaciones en las que no es posible ejercer un control absoluto sobre todas las variables o condiciones del estudio. Su finalidad es alcanzar el mayor nivel de control posible dentro del contexto donde se desarrolla la investigación, aun cuando los participantes pertenezcan a grupos previamente establecidos. En este tipo de

diseño no existe la posibilidad de asignar aleatoriamente a los sujetos de estudio, por lo que se trabaja con grupos intactos, es decir, grupos que ya se encuentran conformados antes del inicio de la investigación (Cardona, 2003).

El diseño es **longitudinal**, porque el estudio implica la recolección de datos en dos momentos del tiempo: el diagnóstico inicial y el resultado posterior a la implementación del plan propuesto.

Es de **nivel descriptivo**, porque se caracterizarán los activos físicos, su nivel de riesgo y sus condiciones operativas a partir de indicadores como el MTBF, MTTR, disponibilidad y confiabilidad.

También es de **nivel correlacional**, ya que se buscará determinar la relación entre la aplicación del plan de mantenimiento basado en el riesgo y la mejora en los indicadores de gestión.

El **enfoque cuantitativo** se justifica por el uso de datos numéricos, indicadores técnicos y herramientas estadísticas para analizar y comparar los resultados obtenidos.

3.2.2. Población, Muestreo y Muestra.

3.2.2.1. Población.

De acuerdo con López (2004), a población corresponde al conjunto de elementos, individuos o unidades de análisis sobre los cuales se desea obtener información para el desarrollo de una investigación. Esta puede estar conformada por personas, animales, objetos u otros elementos de interés.

En la presente investigación, la población estará constituida por los activos físicos pertenecientes a las empresas que integran la asociación de empresas metalmecánicas de la ciudad de Ilo. Asimismo, se contará con la participación del personal técnico, responsables de mantenimiento y gerentes de operaciones, quienes proporcionarán información relevante para el desarrollo de la investigación y el análisis de la gestión de los activos físicos.

3.2.2.2. Muestreo.

El presente estudio utilizará un muestreo no probabilístico de tipo intencional o por criterio técnico, debido a que no se requiere seleccionar unidades de manera aleatoria, sino aquellas que cumplan condiciones específicas de criticidad y relevancia operativa.

Se seleccionarán únicamente aquellas empresas que cuenten con activos físicos representativos, los cuales:

- Presenten alta frecuencia de fallas
- Generen impacto significativo en la operación
- Posean historial técnico documentado
- Y cuyos responsables estén dispuestos a colaborar activamente con el proceso de evaluación y validación del plan de mantenimiento propuesto.

Este tipo de muestreo es coherente con el diseño cuasi experimental, dado que se requiere comparar los indicadores técnicos antes y después de la intervención sobre activos específicos, por lo que se priorizará la calidad y relevancia de los datos más que la representatividad estadística.

Asimismo, se utilizarán herramientas como la matriz de criticidad y el análisis FMEA para confirmar que los activos seleccionados cumplen con los criterios de inclusión definidos para el estudio.

3.2.2.3. Muestra.

De acuerdo con López (2004), la muestra corresponde a una parte representativa de la población o del universo de estudio, seleccionada para obtener la información necesaria durante el desarrollo de la investigación. Su determinación puede realizarse mediante diferentes procedimientos y métodos de muestreo, según las características del estudio.

En la presente investigación, la muestra estará conformada por los activos físicos críticos pertenecientes a las empresas que integran la asociación de empresas metalmecánicas de la ciudad de Ilo, debido a que estos tienen una influencia directa en la continuidad de las operaciones y en los costos asociados al mantenimiento correctivo.

3.2.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

3.2.3.1. Técnica:

- Observación directa
- Análisis documental
- Aplicación de matrices de riesgo (RCM/FMECA)

3.2.3.2. Instrumento:

- Información técnica proporcionada por la empresa.
- Manuales de los activos físicos.
- Fichas técnicas de los equipos evaluados.
- Plan de mantenimiento de los activos físicos.
- Programa de mantenimiento preventivo vigente en la empresa.
- Registros de fallas e historial de mantenimiento.
- Matriz de criticidad.
- Formatos para el análisis FMECA.

3.2.4. Técnica de Procesamiento y Análisis de Datos.

Se empleará el análisis descriptivo para procesar los datos recopilados. Se utilizarán herramientas como hojas de cálculo Excel, representaciones gráficas para mostrar la priorización de riesgos. Los resultados serán evaluados bajo criterios técnicos como el índice de criticidad, MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas), MTTR (Tiempo Medio de Reparación).

3.2.5. Aspectos Éticos en Investigación.

El desarrollo de esta investigación respetará principios éticos como la confidencialidad, el consentimiento informado y la honestidad académica. Se asegurará que los datos recopilados sean utilizados exclusivamente para fines académicos, preservando la identidad y privacidad de las empresas involucradas.

CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. Implementación de la estrategia de Mantenimiento

El sector metalmecánico constituye una actividad económica estratégica, especialmente en regiones con desarrollo industrial y minero, como el sur del Perú. La asociación conformada por NCK Ingenieros E.I.R.L., Mechanic Plant Ingenieros S.A.C. y Servicios Generales MACKAP E.I.R.L. enfrenta retos por la diversidad de sus activos, la alta exigencia operativa y la necesidad de cumplir con contratos de gran envergadura.

No es suficiente aplicar un único tipo de mantenimiento para todos los equipos. Cada activo cumple un rol específico dentro de los procesos productivos y requiere tareas de mantenimiento acordes a su criticidad, impacto de falla, frecuencia de uso y costo de paradas no programadas.

Actualmente, el mantenimiento tiene un enfoque predominantemente reactivo, con dependencia del correctivo, escasa planificación preventiva y limitada identificación de activos críticos. Esto genera fallas recurrentes, retrasos, sobrecostos y disminuye la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, afectando la competitividad de la asociación.

La metodología de Mantenimiento Basado en Riesgos (RBM) se presenta como una herramienta estratégica para enfrentar estos desafíos. Permite identificar los activos críticos, evaluar los riesgos asociados y priorizar las acciones de mantenimiento según su impacto operativo.

Cada equipo debe ser analizado con detalle para definir intervenciones convenientes, garantizando continuidad operativa, optimización de recursos y funcionamiento óptimo de los activos. En este capítulo, se aplicará RBM a los activos de la asociación, comparando los resultados con la situación inicial para validar y respaldar las mejoras propuestas. La aplicación de las ocho preguntas fundamentales del RBM permitirá comprobar la efectividad de la estrategia y sustentar las acciones de mejora que impacten positivamente en la operación y competitividad de las empresas.

4.2. Paso 1: Definir el Contexto Operativo

4.2.1. Lista de activos físicos

El primer paso del análisis consiste en identificar y organizar los activos físicos existentes en la asociación de empresas. Esta tarea presenta cierta complejidad debido a que los equipos pertenecen a distintas organizaciones que operan de manera conjunta para optimizar el uso de sus recursos. La diversidad de maquinaria, instalaciones y áreas operativas hace necesario estructurar adecuadamente la información para facilitar su análisis dentro del enfoque de mantenimiento basado en riesgos.

Una simple enumeración de activos no es suficiente para la gestión del mantenimiento, ya que no permite comprender la relación entre los equipos ni su importancia dentro del sistema. Por ello, se requiere organizar los activos mediante una taxonomía jerárquica que permita ordenar la información y hacerla útil para la toma de decisiones.

Con base en el análisis de la asociación, se desarrolla un inventario de activos físicos clasificado por áreas operativas. Este inventario se estructura siguiendo niveles de detalle que permitan realizar posteriormente el análisis de criticidad y evaluación de riesgos. Para ello, se consideran cuatro niveles principales: instalación, planta, sección y equipos; posteriormente, se incorpora el nivel de componentes o sistemas, con el propósito de identificar los elementos más relevantes para la gestión del mantenimiento.

Tabla 12

Lista de Activos - Segregación Ilo

INSTALACIÓN	PLANTA	SECCIÓN	EQUIPOS
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**
Instalación N° 1 Asociación de Empresas Metalmecánicas	Planta N°1 NCK	Sección N° 1: Segregación Ilo	Camión Grúa - Mercedes Camión - Hino Dutro Minibús - Renault Master Compresora eléctrica Esmeril manual Generador eléctrico Máquina de soldar Taladro eléctrico

Nota. Elaboración propia

Tabla 13

Lista de Activos - Segregación Toquepala

INSTALACIÓN	PLANTA	SECCIÓN	EQUIPOS
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**
Instalación N° 1 Asociación de Empresas Metalmecánicas	Planta N°4 TOQUEPALA	Sección N° 2: Segregación Toquepala	Camión Grúa - Freghtliner Minibús - Renault Master Compresora eléctrica Esmeril manual Generador eléctrico Máquina de soldar Taladro eléctrico

Nota. Elaboración propia

Tabla 14

Lista de Activos - Segregación Cuajone

INSTALACIÓN	PLANTA	SECCIÓN	EQUIPOS
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**
Instalación N° 1 Asociación de Empresas Metalmecánicas	Planta N°5 CUAJONE	Sección N° 3: Segregación Cuajone	Camión Grúa - Hino Dutro Minibús - Renault Master Compresora eléctrica Esmeril manual Generador eléctrico Máquina de soldar Taladro eléctrico

Nota. Elaboración propia

Tabla 15

Lista de Activos– Alquiler de equipos y maquinaria

INSTALACIÓN	PLANTA	SECCIÓN	EQUIPOS
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**
Instalación N° 1 Asociación de Empresas Metalmecánicas	Planta N°3 MACKAP	Sección N° 5: Alquiler de equipos y maquinaria	Camión Grúa - Scania 1 Camión Grúa - Scania 2 Camión Grúa - Mercedes Camión Grúa - Freghtliner Retroexcavadora - Hidromek Camión - Hino Dutro 1 Camión - Hino Dutro 2 Camioneta - Ford Ranger 1 Camioneta - Ford Ranger 2 Camioneta - Mazda 1 Combi - Hyundai Custer Minibús - Renault Master 1 Minibús - Renault Master 2 Montacargas - Hyundai 5TN Montacargas - Hyundai 16TN 1 Montacargas - Hyundai 16TN 2 Grupo Electrógeno CAT 1 Grupo Electrógeno CAT 2

Nota. Elaboración propia

Tabla 16

Lista de Activos – Metalmecánica.

INSTALACIÓN	PLANTA	SECCIÓN	EQUIPOS
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**
Instalación N° 1 Asociación de Empresas Metalmecánicas	Planta N°2 MPI	Sección N° 4: Metalmecánica	Camión - JMC Country Camión Grúa - Freghtliner Camión Grúa - Scania Camioneta - Ford Ranger 1 Camioneta - Ford Ranger 2 Camioneta - Ford Ranger 3 Camioneta - Mazda 1 Camión - Hino Dutro 1 Camión - Hino Dutro 2 Combi - Hyundai Custer Montacargas - Hyundai 5TN Compresora a combustión Compresora eléctrica Esmeril de banco Esmeril manual Estoca hidráulica Generador eléctrico Grupo Electrógeno CAT 1 Grupo Electrógeno CAT 2 Manlift Manlift Maquina alimentador MIG Máquina de plasma Máquina de soldar Máquina de soldar inversora

Nota. Elaboración propia

Tabla 17

Lista de Activos– Metalmecánica - continuación.

INSTALACIÓN	PLANTA	SECCIÓN	EQUIPOS
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**
Instalación N° 1 Asociación de Empresas Metalmecánicas	Planta N°2 MPI	Sección N° 4: Metalmecánica	Máquina de soldar inversora Moto soldadora Pistola neumática Plegadora Prensa hidráulica Pistola Inalámbrica Roladora Roscadora Rotomartillo Taladro de banco Taladro de diamantina Taladro de diamantina Taladro eléctrico Taladro magnético Tecle manual Torno Tortuga de corte Tronzadora Turbineta

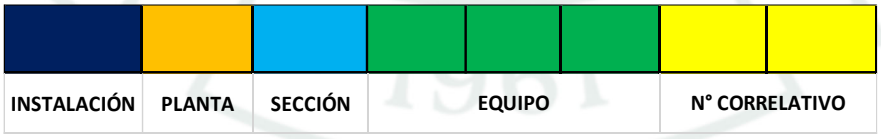
Nota. Elaboración propia

4.2.2. Codificación de activos físicos

Luego de elaborar el inventario, se asigna un código único a cada activo para facilitar su identificación y el registro de mantenimiento. La codificación se realiza según la norma ISO 14224:2016, utilizando una estructura jerárquica que permita organizar y controlar los equipos. Posteriormente, se presentan los códigos definidos para su identificación e implementación.

Figura 39

Estructura de Codificación para activos



Nota. Adaptado de (ISO, 2016)

En la siguiente tabla se presentan los códigos de los equipos para su identificación e implementación.

Tabla 18

Códigos según tipo de activos de la asociaron de empresas

EQUIPO	SIGLAS	EQUIPO	SIGLAS
Camión - Hino Dutro	CAH	Maquina alimentador MIG	MIG
Camión - JMC Country	CAJ	Máquina de plasma	MPL
Camión Grúa - Freghtliner M2	CGF	Máquina de soldar	MSO
Camión Grúa - Hino Dutro	CGH	Máquina de soldar inversora	MSI
Camión Grúa - Mercedes	CGM	Moto soldadora	MTO
Camión Grúa - Scania	CGS	Pistola neumática	PIN
Camioneta - Ford Ranger	CAF	Pistola Inalámbrica	PIL
Camioneta - Mazda	CAM	Plegadora	PLG
Combi - Hyundai Custer	COC	Prensa hidráulica	PRH
Minibús - Renault Master	MIB	Roladora	RLD
Montacargas - Hyundai 160D-7E	MOE	Roscadora	RSC
Montacargas - Hyundai 50DA-9K	MOK	Rotomartillo	RMT
Retroexcavadora - Hidromek	RET	Taladro de banco	TDB
Compresora a combustión	COC	Taladro de diamantina	TDM
Compresora eléctrica	COE	Taladro eléctrico	TEL
Esmeril de banco	EBA	Taladro magnético	TMG
Esmeril manual	EMA	Tecle manual	TCM
Estoca hidráulica	EHI	Torno	TRN
Generador eléctrico	GEL	Tortuga de corte	TTC
Grupo Electrógeno CAT	GRU	Tronzadora	TRZ
Manlift	MAF	Turbineta	TRB

Nota. Elaboración propia.

Luego, considerando el contexto operativo y el área de cada activo, se asignará la codificación correspondiente mediante números correlativos de acuerdo con la cantidad de equipos existentes en cada área.

Tabla 19

Codificación de los activos físicos de la asociaron de empresas

DESCRIPCIÓN	CODIFICACIÓN DE ACTIVOS				
	INSTALACIÓN	PLANTA	SECCIÓN	EQUIPO	N°
Camión Grúa - Mercedes	1	1	1	CGM	01
Camión - Hino Dutro 1	1	1	1	CAH	01
Minibús - Renault Master	1	1	1	MIB	01
Compresora eléctrica	1	1	1	COE	01
Esmeril manual	1	1	1	EMA	01
Generador eléctrico	1	1	1	GEL	01
Máquina de soldar	1	1	1	MSO	01
Taladro eléctrico	1	1	1	TEL	01
Camión - JMC Country	1	2	4	CAJ	01
Camión Grúa - Freghtliner	1	2	4	CGF	01
Camión Grúa - Scania	1	2	4	CGS	01
Camioneta - Ford Ranger 1	1	2	4	CAF	01
Camioneta - Ford Ranger 2	1	2	4	CAF	02
Camioneta - Mazda 1	1	2	4	CAM	01
Combi - Hyundai Custer	1	2	4	COC	01
Compresora a combustión	1	2	4	COC	01
Compresora eléctrica	1	2	4	COE	02
Esmeril de banco	1	2	4	EBA	01
Esmeril manual	1	2	4	EMA	02
Estoca hidráulica	1	2	4	EHI	01
Generador eléctrico	1	2	4	GEL	02
Manlift	1	2	4	MAF	01
Manlift	1	2	4	MAF	02
Maquina alimentador MIG	1	2	4	MIG	01
Máquina de plasma	1	2	4	MPL	01
Máquina de soldar	1	2	4	MSO	02
Máquina de soldar	1	2	4	MSO	03
Máquina de soldar inversora	1	2	4	MSI	01
Máquina de soldar inversora	1	2	4	MSI	02
Moto soldadora	1	2	4	MTO	01
Pistola neumática	1	2	4	PIN	01
Plegadora	1	2	4	PLG	01
Prensa hidráulica	1	2	4	PRH	01
Pistola Inalámbrica	1	2	4	PIL	01
Roladora	1	2	4	RLD	01
Roscadora	1	2	4	RSC	01
Rotomartillo	1	2	4	RMT	01
Taladro de banco	1	2	4	TDB	01
Taladro de diamantina	1	2	4	TDM	01
Taladro de diamantina	1	2	4	TDM	02
Taladro eléctrico	1	2	4	TEL	02
Taladro magnético	1	2	4	TMG	01
Taladro magnético	1	2	4	TMG	02
Tecle manual	1	2	4	TCM	01

CODIFICACIÓN DE ACTIVOS					
DESCRIPCIÓN	**INSTALACIÓN**	**PLANTA**	**SECCIÓN**	**EQUIPO**	**N°**
Tecle manual	1	2	4	TCM	02
Torno	1	2	4	TRN	01
Tortuga de corte	1	2	4	TTC	01
Tortuga de corte	1	2	4	TTC	02
Tronzadora	1	2	4	TRZ	01
Turbineta	1	2	4	TRB	01
Camión Grúa - Scania 41 Tn	1	3	5	CGS	01
Camión Grúa - Scania 31 Tn	1	3	5	CGS	02
Retroexcavadora - Hidromek	1	3	5	RET	01
Camión - Hino Dutro 2	1	3	5	CAH	02
Camioneta - Ford Ranger 3	1	3	5	CAF	01
Camioneta - Ford Ranger 4	1	3	5	CAF	02
Camioneta - Mazda 1	1	3	5	CAM	01
Combi - Hyundai Custer	1	3	5	COC	01
Minibús - Renault Master 1	1	3	5	MIB	01
Minibús - Renault Master 2	1	3	5	MIB	02
Montacargas - 50DA-9K	1	3	5	MOK	01
Montacargas - 160D-7E	1	3	5	MOE	01
Montacargas - 160D-7E	1	3	5	MOE	02
Grupo Electrógeno CAT 1	1	3	5	GRU	01
Grupo Electrógeno CAT 2	1	3	5	GRU	02
Camión Grúa - Freghtliner	1	4	2	CGF	01
Minibús - Renault Master	1	4	2	MIB	03
Compresora eléctrica	1	4	2	COE	03
Esmeril manual	1	4	2	EMA	03
Generador eléctrico	1	4	2	GEL	03
Máquina de soldar	1	4	2	MSO	04
Taladro eléctrico	1	4	2	TEL	03
Camión Grúa - Hino Dutro	1	5	3	CGH	01
Minibús - Renault Master	1	5	3	MIB	04
Compresora eléctrica	1	5	3	COE	04
Esmeril manual	1	5	3	EMA	04
Generador eléctrico	1	5	3	GEL	04
Máquina de soldar	1	5	3	MSO	05
Taladro eléctrico	1	5	3	TEL	04

Nota: Elaboración propia.

Luego de definir las unidades de activos de la asociación, se presenta el cuadro de codificación por tipo de activo, el cual servirá como base para elaborar las fichas técnicas y continuar con el desarrollo de la metodología de mantenimiento.

Tabla 20

Resumen de la Codificación de activos de la asociaron de empresas

INSTALACIÓN Nivel 1	PLANTA Nivel 2	SECCIÓN Nivel 3	EQUIPOS Nivel 4	CÓDIGO DE ACTIVOS
Instalación N° 1 Asociación de Empresas Metalmecánicas	Planta N°1 ILO	Sección N° 1: Segregación Ilo	Camión Grúa - Mercedes	1-1-1-CGM-01
			Camión - Hino Dutro 1	1-1-1-CAH-01
			Minibús - Renault Master	1-1-1-MIB-01
			Compresora eléctrica	1-1-1-COE-01
			Esmeril manual	1-1-1-EMA-01
			Generador eléctrico	1-1-1-GEL-01
			Máquina de soldar	1-1-1-MSO-01
			Taladro eléctrico	1-1-1-TEL-01
Instalación N° 1 Asociación de Empresas Metalmecánicas	Planta N°2 ILO	Sección N° 4: Metalmecánica	Camión - JMC Country	1-2-4-CAJ-01
			Camión Grúa - Freghtliner	1-2-4-CGF-01
			Camión Grúa - Scania	1-2-4-CGS-01
			Camioneta - Ford Ranger 1	1-2-4-CAF-01
			Camioneta - Ford Ranger 2	1-2-4-CAF-02
			Camioneta - Mazda 1	1-2-4-CAM-01
			Combi - Hyundai Custer	1-2-4-COC-01
			Compresora a combustión	1-2-4-COC-01
			Compresora eléctrica	1-2-4-COE-02
			Esmeril de banco	1-2-4-EBA-01
			Esmeril manual	1-2-4-EMA-02
			Estoca hidráulica	1-2-4-EHI-01
			Generador eléctrico	1-2-4-GEL-02
			Manlift	1-2-4-MAF-01
			Manlift	1-2-4-MAF-02
			Maquina alimentador MIG	1-2-4-MIG-01
			Máquina de plasma	1-2-4-MPL-01
			Máquina de soldar	1-2-4-MSO-02
			Máquina de soldar	1-2-4-MSO-03
			Máquina de soldar inversora	1-2-4-MSI-01
Instalación N° 1 Asociación de Empresas Metalmecánicas	Planta N°2 ILO	Sección N° 4: Metalmecánica	Máquina de soldar inversora	1-2-4-MSI-02
			Moto soldadora	1-2-4-MTO-01
			Pistola neumática	1-2-4-PIN-01
			Plegadora	1-2-4-PLG-01
			Prensa hidráulica	1-2-4-PRH-01
			Pistola Inalámbrica	1-2-4-PIL-01
			Roladora	1-2-4-RLD-01
			Roscadora	1-2-4-RSC-01
			Rotomartillo	1-2-4-RMT-01
			Taladro de banco	1-2-4-TDB-01
			Taladro de diamantina	1-2-4-TDM-01
			Taladro de diamantina	1-2-4-TDM-02
			Taladro eléctrico	1-2-4-TEL-02
			Taladro magnético	1-2-4-TMG-01
			Taladro magnético	1-2-4-TMG-02
			Tecle manual	1-2-4-TCM-01
			Tecle manual	1-2-4-TCM-02
			Torno	1-2-4-TRN-01
			Tortuga de corte	1-2-4-TTC-01
			Tortuga de corte	1-2-4-TTC-02
			Tronzadora	1-2-4-TRZ-01
			Turbineta	1-2-4-TRB-01

INSTALACIÓN Nivel 1	PLANTA Nivel 2	SECCIÓN Nivel 3	EQUIPOS Nivel 4	CÓDIGO DE ACTIVOS
Instalación N° 1 Asociación de Empresas Metalmecánicas	Planta N°3 ILO	Sección N° 5: Alquiler de equipos y maquinaria	Camión Grúa - Scania 41 Tn	1-3-5-CGS-01
			Camión Grúa - Scania 31 Tn	1-3-5-CGS-02
			Retroexcavadora	1-3-5-RET-01
			Camión - Hino Dutro 2	1-3-5-CAH-02
			Camioneta - Ford Ranger 3	1-3-5-CAF-01
			Camioneta - Ford Ranger 4	1-3-5-CAF-02
			Camioneta - Mazda 1	1-3-5-CAM-01
			Combi - Hyundai Custer	1-3-5-COC-01
			Minibús - Renault Master 1	1-3-5-MIB-01
			Minibús - Renault Master 2	1-3-5-MIB-02
			Montacargas - 50DA-9K	1-3-5-MOK-01
			Montacargas - 160D-7E	1-3-5-MOE-01
			Montacargas - 160D-7E	1-3-5-MOE-02
			Grupo Electrógeno CAT 1	1-3-5-GRU-01
			Grupo Electrógeno CAT 2	1-3-5-GRU-02
Instalación N° 1 Asociación de Empresas Metalmecánicas	Planta N°4 TOQUEPALA	Sección N° 2: Segregación Toquepala	Camión Grúa - Freghtliner	1-4-2-CGF-01
			Minibús - Renault Master	1-4-2-MIB-03
			Compresora eléctrica	1-4-2-COE-03
			Esmeril manual	1-4-2-EMA-03
			Generador eléctrico	1-4-2-GEL-03
			Máquina de soldar	1-4-2-MSO-04
			Taladro eléctrico	1-4-2-TEL-03
Instalación N° 1 Asociación de Empresas Metalmecánicas	Planta N°5 CUAJONE	Sección N° 3: Segregación Cuajone	Camión Grúa - Hino Dutro	1-5-3-CGH-01
			Minibús - Renault Master	1-5-3-MIB-04
			Compresora eléctrica	1-5-3-COE-04
			Esmeril manual	1-5-3-EMA-04
			Generador eléctrico	1-5-3-GEL-04
			Máquina de soldar	1-5-3-MSO-05
			Taladro eléctrico	1-5-3-TEL-04

Nota: Elaboración propia.

4.2.3. Análisis de criticidad de los activos físicos

El análisis de criticidad jerarquiza los equipos según el impacto de sus fallas para priorizar el mantenimiento. La evaluación se realiza mediante una matriz que considera la condición del equipo, producción, seguridad, impacto ambiental y costos. La valoración se basa en el historial de fallas registrado, complementado con la experiencia del personal operativo, mantenimiento y las áreas administrativas y de almacén.

Para calcular la criticidad se utilizará la siguiente formula:

$$\boldsymbol{Criticidad} = (\boldsymbol{Frecuencia})(\boldsymbol{Consecuencia})$$

La consecuencia se calcula con la siguiente formula:

$$\boldsymbol{Consecuencia} = (\boldsymbol{IO})(\boldsymbol{F}) + \boldsymbol{CM} + \boldsymbol{SAH}$$

Donde:

- IO = Impacto Operacional.
- F = Flexibilidad.
- CM= Costo de Mantenimiento
- SAH=Impacto de Seguridad Ambiental e Higiene

La cuantificación de los criterios definidos para el análisis de criticidad se presenta en el siguiente cuadro:

Tabla 21

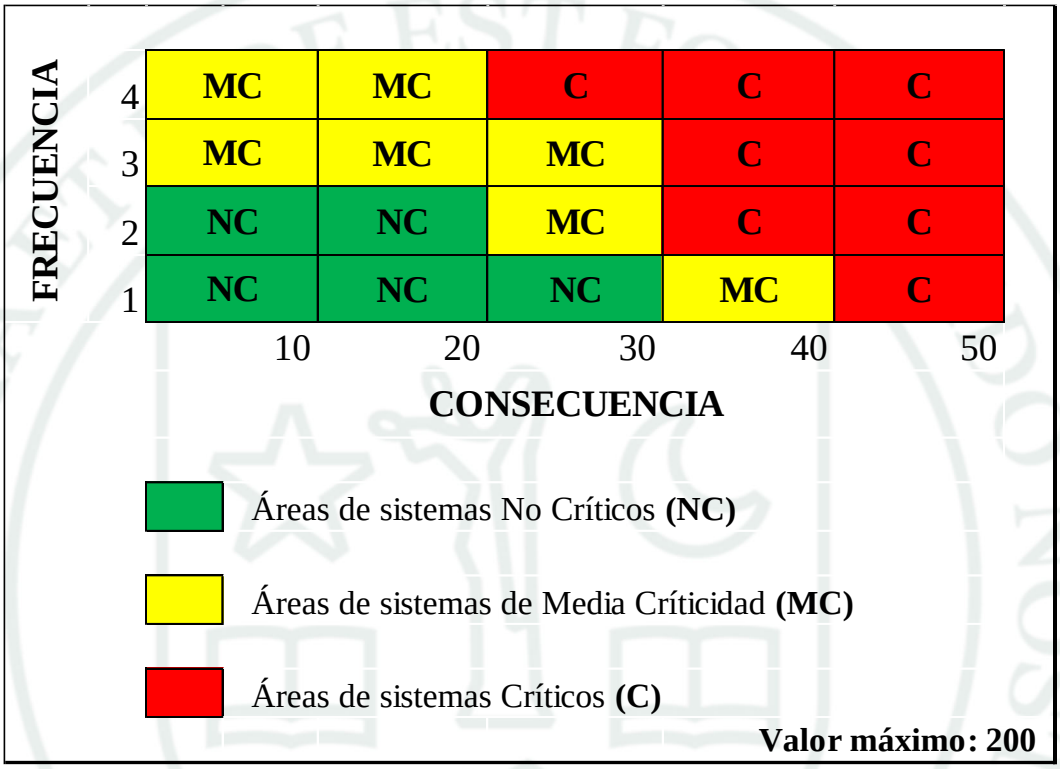
Criterios de Criticidad y su Cuantificación

CRITERIOS PARA DETERINAR LA CRITICIDAD.	CUANTIFICACIÓN
FRECUENCIA DE FALLAS / AÑOS	
Mayor a 4 fallas por año.	4
2 - 4 fallas por año.	3
1- 2 fallas por año.	2
Mínimo de 1 falla por año.	1
IMPACTO OPERACIONAL	
Mayor de 3 horas.	10
2 a 3 horas.	6
1 a 2 horas.	4
0.5 a 1 hora.	2
Menor de 0.5 horas.	1
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	
No hay repuesto.	4
Repuestos disponibles no inmediatos.	2
Repuestos disponibles de inmediato.	1
COSTOS DE MANTENIMIENTO	
Mayor o igual a S/.5000.	2
Menor a S/.5000.	1
IMPACTO EN LA SEGURIDAD AMBIENTAL Y HUMANA	
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna.	8
Afecta el ambiente produciendo daños irreversibles.	6
Afecta las instalaciones causando daños severos.	4
Provoca daños menores (accidentes o incidentes).	2
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas.	1
No provoca ningún daño a personas, instalaciones o ambiente.	0

Nota. En el cuadro se detalla la codificación designada según tipo de activo de la empresa

La matriz de criticidad que se presenta a continuación se emplea para jerarquizar los activos físicos en las categorías de crítico, semicrítico y no crítico, conforme a los criterios definidos por la norma NORSOK Z-008 para el análisis de criticidad. (Standard Norge, 2001)

Figura 40
Matriz de Criticidad



Nota. Adaptado de *(Standard Norge, 2001)*

A continuación, se asignan los valores de criticidad a cada activo por área, considerando el historial de fallas y la información del personal operativo, mantenimiento y área administrativa, como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 22

Cálculo de Criticidad de los acticos de la asociaron de empresas

SECCIÓN	EQUIPOS	CODIFICACIÓN	F.F	I.O	FLEX.	C.M	SHA	CONSEC.	CRITICI.	NIVEL
Sección N° 1: Segregación Ilo	Camión Grúa - Mercedes	1-1-1-CGM-01	3	10	2	2	8	30	90	**MC**
	Camión - Hino Dutro 1	1-1-1-CAH-01	3	10	2	2	8	30	90	**MC**
	Minibús - Renault Master	1-1-1-MIB-01	4	10	2	2	8	30	120	**C**
	Compresora eléctrica	1-1-1-COE-01	2	6	2	1	2	15	30	**NC**
	Esmeril manual	1-1-1-EMA-01	2	1	1	1	2	4	8	**NC**
	Generador eléctrico	1-1-1-GEL-01	2	4	2	1	2	11	22	**NC**
	Máquina de soldar	1-1-1-MSO-01	3	2	2	1	2	7	21	**MC**
	Taladro eléctrico	1-1-1-TEL-01	1	2	1	1	2	5	5	**NC**
Sección N° 4: Metalmecánica	Camión - JMC Country	1-2-4-CAJ-01	3	4	1	1	8	13	39	**MC**
	Camión Grúa - Freghtliner	1-2-4-CGF-01	4	10	2	2	8	30	120	**C**
	Camión Grúa - Scania	1-2-4-CGS-01	4	6	2	2	8	22	88	**C**
	Camioneta - Ford Ranger 1	1-2-4-CAF-01	3	6	2	2	8	22	66	**MC**
	Camioneta - Ford Ranger 2	1-2-4-CAF-02	3	6	2	2	8	22	66	**MC**
	Camioneta - Mazda 1	1-2-4-CAM-01	2	6	2	2	8	22	44	**MC**
	Combi - Hyundai Custer	1-2-4-COC-01	3	6	2	2	8	22	66	**MC**
	Compresora a combustión	1-2-4-COC-01	3	4	2	1	6	15	45	**MC**
	Compresora eléctrica	1-2-4-COE-02	2	4	1	1	6	11	22	**NC**
	Esmeril de banco	1-2-4-EBA-01	2	1	1	1	2	4	8	**NC**
	Esmeril manual	1-2-4-EMA-02	2	1	1	1	2	4	8	**NC**
	Estoca hidráulica	1-2-4-EHI-01	2	1	1	1	2	4	8	**NC**
	Generador eléctrico	1-2-4-GEL-02	2	2	1	1	2	5	10	**NC**
	Manlift	1-2-4-MAF-01	2	2	1	2	8	12	24	**NC**
	Manlift	1-2-4-MAF-02	2	2	1	2	8	12	24	**NC**
	Maquina alimentador MIG	1-2-4-MIG-01	2	2	1	2	2	6	12	**NC**
	Máquina de plasma	1-2-4-MPL-01	2	2	1	2	2	6	12	**NC**

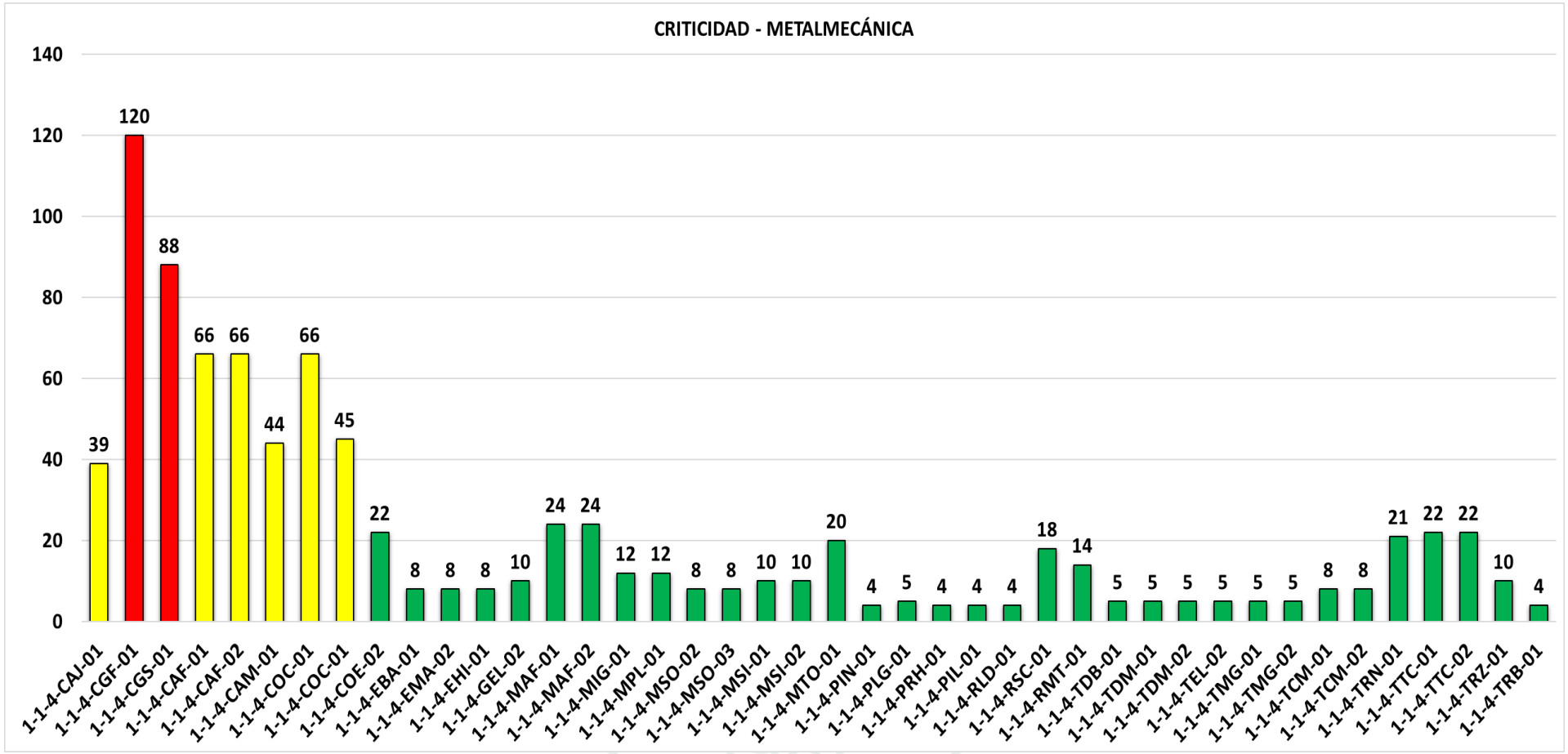
SECCIÓN	EQUIPOS	CODIFICACIÓN	F.F	I.O	FLEX.	C.M	SHA	CONSEC.	CRITICI.	NIVEL
Sección N° 4: Metalmecánica	Máquina de soldar	1-2-4-MSO-02	2	1	1	1	2	4	8	**NC**
	Máquina de soldar	1-2-4-MSO-03	2	1	1	1	2	4	8	**NC**
	Máquina de soldar inversora	1-2-4-MSI-01	2	1	1	2	2	5	10	**NC**
	Máquina de soldar inversora	1-2-4-MSI-02	2	1	1	2	2	5	10	**NC**
	Moto soldadora	1-2-4-MTO-01	2	2	1	2	6	10	20	**NC**
	Pistola neumática	1-2-4-PIN-01	1	1	1	1	2	4	4	**NC**
	Plegadora	1-2-4-PLG-01	1	2	1	1	2	5	5	**NC**
	Prensa hidráulica	1-2-4-PRH-01	1	1	1	1	2	4	4	**NC**
	Pistola Inalámbrica	1-2-4-PIL-01	1	2	1	1	1	4	4	**NC**
	Roladora	1-2-4-RLD-01	1	2	1	1	1	4	4	**NC**
	Roscadora	1-2-4-RSC-01	2	6	1	1	2	9	18	**NC**
	Rotomartillo	1-2-4-RMT-01	2	4	1	1	2	7	14	**NC**
	Taladro de banco	1-2-4-TDB-01	1	2	1	1	2	5	5	**NC**
	Taladro de diamantina	1-2-4-TDM-01	1	2	1	1	2	5	5	**NC**
	Taladro de diamantina	1-2-4-TDM-02	1	2	1	1	2	5	5	**NC**
	Taladro eléctrico	1-2-4-TEL-02	1	2	1	1	2	5	5	**NC**
	Taladro magnético	1-2-4-TMG-01	1	2	1	1	2	5	5	**NC**
	Taladro magnético	1-2-4-TMG-02	1	2	1	1	2	5	5	**NC**
	Tecle manual	1-2-4-TCM-01	2	2	1	1	1	4	8	**NC**
	Tecle manual	1-2-4-TCM-02	2	2	1	1	1	4	8	**NC**
	Torno	1-2-4-TRN-01	3	4	1	1	2	7	21	**NC**
	Tortuga de corte	1-2-4-TTC-01	2	4	2	1	2	11	22	**NC**
	Tortuga de corte	1-2-4-TTC-02	2	4	2	1	2	11	22	**NC**
	Tronzadora	1-2-4-TRZ-01	2	2	1	1	2	5	10	**NC**
	Turbineta	1-2-4-TRB-01	1	1	1	1	2	4	4	**NC**
Sección N° 5: Alquiler de	Camión Grúa - Scania 41 Tn	1-3-5-CGS-01	4	10	2	2	8	30	120	**C**
	Camión Grúa - Scania 31 Tn	1-3-5-CGS-02	4	10	2	2	8	30	120	**C**
	Retroexcavadora	1-3-5-RET-01	4	6	2	2	8	22	88	**C**

SECCIÓN	EQUIPOS	CODIFICACIÓN	F.F	I.O	FLEX.	C.M	SHA	CONSEC.	CRITICI.	NIVEL
equipos y maquinaria	Camión - Hino Dutro 2	1-3-5-CAH-02	3	10	2	2	8	30	90	**MC**
	Camioneta - Ford Ranger 3	1-3-5-CAF-01	4	6	2	2	8	22	88	**C**
	Camioneta - Ford Ranger 4	1-3-5-CAF-02	4	6	2	2	8	22	88	**C**
	Camioneta - Mazda 1	1-3-5-CAM-01	2	10	2	2	8	30	60	**MC**
	Combi - Hyundai Custer	1-3-5-COC-01	4	10	2	2	8	30	120	**C**
	Minibús - Renault Master 1	1-3-5-MIB-01	4	10	2	2	8	30	120	**C**
	Minibús - Renault Master 2	1-3-5-MIB-02	4	10	2	2	8	30	120	**C**
	Montacargas - 50DA-9K	1-3-5-MOK-01	4	10	2	2	8	30	120	**C**
	Montacargas - 160D-7E	1-3-5-MOE-01	4	10	2	2	8	30	120	**C**
	Montacargas - 160D-7E	1-3-5-MOE-02	4	10	2	2	8	30	120	**C**
	Grupo Electrógeno CAT 1	1-3-5-GRU-01	3	10	2	2	6	28	84	**MC**
	Grupo Electrógeno CAT 2	1-3-5-GRU-02	3	10	2	2	6	28	84	**MC**
Sección N° 2: Segregación Toquepala	Camión Grúa - Freghtliner	1-4-2-CGF-01	4	10	2	2	8	30	120	**C**
	Minibús - Renault Master	1-4-2-MIB-03	4	10	2	2	8	30	120	**C**
	Compresora eléctrica	1-4-2-COE-03	2	6	1	1	1	8	16	**NC**
	Esmeril manual	1-4-2-EMA-03	2	4	1	1	2	7	14	**NC**
	Generador eléctrico	1-4-2-GEL-03	2	6	1	1	1	8	16	**NC**
	Máquina de soldar	1-4-2-MSO-04	2	4	1	1	2	7	14	**NC**
	Taladro eléctrico	1-4-2-TEL-03	2	2	1	1	2	5	10	**NC**
Sección N° 3: Segregación Cuajone	Camión Grúa - Hino Dutro	1-5-3-CGH-01	3	10	2	2	8	30	90	**MC**
	Minibús - Renault Master	1-5-3-MIB-04	4	10	2	2	8	30	120	**C**
	Compresora eléctrica	1-5-3-COE-04	2	4	1	1	1	6	12	**NC**
	Esmeril manual	1-5-3-EMA-04	2	2	1	1	2	5	10	**NC**
	Generador eléctrico	1-5-3-GEL-04	2	4	1	1	1	6	12	**NC**
	Máquina de soldar	1-5-3-MSO-05	2	4	1	1	2	7	14	**NC**
	Taladro eléctrico	1-5-3-TEL-04	2	2	1	1	2	5	10	**NC**

Nota. Elaboración propia.

Figura 41

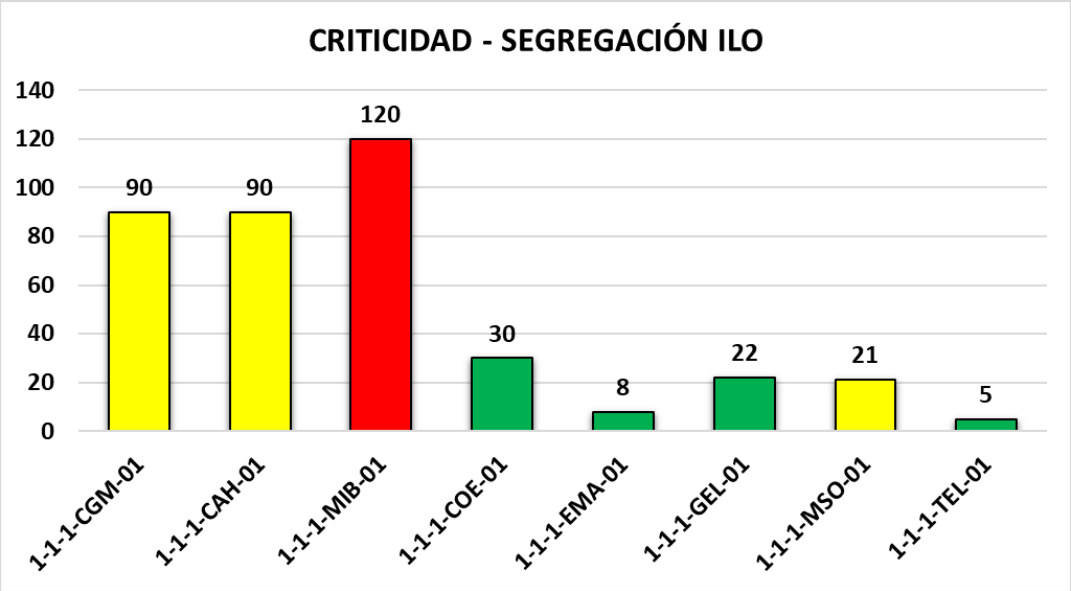
Nivel de Criticidad de los activos de Metalmecánica



Nota. Elaboración propia.

Figura 42

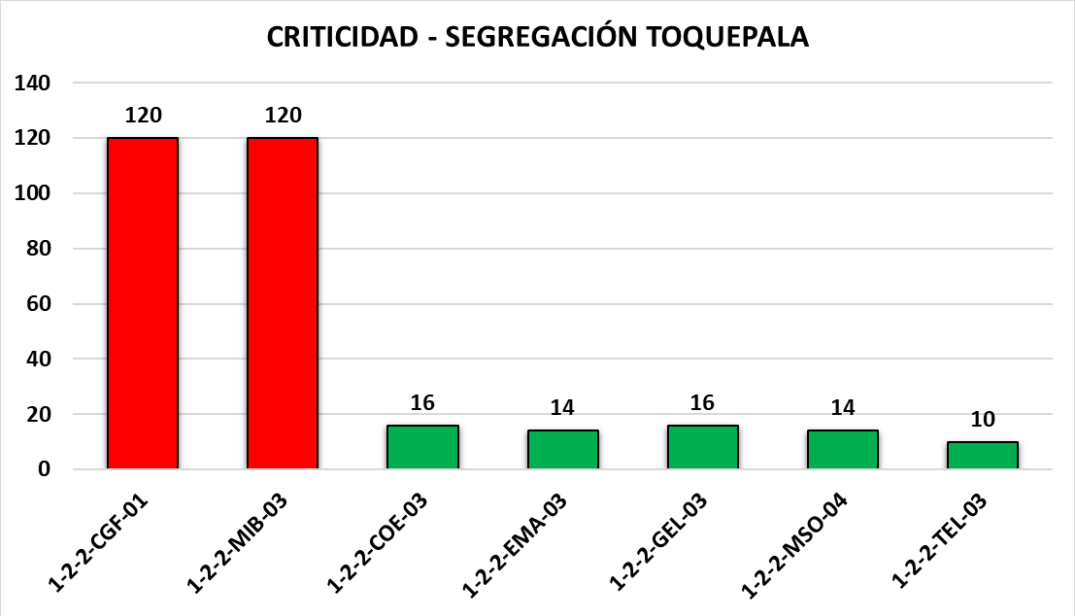
Nivel de Criticidad de los activos de Segregación Ilo



Nota. Elaboración propia.

Figura 43

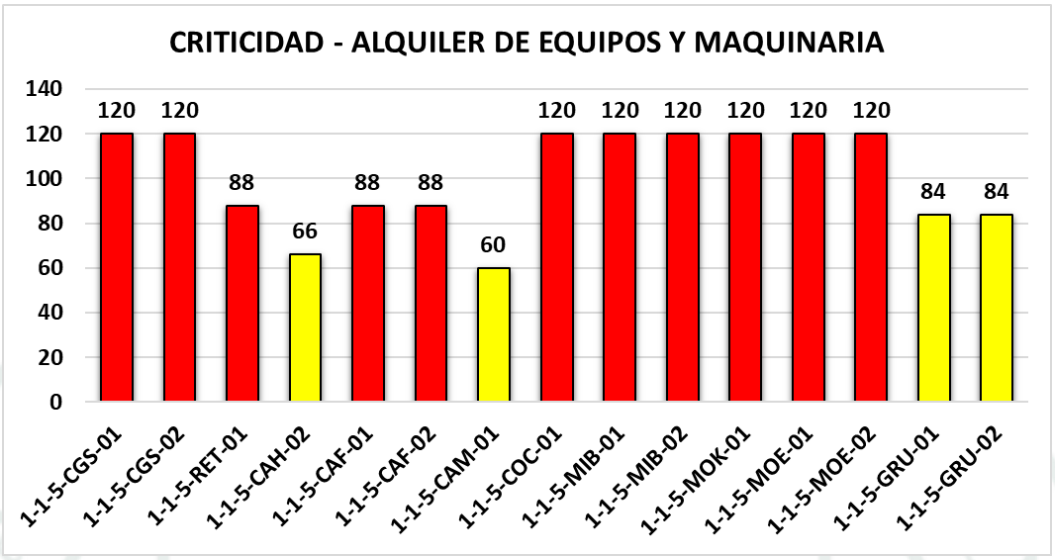
Nivel de Criticidad de los activos de Segregación Toquepala



Nota. Elaboración propia.

Figura 44

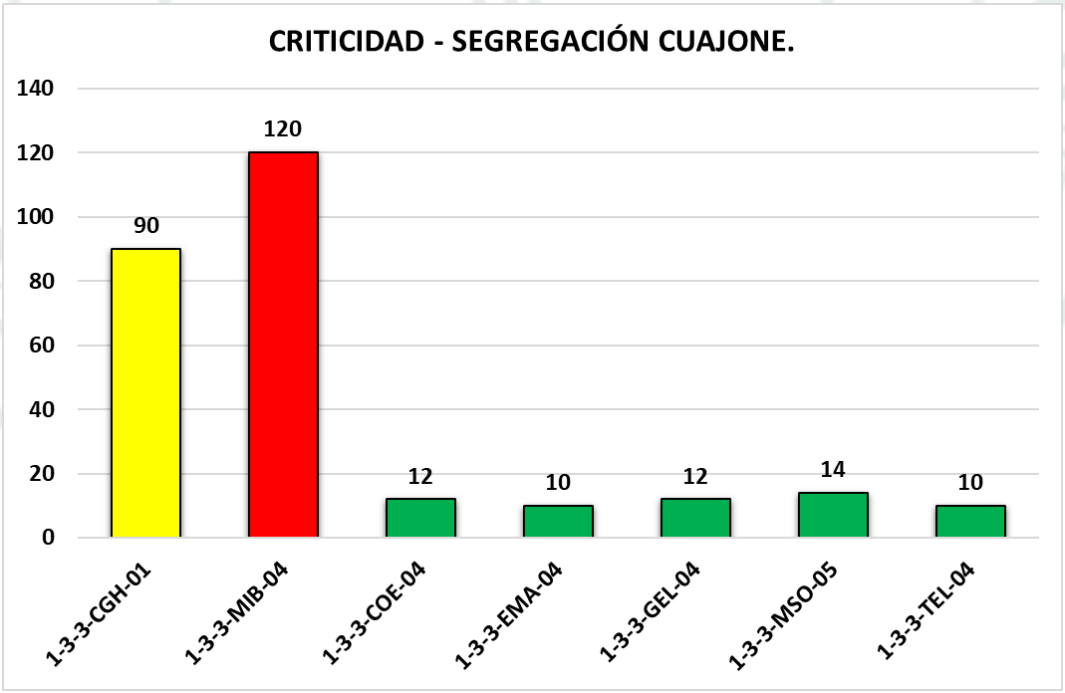
Nivel de Criticidad de los activos de Alquiler



Nota. Elaboración propia.

Figura 45

Nivel de Criticidad de los activos de Segregación Cuajone



Nota. Elaboración propia.

Tabla 23

Resumen de Criticidad de los Activos de la asociación de empresas

EQUIPOS	CÓDIGO	CRITICIDAD	NIVEL
Compresora eléctrica	1-1-1-COE-01	30	**NC**
Esmeril manual	1-1-1-EMA-01	8	**NC**
Generador eléctrico	1-1-1-GEL-01	22	**NC**
Taladro eléctrico	1-1-1-TEL-01	5	**NC**
Compresora eléctrica	1-2-4-COE-02	22	**NC**
Esmeril de banco	1-2-4-EBA-01	8	**NC**
Esmeril manual	1-2-4-EMA-02	8	**NC**
Estoca hidráulica	1-2-4-EHI-01	8	**NC**
Generador eléctrico	1-2-4-GEL-02	10	**NC**
Manlift	1-2-4-MAF-01	24	**NC**
Manlift	1-2-4-MAF-02	24	**NC**
Maquina alimentador MIG	1-2-4-MIG-01	12	**NC**
Máquina de plasma	1-2-4-MPL-01	12	**NC**
Máquina de soldar	1-2-4-MSO-02	8	**NC**
Máquina de soldar	1-2-4-MSO-03	8	**NC**
Máquina de soldar inversora	1-2-4-MSI-01	10	**NC**
Máquina de soldar inversora	1-2-4-MSI-02	10	**NC**
Moto soldadora	1-2-4-MTO-01	20	**NC**
Pistola neumática	1-2-4-PIN-01	4	**NC**
Plegadora	1-2-4-PLG-01	5	**NC**
Prensa hidráulica	1-2-4-PRH-01	4	**NC**
Pistola Inalámbrica	1-2-4-PIL-01	4	**NC**
Roladora	1-2-4-RLD-01	4	**NC**
Roscadora	1-2-4-RSC-01	18	**NC**
Rotomartillo	1-2-4-RMT-01	14	**NC**
Taladro de banco	1-2-4-TDB-01	5	**NC**
Taladro de diamantina	1-2-4-TDM-01	5	**NC**
Taladro de diamantina	1-2-4-TDM-02	5	**NC**
Taladro eléctrico	1-2-4-TEL-02	5	**NC**
Taladro magnético	1-2-4-TMG-01	5	**NC**
Taladro magnético	1-2-4-TMG-02	5	**NC**
Tecle manual	1-2-4-TCM-01	8	**NC**
Tecle manual	1-2-4-TCM-02	8	**NC**
Torno	1-2-4-TRN-01	21	**NC**
Tortuga de corte	1-2-4-TTC-01	22	**NC**
Tortuga de corte	1-2-4-TTC-02	22	**NC**
Tronzadora	1-2-4-TRZ-01	10	**NC**
Turbineta	1-2-4-TRB-01	4	**NC**
Compresora eléctrica	1-4-2-COE-03	16	**NC**

EQUIPOS	CÓDIGO	CRITICIDAD	NIVEL
Esmeril manual	1-4-2-EMA-03	14	**NC**
Generador eléctrico	1-4-2-GEL-03	16	**NC**
Máquina de soldar	1-4-2-MSO-04	14	**NC**
Taladro eléctrico	1-4-2-TEL-03	10	**NC**
Compresora eléctrica	1-5-3-COE-04	12	**NC**
Esmeril manual	1-5-3-EMA-04	10	**NC**
Generador eléctrico	1-5-3-GEL-04	12	**NC**
Máquina de soldar	1-5-3-MSO-05	14	**NC**
Taladro eléctrico	1-5-3-TEL-04	10	**NC**
Camión Grúa - Mercedes	1-1-1-CGM-01	90	**MC**
Camión - Hino Dutro 1	1-1-1-CAH-01	90	**MC**
Máquina de soldar	1-1-1-MSO-01	21	**MC**
Camión - JMC Country	1-2-4-CAJ-01	39	**MC**
Camioneta - Ford Ranger 1	1-2-4-CAF-01	66	**MC**
Camioneta - Ford Ranger 2	1-2-4-CAF-02	66	**MC**
Camioneta - Mazda 1	1-2-4-CAM-01	44	**MC**
Combi - Hyundai Custer	1-2-4-COC-01	66	**MC**
Compresora a combustión	1-2-4-COC-01	45	**MC**
Camión - Hino Dutro 2	1-3-5-CAH-02	66	**MC**
Camioneta - Mazda 1	1-3-5-CAM-01	60	**MC**
Grupo Electrógeno CAT 1	1-3-5-GRU-01	84	**MC**
Grupo Electrógeno CAT 2	1-3-5-GRU-02	84	**MC**
Camión Grúa - Hino Dutro	1-5-3-CGH-01	90	**MC**
Minibús - Renault Master	1-1-1-MIB-01	120	**C**
Camión Grúa - Freghtliner	1-2-4-CGF-01	120	**C**
Camión Grúa - Scania	1-2-4-CGS-01	88	**C**
Camión Grúa - Scania 41 Tn	1-3-5-CGS-01	120	**C**
Camión Grúa - Scania 31 Tn	1-3-5-CGS-02	120	**C**
Retroexcavadora - Hidromek	1-3-5-RET-01	88	**C**
Camioneta - Ford Ranger 3	1-3-5-CAF-01	88	**C**
Camioneta - Ford Ranger 4	1-3-5-CAF-02	88	**C**
Combi - Hyundai Custer	1-3-5-COC-01	120	**C**
Minibús - Renault Master 1	1-3-5-MIB-01	120	**C**
Minibús - Renault Master 2	1-3-5-MIB-02	120	**C**
Montacargas - 50DA-9K	1-3-5-MOK-01	120	**C**
Montacargas - 160D-7E	1-3-5-MOE-01	120	**C**
Montacargas - 160D-7E	1-3-5-MOE-02	120	**C**
Camión Grúa - Freghtliner	1-4-2-CGF-01	120	**C**
Minibús - Renault Master	1-4-2-MIB-03	120	**C**
Minibús - Renault Master	1-5-3-MIB-04	120	**C**

Nota. Elaboración propia.

4.2.4. Cálculo de los indicadores de mantenimiento de activos críticos

Una vez determinada la criticidad de los activos, se calculan los indicadores de mantenimiento de los equipos críticos para evaluar su desempeño y establecer una línea base para la toma de decisiones. Para ello, se emplean las ecuaciones definidas para determinar la disponibilidad y la confiabilidad de cada activo físico crítico.

$$DISPONIBILIDAD = \frac{MBTF}{MBTF + MTTR} \; X \; 100$$

Donde:

MTBF= Tiempo medio entre fallas

$$MTBF = \frac{Suma\ de\ horas\ de\ trabajo\ en\ buen\ estado}{Número\ de\ averías\ para\ el\ mantenimiento\ correctivo}$$

MTTR= Tiempo medio para reparación

$$MTTR = \frac{Suma\ de\ los\ tiempos\ de\ reparación}{\text{Número de intervención realizadas}}$$

La confiabilidad de los activos físicos se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

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

Donde:

λ= Tasa de fracaso, λ(t) =1/MTBF, t= Tiempo, e= Número de Euler = 2.71

4.3. Paso 2: Establecer Funciones de los Activos

Definido el contexto operacional de la asociación de empresas, se procede a establecer las funciones primarias y secundarias correspondientes a cada activo físico. Posteriormente, la información obtenida se documenta en fichas técnicas elaboradas para cada equipo, las cuales se presentan en los apartados siguientes.

Figura 46

Ficha Técnica de Camión Grúa 1-2-4-CGF-01

ASEMING Asociación Estratégica Metal Mecánica de Ingeniería NCK Ingenieros E.I.R.L. • Mechanic Plant Ingenieros S.A.C. Servicios Generales MACKAP E.I.R.L	SISTEMA DE GESTION FICHA TECNICA VEHICULAR	Codigo: MAN-FTV-001 Versión: 02 Revisión: 01 Elaboracion: 19/12/25 Pagina 1 de 1

DATOS GENERALES DE LA UNIDAD		FOTOGRAFÍA DE LA UNIDAD
MARCA:	FREIGHTLINER	
MODELO:	114 SD	
CODIFICACIÓN:	1-2-4-CGF-01	
AÑO:	2024	
PLACA:	CAN-913	
CARROCERÍA:	CAMIÓN GRÚA	
FUNCIÓN:	IZAJE/TRANSPORTE DE MATERIALES	
N° DE PASAJEROS:	01	
N° DE PUERTAS	02	
COLOR:	BLANCO	
CATEGORÍA:	N3	
POTENCIA:	315HP@1600RPM	
UBICACIÓN:	ILO (PLANCHAS MADRE)	
FORMA RODANTE:	6X4	

CARACTERISTICAS GENERALES			
PESO NETO:	14,516 KG	ALTURA DE TOLVA:	1,00 MTS
PESO BRUTO:	29,932 KG	ANCHO DE TOLVA:	2,60 MTS
ALTURA:	3,80 MTS	LARGO DE TOLVA:	6,40 MTS
ANCHO:	2,60 MTS	CILINDROS:	06
LARGO:	11,30 MTS	CILINDRADA:	12,800 cm³
CARGA ÚTIL:	15,416 KG	VIN CHASIS:	3ALHG3DV2RDUT8209
N° DE EJES:	03	NÚMERO DE MOTOR:	471953S1086359
N° DE RUEDAS:	10	ESTADO:	ACTIVO
REFERENCIA DE LLANTA:	MICHELIN XWORKS 11 R22.5	GRUA	PM - 35026S - 15 TN

FUNCIÓN PRIMARIA	FUNCIÓN SECUNDARIA
FP: Izar y trasladar cargas metálicas utilizando grúa hidráulica, con capacidad nominal del equipo, manteniendo estabilidad del vehículo y seguridad operacional durante las maniobras.	FS: Transportar materiales, herramientas y personal hacia el frente de trabajo. FS: Desplazarse de forma segura dentro de las instalaciones operativas. FS: Estabilizar el equipo durante maniobras de izaje mediante estabilizadores. FS: Garantizar seguridad del operador y del entorno durante la operación.

MANTENIMIENTO			
PREVENTIVO CADA:	5000 KM	CÓDIGO FILTRO DE ACEITE:	A4711800209
FILTRO SEPARADOR DE AGUA:	DDER61709	FILTRO DE ÚREA	A000 142 1089 28
FILTRO DE COMBUSTIBLE:	DDE A4700903151	ACEITE DE MOTOR:	15W40 MOBIL DELVAC

Nota. Elaboración propia.

Figura 47

Ficha Técnica de Camión Grúa 1-3-5-CGS-01

ASEMING Asociación Estratégica Metal Mecánica de Ingeniería NCK Ingenieros E.I.R.L. • Mechanic Plant Ingenieros S.A.C. Servicios Generales MACKAP E.I.R.L	SISTEMA DE GESTION FICHA TECNICA VEHICULAR	Codigo: MAN-FTV-001 Versión: 02 Revisión: 01 Elaboracion: 19/12/25 Pagina 1 de 1

DATOS GENERALES DE LA UNIDAD	
MARCA:	SCANIA
MODELO:	P410 B8X4
CODIFICACIÓN:	1-3-5-CGS-01
AÑO:	2021
PLACA:	BMD-800
CARROCERÍA:	CAMIÓN GRÚA
FUNCIÓN:	IZAJE/TRANSPORTE DE MATERIALES
N° DE PASAJEROS:	01
N° DE PUERTAS	02
COLOR:	BLANCO
CATEGORÍA:	N3
POTENCIA:	302HP@1900RPM
UBICACIÓN:	QUELLAVECO (JJC GRUPO)
FORMA RODANTE:	8X4

FOTOGRAFÍA DE LA UNIDAD



CARACTERISTICAS GENERALES			
PESO NETO:	23,000 KG	ALTURA DE TOLVA:	1,05 MTS
PESO BRUTO:	48,000 KG	ANCHO DE TOLVA:	2,60 MTS
ALTURA:	4,10 MTS	LARGO DE TOLVA:	6,30 MTS
ANCHO:	2,60 MTS	CILINDROS:	06
LARGO:	12,50 MTS	CILINDRADA:	12700 cm^3
CARGA ÚTIL:	25,000 KG	VIN CHASIS:	9BSP8X400M3984419
N° DE EJES:	04	NÚMERO DE MOTOR:	DC13139L018373901
N° DE RUEDAS:	12	ESTADO:	ACTIVO
REFERENCIA DE LLANTA:	315 / 80 R22.5 DURATURN	GRUA	EFFER - 1355/8S - 41TN

FUNCIÓN PRIMARIA	FUNCIÓN SECUNDARIA
FP: Izar y trasladar cargas metálicas utilizando grúa hidráulica, con capacidad nominal del equipo, manteniendo estabilidad del vehículo y seguridad operacional durante las maniobras.	FS: Transportar materiales, herramientas y personal hacia el frente de trabajo. FS: Desplazarse de forma segura dentro de las instalaciones operativas. FS: Estabilizar el equipo durante maniobras de izaje mediante estabilizadores. FS: Garantizar seguridad del operador y del entorno durante la operación.

MANTENIMIENTO			
PREVENTIVO CADA:	5,000 KM / 500 HORAS	CÓDIGO FILTRO A/C:	2655428
CÓDIGO FILTRO DE AIRE PRIMARIO:	2414656	CÓDIGO FILTRO DE ACEITE:	2625884
CÓDIGO FILTRO DE AIRE SECUNDARIO:	2414659	ACEITE DE MOTOR:	SCANIA OIL 10W40
CÓDIGO FILTRO DE COMBUSTIBLE:	2003505	CÓDIGO DE DIRECCIÓN HIDRÁULICA:	1953094
CÓD. FILTRO DE TANQUE DE COMB:	2240905	CÓD. FILTRO DE CAJA DIFERENCIAL:	2002705
CÓD. FILTRO DE RETARDO:	1893214	CÓD. DE BOMBA REDUCTORA:	2655854
CÓD. FILTRO CENTRÍFUGO:	2731875	ACEITE DIFERENCIAL:	SCANIA OIL 75W140
ACEITE DE TRANSMISIÓN:	SCANIA OIL 75W90		

Nota. Elaboración propia.

Figura 48

Ficha Técnica de Camión Grúa 1-3-5-CGS-02

ASEMING Asociación Estratégica Metal Mecánica de Ingeniería NCK Ingenieros E.I.R.L. • Mechanic Plant Ingenieros S.A.C. Senricios Generales MACKAP E.I.R.L	SISTEMA DE GESTION	Codigo: MAN-FTV-001
		Versión: 02
	FICHA TECNICA VEHICULAR	Revisión: 01
		Elaboracion: 19/12/25
		Pagina 1 de 1

DATOS GENERALES DE LA UNIDAD		FOTOGRAFÍA DE LA UNIDAD
MARCA:	SCANIA	
MODELO:	P410 B8X4	
CODIFICACIÓN:	1-3-5-CGS-02	
AÑO:	2021	
PLACA:	VAS-820	
CARROCERÍA:	CAMIÓN GRÚA	
FUNCIÓN:	IZAJE/TRANSPORTE DE MATERIALES	
N° DE PASAJEROS:	01	
N° DE PUERTAS	02	
COLOR:	BLANCO/AMARILLO/AZUL/CELESTE	
CATEGORÍA:	N3	
POTENCIA:	302HP@1900RPM	
UBICACIÓN:	ILO (TALLER PRINCIPAL)	
FORMA RODANTE:	8X4	

CARACTERISTICAS GENERALES			
PESO NETO:	27,168 KG	ALTURA DE TOLVA:	0,95 MTS
PESO BRUTO:	32,000 KG	ANCHO DE TOLVA:	2,60 MTS
ALTURA:	3,90 MTS	LARGO DE TOLVA:	6,36 MTS
ANCHO:	2,60 MTS	CILINDROS:	06
LARGO:	11,51 MTS	CILINDRADA:	12,700 cm^3
CARGA ÚTIL:	4,832 KG	VIN CHASIS:	9BSP8X400M3984419
N° DE EJES:	04	NÚMERO DE MOTOR:	DC13139L018373901
N° DE RUEDAS:	12	ESTADO:	ACTIVO
REFERENCIA DE LLANTA:	315 / 80 R22.5 DURATURN	GRUA	EFFER - 855/8S - 31TN

FUNCIÓN PRIMARIA	FUNCIÓN SECUNDARIA
FP: Izar y trasladar cargas metálicas utilizando grúa hidráulica, con capacidad nominal del equipo, manteniendo estabilidad del vehículo y seguridad operacional durante las maniobras.	FS: Transportar materiales, herramientas y personal hacia el frente de trabajo. FS: Desplazarse de forma segura dentro de las instalaciones operativas. FS: Estabilizar el equipo durante maniobras de izaje mediante estabilizadores. FS: Garantizar seguridad del operador y del entorno durante la operación.

MANTENIMIENTO			
PREVENTIVO CADA:	5,000 KM / 500 HORAS	CÓDIGO FILTRO A/C:	2655428
CÓDIGO FILTRO DE AIRE PRIMARIO:	2414656	CÓDIGO FILTRO DE ACEITE:	2625884
CÓDIGO FILTRO DE AIRE SECUNDARIO:	2414659	ACEITE DE MOTOR:	SCANIA OIL 10W40
CÓDIGO FILTRO DE COMBUSTIBLE:	2003505	CÓDIGO DE DIRECCIÓN HIDRÁULICA:	1953094
CÓD. FILTRO DE TANQUE DE COMB:	2240905	CÓD. FILTRO DE CAJA DIFERENCIAL:	2002705
CÓD. FILTRO DE RETARDO:	1893214	CÓD. DE BOMBA REDUCTORA:	2655854
CÓD. FILTRO CENTRÍFUGO:	2731875	ACEITE DIFERENCIAL:	SCANIA OIL 75W140
ACEITE DE TRANSMISIÓN:	SCANIA OIL 75W90		

Nota. Elaboración propia.

Figura 49

Ficha Técnica de Camión Grúa 1-1-1-CGM-01

ASEMING Asociación Estratégica Metal Mecánica de Ingeniería NCK Ingenieros E.I.R.L. • Mechanic Plant Ingenieros S.A.C. Servicios Generales MACKAP E.I.R.L	SISTEMA DE GESTION	Codigo: MAN-FTV-001
		Versión: 02
	FICHA TECNICA VEHICULAR	Revisión: 01
		Elaboracion: 19/12/25
		Pagina 1 de 1

DATOS GENERALES DE LA UNIDAD		FOTOGRAFÍA DE LA UNIDAD
MARCA:	MERCEDES BENZ	
MODELO:	ATEGO 1726/54	
CODIFICACIÓN:	1-1-1-CGM-01	
AÑO:	2025	
PLACA:	CBK-917	
CARROCERÍA:	CAMIÓN GRÚA	
FUNCIÓN:	IZAJE/TRANSPORTE DE MATERIALES	
N° DE PASAJEROS:	01	
N° DE PUERTAS	02	
COLOR:	BLANCO	
CATEGORÍA:	N3	
POTENCIA:	188HP@2200RPM	
UBICACIÓN:	ILO (PLANCHAS MADRE/ALQUILER)	
FORMA RODANTE:	4X2	

CARACTERISTICAS GENERALES			
PESO NETO:	9,300 KG	ALTURA DE TOLVA:	1,00 MTS
PESO BRUTO:	17,500 KG	ANCHO DE TOLVA:	2,60 MTS
ALTURA:	3,55 MTS	LARGO DE TOLVA:	6,14 MTS
ANCHO:	2,60 MTS	CILINDROS:	06
LARGO:	10,50 MTS	CILINDRADA:	7,201 cm^3
CARGA ÚTIL:	8,200 KG	VIN CHASIS:	9BM958156SB361439
N° DE EJES:	02	NÚMERO DE MOTOR:	926991U1479117
N° DE RUEDAS:	06	ESTADO:	ACTIVO
REFERENCIA DE LLANTA:	PIRELLI TG88 295/80 R22.5	GRUA	AMCO-VEBA - V825-5S - 15 TN

FUNCIÓN PRIMARIA	FUNCIÓN SECUNDARIA
FP: Izar y trasladar cargas metálicas utilizando grúa hidráulica, con capacidad nominal del equipo, manteniendo estabilidad del vehículo y seguridad operacional durante las maniobras.	FS: Transportar materiales, herramientas y personal hacia el frente de trabajo. FS: Desplazarse de forma segura dentro de las instalaciones operativas. FS: Estabilizar el equipo durante maniobras de izaje mediante estabilizadores. FS: Garantizar seguridad del operador y del entorno durante la operación.

MANTENIMIENTO			
PREVENTIVO CADA:	5,000 KM	CÓDIGO FILTRO DE ACEITE:	A0001801709: HENGST
CÓDIGO FILTRO DE AIRE:	A9585280206: HENGST	CÓDIGO FILTRO DE COMBUSTIBLE:	A0000901551: HENGST
CÓDIGO FILTRO DE UREA:	A0001421089: TECFB		
CÓDIGO SEPARADOR DE AGUA:	A0004779915: MBB		

Nota. Elaboración propia.

Figura 50

Ficha Técnica de Montacargas 1-3-5-MOK-01

ASEMING Asociación Estratégica Metal Mecánica de Ingeniería NCK Ingenieros E.I.R.L. • Mechanic Plant Ingenieros S.A.C. Servicios Generales MACKAP E.I.R.L	SISTEMA DE GESTION	Codigo: MAN-FTV-001
		Versión: 02
	FICHA TECNICA VEHICULAR	Revisión: 01
		Elaboracion: 19/12/25
		Pagina 1 de 1

DATOS GENERALES DE LA UNIDAD	
MARCA:	HYUNDAI
MODELO:	50DA-9K
CODIFICACIÓN:	1-3-5-MOK-01
AÑO:	2018
PLACA:	SN
CARROCERÍA:	MONTACARGAS
FUNCIÓN:	ELEVAR/TRANSPORTE DE MATERIALES
N° DE PASAJEROS:	01
N° DE PUERTAS	SN
COLOR:	AMARILLO
CATEGORÍA:	SN
POTENCIA:	94.1HP@1600RPM
UBICACIÓN:	ILO (METALMECÁNICA/ALQUILER)
FORMA RODANTE:	4X2

FOTOGRAFÍA DE LA UNIDAD



CARACTERISTICAS GENERALES			
TIPO DE COMBUSTIBLE:	DISEL	LONGITUD TOTAL	2350 mm
CAPACIDAD DE CARGA:	5000 KG	ANCHO TOTAL	1740 mm
CENTRO DE CARGA:	600 mm	ALTURA DE PROTECCION SUPERIOR	2220 mm
TORQUE	1600 RPM	ALTURA DE ELEVACIÓN	2930 mm
POTENCIA DE MOTOR	70 KW	ALTURA EXTENDIDA DEL MASTIL	4147 mm
N° DE SERIE	HHKHFV32VJ0000171	DISTANCIA AL SUELO	170 mm
PESO DEL EQUIPO	8000 KG	DISTANCIA ENTRE EJES	2000 mm
NEUMÁTICO DELANTERO	7.50-16X14PR	NEUMÁTICO POSTERIOR	7.00-12X14PR

FUNCIÓN PRIMARIA	FUNCIÓN SECUNDARIA
FP: Elevar, transportar y posicionar cargas mediante horquillas, dentro de la capacidad nominal del montacargas, manteniendo la estabilidad del equipo y seguridad operacional durante las maniobras.	FS: Transportar materiales y pallets dentro del área de trabajo. FS: Apilar y desestibar cargas a diferentes alturas. FS: Desplazarse de forma segura en espacios reducidos. FS: Mantener estabilidad del equipo durante la manipulación de cargas. FS: Garantizar la seguridad del operador y del entorno durante la operación.

MANTENIMIENTO			
PREVENTIVO CADA:	250 Hr	CÓDIGO FILTRO DE ACEITE:	HH1CO-32430
CÓDIGO FILTRO DE AIRE PRIMARIO:	11FQ-20150-AS	CÓDIGO FILTRO DE COMBUSTIBLE:	XJBT-02829
CÓDIGO FILTRO DE AIRE SECUNDARIO:	11FQ-20250	CÓDIGO SEPARADOR DE AGUA:	11NA-71041
CÓDIGO FILTRO DE TRANSMISIÓN:	XKBT-01016	ACEITE DE TRANSMISIÓN / MOTOR:	15W40
CÓDIGO FILTRO DE RETORNO:	31FB-60020-A	ACEITE DE DIFERENCIAL:	10W30

Nota. Elaboración propia.

Figura 51

Ficha Técnica de Montacargas 1-3-5-MOE-01

ASEMING Asociación Estratégica Metal Mecánica de Ingeniería NCK Ingenieros E.I.R.L. • Mechanic Plant Ingenieros S.A.C. Servicios Generales MACKAP E.I.R.L	SISTEMA DE GESTION	Codigo: MAN-FTV-001
		Versión: 02
	FICHA TECNICA VEHICULAR	Revisión: 01
		Elaboracion: 19/12/25
		Pagina 1 de 1

DATOS GENERALES DE LA UNIDAD		FOTOGRAFÍA DE LA UNIDAD
MARCA:	HYUNDAI	
MODELO:	160D-7E	
CODIFICACIÓN:	1-3-5-MOE-01	
AÑO:	2022	
PLACA:	SN	
CARROCERÍA:	MONTACARGAS	
FUNCIÓN:	ELEVAR/TRANSPORTE DE MATERIALES	
N° DE PASAJEROS:	01	
N° DE PUERTAS	02	
COLOR:	AMARILLO	
CATEGORÍA:	SN	
POTENCIA:	190HP@2200RPM	
UBICACIÓN:	MOQUEGUA (ALQUILER - NOATUN)	
FORMA RODANTE:	4X2	

CARACTERISTICAS GENERALES			
TIPO DE COMBUSTIBLE:	DISEL	LONGITUD TOTAL	6255 mm
CAPACIDAD DE CARGA:	16000 KG	ANCHO TOTAL	2497 mm
CENTRO DE CARGA:	600 mm	ALTURA DE PROTECCION SUPERIOR	2935 mm
MOTOR	2200 RPM	ALTURA DE ELEVACIÓN	5010 mm
POTENCIA DE MOTOR	119 KW	ALTURA MASTIL REPLEGAGO	4300 mm
N° DE SERIE	HHKHFT08CF0001679	DISTANCIA AL SUELO	270 mm
PESO DEL EQUIPO	19235 KG	DISTANCIA ENTRE EJES	3300 mm
NEUMÁTICO DELANTERO	12.00 R20	NEUMÁTICO POSTERIOR	12.00 R20

FUNCIÓN PRIMARIA	FUNCIÓN SECUNDARIA
FP: Elevar, transportar y posicionar cargas mediante horquillas, dentro de la capacidad nominal del montacargas, manteniendo la estabilidad del equipo y seguridad operacional durante las maniobras.	FS: Transportar materiales y pallets dentro del área de trabajo. FS: Apilar y desestibar cargas a diferentes alturas. FS: Desplazarse de forma segura en espacios reducidos. FS: Mantener estabilidad del equipo durante la manipulación de cargas. FS: Garantizar la seguridad del operador y del entorno durante la operación.

MANTENIMIENTO			
PREVENTIVO CADA:	250 Hr	CÓDIGO FILTRO DE ACEITE:	11N8-70110
CÓDIGO FILTRO DE AIRE PRIMARIO:	11EM-21041-A	CÓDIGO FILTRO DE COMBUSTIBLE:	11LG-70010
CÓDIGO FILTRO DE AIRE SECUNDARIO:	11EM-21051-A	CÓDIGO SEPARADOR DE AGUA:	11NA-71041
CÓDIGO FILTRO DE TRANSMISIÓN:	ZGAQ-02400	ACEITE DE TRANSMISIÓN / MOTOR:	SGX15W40
CÓDIGO FILTRO DE RETORNO HIDRAULICO:	31FT-05063	ACEITE DE DIFERENCIAL:	80W90

Nota. Elaboración propia.

Figura 52

Ficha Técnica de Montacargas 1-3-5-MOE-02

ASEMING Asociación Estratégica Metal Mecánica de Ingeniería NCK Ingenieros E.I.R.L. • Mechanic Plant Ingenieros S.A.C. Servicios Generales MACKAP E.I.R.L	SISTEMA DE GESTION	Codigo: MAN-FTV-001
		Versión: 02
	FICHA TECNICA VEHICULAR	Revisión: 01
		Elaboracion: 19/12/25
		Pagina 1 de 1

DATOS GENERALES DE LA UNIDAD		FOTOGRAFÍA DE LA UNIDAD
MARCA:	HYUNDAI	
MODELO:	160D-7E	
CODIFICACIÓN:	1-3-5-MOE-02	
AÑO:	2023	
PLACA:	SN	
CARROCERÍA:	MONTACARGAS	
FUNCIÓN:	ELEVAR/TRANSPORTE DE MATERIALES	
N° DE PASAJEROS:	01	
N° DE PUERTAS	02	
COLOR:	AMARILLO	
CATEGORÍA:	SN	
POTENCIA:	190HP@2200RPM	
UBICACIÓN:	MOQUEGUA (ALQUILER - NOATUN)	
FORMA RODANTE:	4X2	

CARACTERISTICAS GENERALES			
TIPO DE COMBUSTIBLE:	DISEL	LONGITUD TOTAL	6255 mm
CAPACIDAD DE CARGA:	16000 KG	ANCHO TOTAL	2497 mm
CENTRO DE CARGA:	600 mm	ALTURA DE PROTECCION SUPERIOR	2935 mm
MOTOR	2200 RPM	ALTURA DE ELEVACIÓN	3010 mm
POTENCIA DE MOTOR	119 KW	ALTURA EXTENDIDA DEL MASTIL	4710 mm
N° DE SERIE	HHKHFT08LF0001783	DISTANCIA AL SUELO	270 mm
PESO DEL EQUIPO	19235 KG	DISTANCIA ENTRE EJES	3300 mm
NEUMÁTICO DELANTERO	12.0-20	NEUMÁTICO POSTERIOR	12.0-20

FUNCIÓN PRIMARIA	FUNCIÓN SECUNDARIA
FP: Elevar, transportar y posicionar cargas mediante horquillas, dentro de la capacidad nominal del montacargas, manteniendo la estabilidad del equipo y seguridad operacional durante las maniobras.	FS: Transportar materiales y pallets dentro del área de trabajo. FS: Apilar y desestibar cargas a diferentes alturas. FS: Desplazarse de forma segura en espacios reducidos. FS: Mantener estabilidad del equipo durante la manipulación de cargas. FS: Garantizar la seguridad del operador y del entorno durante la operación.

MANTENIMIENTO			
PREVENTIVO CADA:	250 Hr	CÓDIGO FILTRO DE ACEITE:	11N8-70110
CÓDIGO FILTRO DE AIRE PRIMARIO:	11EM-21041-A	CÓDIGO FILTRO DE COMBUSTIBLE:	11LG-70010
CÓDIGO FILTRO DE AIRE SECUNDARIO:	11EM-21051-A	CÓDIGO SEPARADOR DE AGUA:	11NA-71041
CÓDIGO FILTRO DE TRANSMISIÓN:	ZGAQ-02400	ACEITE DE TRANSMISIÓN / MOTOR:	SGX15W40
CÓDIGO FILTRO DE RETORNO HIDRAULICO:	31FT-05063	ACEITE DE DIFERENCIAL:	80W90

Nota. Elaboración propia.

Figura 53

Ficha Técnica de Minibús 1-3-5-MIB-01

ASEMING Asociación Estratégica Metal Mecánica de Ingeniería NCK Ingenieros E.I.R.L. • Mechanic Plant Ingenieros S.A.C. Servicios Generales MACKAP E.I.R.L	SISTEMA DE GESTION	Codigo: MAN-FTV-003
		Versión: 02
	FICHA TECNICA VEHICULAR	Revisión: 01
		Elaboracion: 24/12/25
		Pagina 1 de 1

DATOS GENERALES DE LA UNIDAD	
MARCA:	RENAULT
MODELO:	MASTER
CODIFICACIÓN:	1-3-5-MIB-01
VERSIÓN:	MASTER MINIBUS 2.3 MT 4X2 PH2
AÑO:	2023
PLACA:	Z7H-154
CARROCERÍA:	MICROBUS
FUNCIÓN:	TRANSPORTE DE PERSONAL
N° DE PASAJEROS:	15
N° DE PUERTAS	03
COLOR:	BLANCO
CATEGORÍA:	M2-C3
POTENCIA:	95HP@3500RPM
UBICACIÓN:	ILO - ALQUILER
FORMA RODANTE:	4X2

FOTOGRAFÍA DE LA UNIDAD



CARACTERISTICAS GENERALES			
PESO NETO:	2,508 KG	CILINDROS:	04
PESO BRUTO:	3,750 KG	CILINDRADA:	2,299 CM^3
ALTURA:	2,492 MTS	VIN DE CHASIS:	93YJ62003PJ516646
ANCHO:	2,07 MTS	NÚMERO DE MOTOR:	M9TC678C033734
LARGO:	6,225 MTS	ESTADO:	OPERATIVO
CARGA ÚTIL:	1,242 KG	N° DE RUEDAS:	04
REFERENCIA DE LLANTA:	ECOVISION AT LT225/75 R16	N° DE EJES:	02

FUNCIÓN PRIMARIA	FUNCIÓN SECUNDARIA
FP:Transportar personal de manera segura y eficiente dentro y/o fuera del área de operación, cumpliendo la capacidad nominal del vehículo, las condiciones de seguridad vial y garantizando la integridad de los ocupantes durante el traslado	FS: Permitir el embarque y desembarque seguro del personal. FS: Trasladar personal dentro y fuera del área de trabajo. FS: Mantener la seguridad de los ocupantes durante el desplazamiento. FS: Garantizar estabilidad y control del vehículo durante la operación.

MANTENIMIENTO			
PREVENTIVO CADA:	7,000 KM	CÓDIGO FILTRO DE A/C:	MFC-0148
CÓDIGO FILTRO DE COMBUSTIBLE:	7701208613	ACEITE DE MOTOR:	MOBIL DELVAC SINTETICO SAE 10W40
CÓDIGO FILTRO DE ACEITE:	152093920R		
CÓDIGO FILTRO DE AIRE:	165465171R		

Nota. Elaboración propia.

Figura 54

Ficha Técnica de Minibús 1-4-2-MIB-03

ASEMING Asociación Estratégica Metal Mecánica de Ingeniería NCK Ingenieros E.I.R.L. • Mechanic Plant Ingenieros S.A.C. Servicios Generales MACKAP E.I.R.L	SISTEMA DE GESTION	Codigo: MAN-FTV-003
		Versión: 02
	FICHA TECNICA VEHICULAR	Revisión: 01
		Elaboracion: 24/12/25
		Pagina 1 de 1

DATOS GENERALES DE LA UNIDAD		FOTOGRAFÍA DE LA UNIDAD
MARCA:	RENAULT	
MODELO:	MASTER	
CODIFICACIÓN:	1-4-2-MIB-03	
VERSIÓN:	MASTER MINIBUS 2.3 MT 4X2 PH2	
AÑO:	2022	
PLACA:	VAA-290	
CARROCERÍA:	MICROBUS	
FUNCIÓN:	TRANSPORTE DE PERSONAL	
N° DE PASAJEROS:	15	
N° DE PUERTAS	03	
COLOR:	BLANCO GLACIAR	
CATEGORÍA:	M2-C3	
POTENCIA:	95HP@3500RPM	
UBICACIÓN:	SEGREGACIÓN (TOQUEPALA)	
FORMA RODANTE:	4X2	

CARACTERISTICAS GENERALES			
PESO NETO:	2,540 KG	CILINDROS:	04
PESO BRUTO:	3,750 KG	CILINDRADA:	2,299 CM^3
ALTURA:	2,496 MTS	VIN DE CHASIS:	93YMEN4CENJ986282
ANCHO:	2,07 MTS	NÚMERO DE MOTOR:	M9TC678C032188
LARGO:	6,198 MTS	ESTADO:	ACTIVO
CARGA ÚTIL:	1,242 KG	N° DE RUEDAS:	04
REFERENCIA DE LLANTA:	ADVENTURE MT 225/75 R16 RADIAL	N° DE EJES:	02

FUNCIÓN PRIMARIA	FUNCIÓN SECUNDARIA
FP:Transportar personal de manera segura y eficiente dentro y/o fuera del área de operación, cumpliendo la capacidad nominal del vehículo, las condiciones de seguridad vial y garantizando la integridad de los ocupantes durante el traslado	FS: Permitir el embarque y desembarque seguro del personal. FS: Trasladar personal dentro y fuera del área de trabajo. FS: Mantener la seguridad de los ocupantes durante el desplazamiento. FS: Garantizar estabilidad y control del vehículo durante la operación.

MANTENIMIENTO			
PREVENTIVO CADA:	5,000 KM	CÓDIGO FILTRO DE A/C:	MFC-0148
CÓDIGO FILTRO DE COMBUSTIBLE:	PURFLUX C527	ACEITE DE MOTOR:	MOBIL DELVAC 15W40
CÓDIGO FILTRO DE ACEITE:	PURFLUX L460		
CÓDIGO FILTRO DE AIRE:	PURFLUX A1826		

Nota. Elaboración propia.

Figura 55

Ficha Técnica de Minibús 1-5-3-MIB-04

ASEMING Asociación Estratégica Metal Mecánica de Ingeniería NCK Ingenieros E.I.R.L. • Mechanic Plant Ingenieros S.A.C. Servicios Generales MACKAP E.I.R.L	SISTEMA DE GESTION	Codigo: MAN-FTV-003
		Versión: 02
	FICHA TECNICA VEHICULAR	Revisión: 01
		Elaboracion: 24/12/25
		Pagina 1 de 1

DATOS GENERALES DE LA UNIDAD		FOTOGRAFÍA DE LA UNIDAD
MARCA:	RENAULT	
MODELO:	MASTER	
CODIFICACIÓN:	1-5-3-MIB-04	
VERSIÓN:	MASTER MINIBUS 2.3 MT 4X2 PH2	
AÑO:	2023	
PLACA:	Z7F-643	
CARROCERÍA:	MICROBUS	
FUNCIÓN:	TRANSPORTE DE PERSONAL	
N° DE PASAJEROS:	15	
N° DE PUERTAS	03	
COLOR:	BLANCO	
CATEGORÍA:	M2	
POTENCIA:	95KW@3500RPM	
UBICACIÓN:	SEGREGACIÓN (CUAJONE)	
FORMA RODANTE:	4X2	

CARACTERISTICAS GENERALES			
PESO NETO:	2,508 KG	CILINDROS:	04
PESO BRUTO:	3,750 KG	CILINDRADA:	2,299 CM^3
ALTURA:	2,492 MTS	VIN DE CHASIS:	93YJ62009PJ486553
ANCHO:	2,07 MTS	NÚMERO DE MOTOR:	M9TC678C033499
LARGO:	6,225 MTS	ESTADO:	OPERATIVO
CARGA ÚTIL:	1,242 KG	N° DE RUEDAS:	04
REFERENCIA DE LLANTA:	ADVENTURE MT 225/75 R16 RADIAL	N° DE EJES:	02

FUNCIÓN PRIMARIA	FUNCIÓN SECUNDARIA
FP:Transportar personal de manera segura y eficiente dentro y/o fuera del área de operación, cumpliendo la capacidad nominal del vehículo, las condiciones de seguridad vial y garantizando la integridad de los ocupantes durante el traslado	FS: Permitir el embarque y desembarque seguro del personal. FS: Trasladar personal dentro y fuera del área de trabajo. FS: Mantener la seguridad de los ocupantes durante el desplazamiento. FS: Garantizar estabilidad y control del vehículo durante la operación.

MANTENIMIENTO			
PREVENTIVO CADA:	5,000 KM	CÓDIGO FILTRO DE A/C:	MFC-0148
CÓDIGO FILTRO DE COMBUSTIBLE:	PURFLUX C527	ACEITE DE MOTOR:	MOBIL DELVAC 15W40
CÓDIGO FILTRO DE ACEITE:	PURFLUX L460		
CÓDIGO FILTRO DE AIRE:	PURFLUX A1826		

Nota. Elaboración propia.

Figura 56

Ficha Técnica de Combi 1-3-5-COC-01

ASEMING Asociación Estratégica Metal Mecánica de Ingeniería NCK Ingenieros E.I.R.L. • Mechanic Plant Ingenieros S.A.C. Servicios Generales MACKAP E.I.R.L	SISTEMA DE GESTION	Codigo: MAN-FTV-004
		Versión: 02
	FICHA TECNICA VEHICULAR	Revisión: 01
		Elaboracion: 27/12/25
		Pagina 1 de 1

DATOS GENERALES DE LA UNIDAD		FOTOGRAFÍA DE LA UNIDAD
MARCA:	HYUNDAI	
MODELO:	COUNTY	
CODIFICACIÓN	1-3-5-COC-01	
AÑO:	2022	
PLACA:	Z60-004	
CARROCERÍA:	MINIBUS	
FUNCIÓN:	TRANSPORTE DE PERSONAL	
N° DE PASAJEROS:	27	
N° DE PUERTAS	04	
COLOR:	BLANCO	
CATEGORÍA:	M3	
POTENCIA:	110.3HP@2500RPM	
UBICACIÓN:	ILO - ALQUILER	
FORMA RODANTE:	4X2	

CARACTERISTICAS GENERALES			
PESO NETO:	4435 KG	CILINDROS:	4
PESO BRUTO:	6320 KG	CILINDRADA:	3.933
ALTURA:	2755 mm	VIN DE CHASIS:	KMJHG17HPNC500785
ANCHO:	2035 mm	NÚMERO DE MOTOR:	D4GAMJ324745
LARGO:	7110 mm	ESTADO:	OPERATIVO
CARGA ÚTIL:	1885 KG	N° DE EJES:	2
N° DE EJES:	2	N° DE RUEDAS:	6
REFERENCIA DE LLANTA:	7.50R16 14PR		

FUNCIÓN PRIMARIA	FUNCIÓN SECUNDARIA
FP:Transportar personal de manera segura y eficiente dentro y/o fuera del área de operación, cumpliendo la capacidad nominal del vehículo, las condiciones de seguridad vial y garantizando la integridad de los ocupantes durante el traslado	FS: Permitir el embarque y desembarque seguro del personal. FS: Trasladar personal dentro y fuera del área de trabajo. FS: Mantener la seguridad de los ocupantes durante el desplazamiento. FS: Garantizar estabilidad y control del vehículo durante la operación.

MANTENIMIENTO			
PREVENTIVO CADA:	5,000 KM	CÓDIGO FILTRO DE A/C:	97133-8E000
CÓDIGO FILTRO DE COMBUSTIBLE:	31945-8E300	ACEITE DE MOTOR:	15W-40
CÓDIGO FILTRO DE ACEITE:	26300-35505	FILTRO SEPARADOR DE AGUA:	31945-8E300
CÓDIGO FILTRO DE AIRE:	28130-8E000		

Nota. Elaboración propia.

Figura 57

Ficha Técnica de Camioneta Ford 1-2-4-CAF-01

ASEMING Asociación Estratégica Metal Mecánica de Ingeniería NCK Ingenieros E.I.R.L. • Mechanic Plant Ingenieros S.A.C. Servicios Generales MACKAP E.I.R.L	SISTEMA DE GESTION	Codigo: MAN-FTV-004
		Versión: 02
	FICHA TECNICA VEHICULAR	Revisión: 01
		Elaboracion: 27/12/25
		Pagina 1 de 1

DATOS GENERALES DE LA UNIDAD	
MARCA:	FORD
MODELO:	RANGER XLS 4X4 MT
CODIFICACIÓN	1-2-4-CAF-01
AÑO:	2020
PLACA:	V0V-905
CARROCERÍA:	PICK UP
FUNCIÓN:	TRANSPORTE DE PERSONAL Y CARGA
N° DE PASAJEROS:	04
N° DE PUERTAS	05
COLOR:	ROJO
CATEGORÍA:	N1
POTENCIA:	146.90HP@3000RPM
UBICACIÓN:	ILO - ALQUILER
FORMA RODANTE:	4X4

FOTOGRAFÍA DE LA UNIDAD



CARACTERISTICAS GENERALES			
PESO NETO:	2052 KG	CILINDROS:	5
PESO BRUTO:	3200 KG	CILINDRADA:	3.2
ALTURA:	1848 mm	VIN DE CHASIS:	8AFAR23L9LJ172191
ANCHO:	1086 mm	NÚMERO DE MOTOR:	SA2QLJ172191
LARGO:	5354 mm	ESTADO:	OPERATIVO
CARGA ÚTIL:	1148 kg	N° DE EJES:	2
COMBUSTIBLE:	DIESEL	N° DE RUEDAS:	4
REFERENCIA DE LLANTA:	255/70 R16		

FUNCIÓN PRIMARIA	FUNCIÓN SECUNDARIA
FP:Transportar personal y materiales ligeros de forma segura dentro y fuera del área de operación.	FS1: Permitir embarque y desembarque seguro del personal. FS2: Trasladar personal al área de trabajo. FS3: Transportar herramientas y materiales menores. FS4: Garantizar estabilidad y control en la operación.

MANTENIMIENTO			
PREVENTIVO CADA:	10,000 KM	CÓDIGO FILTRO DE A/C:	AB39-19N619-AA
CÓDIGO FILTRO DE COMBUSTIBLE:	AB39-9176-AB	ACEITE DE MOTOR:	5W-30 SINTÉTICO
CÓDIGO FILTRO DE ACEITE:	FL-2062-A		
CÓDIGO FILTRO DE AIRE:	AB39-9601-AB		

Nota. Elaboración propia.

Figura 58

Ficha Técnica de Camioneta Ford 1-2-4-CAF-02

ASEMING Asociación Estratégica Metal Mecánica de Ingeniería NCK Ingenieros E.I.R.L. • Mechanic Plant Ingenieros S.A.C. Servicios Generales MACKAP E.I.R.L.	SISTEMA DE GESTION	Codigo: MAN-FTV-004
		Versión: 02
	FICHA TECNICA VEHICULAR	Revisión: 01
		Elaboracion: 27/12/25
		Pagina 1 de 1

DATOS GENERALES DE LA UNIDAD	
MARCA:	FORD
MODELO:	RANGER XLS 4X4 MT
CODIFICACIÓN	1-2-4-CAF-02
AÑO:	2021
PLACA:	VAR-728
CARROCERÍA:	PICK UP
FUNCIÓN:	TRANSPORTE DE PERSONAL Y CARGA
N° DE PASAJEROS:	04
N° DE PUERTAS	05
COLOR:	GUINDA
CATEGORÍA:	N1
POTENCIA:	146.90HP@3000RPM
UBICACIÓN:	ILO - ALQUILER
FORMA RODANTE:	4X4

FOTOGRAFÍA DE LA UNIDAD



CARACTERISTICAS GENERALES			
PESO NETO:	2052 KG	CILINDROS:	5
PESO BRUTO:	3200 KG	CILINDRADA:	3.2
ALTURA:	1848 mm	VIN DE CHASIS:	8AFAR23L9LJ172191
ANCHO:	1086 mm	NÚMERO DE MOTOR:	SA2QLJ172191
LARGO:	5354 mm	ESTADO:	OPERATIVO
CARGA ÚTIL:	1148 kg	N° DE EJES:	2
COMBUSTIBLE:	DIESEL	N° DE RUEDAS:	4
REFERENCIA DE LLANTA:	255/70 R16		

FUNCIÓN PRIMARIA	FUNCIÓN SECUNDARIA
FP:Transportar personal y materiales ligeros de forma segura dentro y fuera del área de operación.	FS1: Permitir embarque y desembarque seguro del personal. FS2: Trasladar personal al área de trabajo. FS3: Transportar herramientas y materiales menores. FS4: Garantizar estabilidad y control en la operación.

MANTENIMIENTO			
PREVENTIVO CADA:	10,000 KM	CÓDIGO FILTRO DE A/C:	AB39-19N619-AA
CÓDIGO FILTRO DE COMBUSTIBLE:	AB39-9176-AB	ACEITE DE MOTOR:	5W-30 SINTÉTICO
CÓDIGO FILTRO DE ACEITE:	FL-2062-A		
CÓDIGO FILTRO DE AIRE:	AB39-9601-AB		

Nota. Elaboración propia.

Figura 59

Ficha Técnica de Retroexcavadora Hidromek (102B) 1-3-5-RET-01

ASEMING Asociación Estratégica Metal Mecánica de Ingeniería NCK Ingenieros E.I.R.L. • Mechanic Plant Ingenieros S.A.C. Servicios Generales MACKAP E.I.R.L	SISTEMA DE GESTION	Codigo: MAN-FTV-004
		Versión: 02
	FICHA TECNICA VEHICULAR	Revisión: 01
		Elaboracion: 27/12/25
		Pagina 1 de 1

DATOS GENERALES DE LA UNIDAD		FOTOGRAFÍA DE LA UNIDAD
MARCA:	HIDROMEK	
MODELO:	ALPHA 102B	
CODIFICACIÓN	1-3-5-RET-01	
AÑO:	2024	
PLACA:	SN	
CARROCERÍA:	RETROEXCAVADORA	
FUNCIÓN:	EXCAVACIÓN, CARGUÍO Y MOVIMIENTO DE MATERIAL	
N° DE PASAJEROS:	01 (OPERADOR)	
N° DE PUERTAS	02	
COLOR:	BALANCO / NEGRO	
CATEGORÍA:	MAQUINARIA PESADA	
POTENCIA:	74.4 kW @ 2200 RPM	
UBICACIÓN:	ILO - ALQUILER	
FORMA RODANTE:	4X4	

CARACTERISTICAS GENERALES			
PESO NETO:	8,935 kg	COMBUSTIBLE:	DIESEL
PESO BRUTO:	8,960 kg	N° DE EJES:	02
ALTURA:	3,562 mm	N° DE RUEDAS:	04
ANCHO:	2,420 mm	CILINDROS:	04
LARGO:	7,380 mm	CILINDRADA:	4.4 L
CAPACIDAD CUCHARÓN FRONTAL:	1.1 m³	ESTADO:	OPERATIVO
CAPACIDAD CUCHARÓN RETRO	0.18 m³	NUMERO DE MOTOR:	CD4045L334863
REFERENCIA DE LLANTA FRONTAL:	12.5/80-18	NUMERO DE SERIE:	HMK102BPL2B550050
REFERENCIA DE LLANTA POSTERIOR:	16.9-28		

FUNCIÓN PRIMARIA	FUNCIÓN SECUNDARIA
FP: Realizar excavación, carguío y movimiento de material dentro del área de operación.	FS1: Excavar zanjas y fundaciones según requerimiento operativo. FS2: Cargar y descargar material con cucharón frontal. FS3: Nivelar, perfilar y acondicionar el terreno. FS4: Transportar material a corta distancia dentro del área de trabajo. FS5: Garantizar la seguridad del operador y del entorno durante la operación del

MANTENIMIENTO			
PREVENTIVO CADA:	250 Hr	CÓDIGO FILTRO DE A/C:	2652A016
CÓDIGO FILTRO DE COMBUSTIBLE:	26561117	FILTRO SEPARADOR DE AGUA	2656F853
CÓDIGO FILTRO DE ACEITE:	2654407	FILTRO DE ACEITE HIDRAULICO:	P551210
CÓDIGO FILTRO DE AIRE PRI.:	26510342	FILTRO DE RETORNO HIDRA:	HF35516
CÓDIGO FILTRO DE AIRE SEC.:	26510343	ACEITE DE MOTOR:	15W-40 DIESEL API CI-4 / CK-4

Nota. Elaboración propia.

4.4. Paso 3: Determinar los Sistemas de los Activos

En esta etapa se determinan los sistemas correspondientes a los activos críticos, para posteriormente realizar un primer análisis del historial de fallas. A partir de dicha información, se elabora el diagrama de Jack Knife, el cual permite identificar la criticidad de los sistemas. Finalmente, con base en estos resultados, se procede al cálculo de los principales indicadores de mantenimiento.

4.4.1. Primer análisis del historial de fallas de activos críticos

Tabla 24

1er.Historial de fallas – Camión Grúa Freightliner 1-2-4-CGF-01

CAMIÓN GRUA FREIGHTLINER 1-2-4-CGF-01				
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):				**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Estructura	50	Aplicación de undercoating	24
2	Eléctrico	74	Neblineros superiores no encienden	8
3	Eléctrico	180	Pértiga en mal estado	24
4	Estructura	250	Soporte de neumático de repuesto dañado	24
5	Grúa	274	Mant. estabilizador posterior fuga de aceite	48
6	Frenos y presión de aire	514	Cambio de válvula de freno de aire	360
7	Frenos y presión de aire	639	Cambio de zapatas	48
8	Ruedas y Neumáticos	612	Cambio de neumáticos	72
9	Estructura	972	Estructura de tolva deteriorada	240
10	Eléctrico	1097	Porta fusibles fundido	5
11	Grúa	1193	Engrase de pluma de grúa	8
12	Grúa	1217	Cambio de aceite hidráulico	7
13	Grúa	1342	Mantenimiento general de grúa	480
14	Lubricación	1702	Cambio de aceite	2
15	Lubricación	1704	Cambio de filtro de aceite	2
16	Admisión	1706	Cambio de filtro de aire	2
17	Combustible	1708	Cambio de filtro de combustible	2
18	Combustible	1710	Cambio de filtro separador de agua	2
19	Transmisión	1902	Rotura de faja de transmisión	24
20	Suspensión	2382	Suspensión delantera derecha defectuosa	96
21	Refrigeración	3032	Rotura de radiador	216
22	Refrigeración	3157	Depósito de líquido refrigerante dañado	48
23	Dirección	3397	Cambio de la barra de dirección	120
24	Suspensión	3757	Cambio de pulmones de aire	146
25	Motor	3949	Arrancador defectuoso	240
26	Escape	4141	Tubo de escape roto	120
27	Estructura	4189	Reparación de parachoques posterior	48
28	Ruedas y Neumáticos	4237	Fuga de aceite del cubo de rueda delantero	24
29	Refrigeración	4261	Manguera de radiador rota	8
30	Frenos y presión de aire	4311	Fuga de aire - compresor dañado	240

Nota. Elaboración propia.

Tabla 25

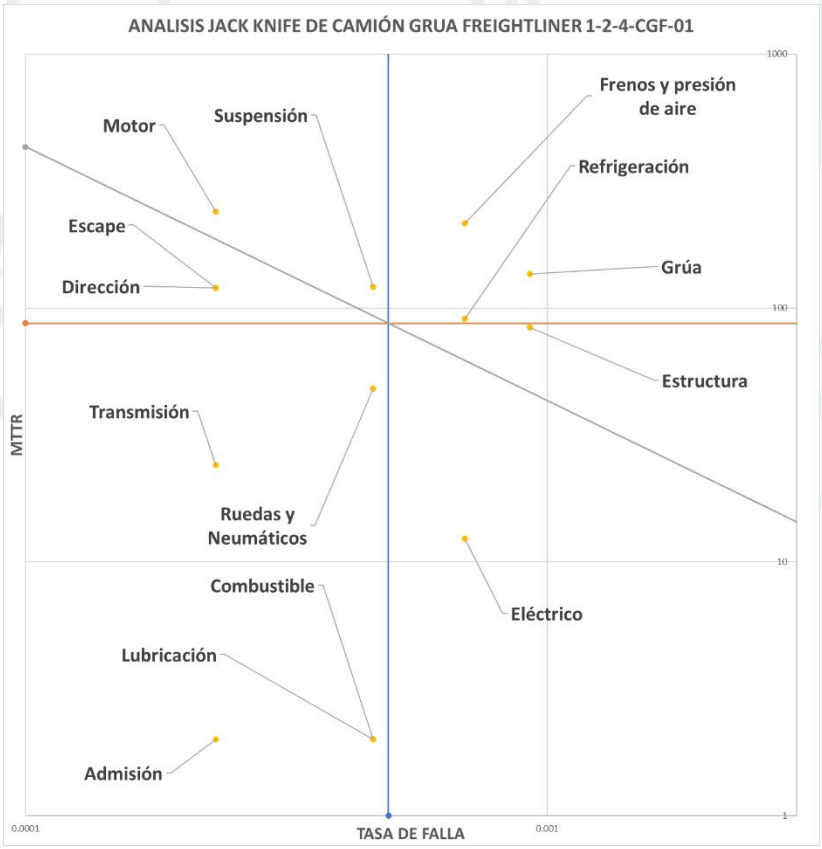
1er.Base de Datos del Diagrama Jack knife – 1-2-4-CGF-01

CAMIÓN GRUA FREIGHTLINER 1-2-4-CGF-01					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Estructura	5461	4	84	0.000925926	7.78%
Motor	3949	1	240	0.000231481	5.56%
Admisión	1706	1	2	0.000231481	0.05%
Combustible	3418	2	2	0.000462963	0.09%
Escape	4141	1	120	0.000231481	2.78%
Lubricación	3406	2	2	0.000462963	0.09%
Refrigeración	10450	3	90.6	0.000694444	6.30%
Frenos y presión de aire	5464	3	216	0.000694444	15.00%
Suspensión	6139	2	121	0.000462963	5.60%
Dirección	3397	1	120	0.000231481	2.78%
Eléctrico	1351	3	12.33	0.000694444	0.86%
Transmisión	1902	1	24	0.000231481	0.56%
Ruedas y Neumáticos	4849	2	48	0.000462963	2.22%
Grúa	4026	4	135.75	0.000925926	12.57%

Nota. Elaboración propia.

Figura 60

1er.Diagr. de Jack knife- Camión Grúa Freightliner 1-2-4-CGF-01



Nota. Elaboración propia.

Tabla 26

1er.Historial de fallas – Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-01

CAMIÓN GRUA SCANIA 1-3-5-CGS-01				
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):				**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Estructura	80	Instalación porta taco, bandeja, conos	16
2	Eléctrico	152	Neblineros inferiores rotos	12
3	Grúa	277	Engrase de pluma de grúa	8
4	Estructura	512	Parachoques trasero dañado	120
5	Ruedas y Neumáticos	704	Parchado de neumático delantero derecho	24
6	Lubricación	824	Cambio de aceite	3
7	Lubricación	826	Cambio de filtro de aceite	2
8	Admisión	828	Cambio de filtro de aire	2
9	Combustible	830	Cambio de filtro de combustible	2
10	Combustible	832	Cambio de filtro separador de agua	3
11	Estructura	976	Aplicación de undercoating	96
12	Frenos y presión de aire	1216	Cambio de zapatas	72
13	Ruedas y Neumáticos	1490	Cambio de neumáticos	192
14	Dirección	1730	Inspección de dirección	48
15	Lubricación	2230	Cambio de aceite	10
16	Lubricación	2240	Cambio de filtro de aceite	3
17	Admisión	2242	Cambio de filtro de aire	3
18	Combustible	2244	Cambio de filtro de combustible	3
19	Combustible	2246	Cambio de filtro separador de agua	3
20	Grúa	2366	Fuga de aceite hidráulico por mangueras	48
21	Transmisión	2606	Sensor de embrague defectuoso	240
22	Suspensión	2634	Inspección de suspensión	8
23	Grúa	2658	Cambio de Manguera hidráulica	360
24	Eléctrico	3138	Faro trasero derecho roto	96
25	Eléctrico	3258	Foco delantero izquierdo quemado	8
26	Eléctrico	3354	Focos laterales quemados	8
27	Refrigeración	3425	Tapa de radiador defectuosa	72
28	Escape	3505	Tubo de escape roto	180
29	Suspensión	3630	Inspección de suspensión	12
30	Estructura	3712	Cambio de cintas reflectivas	4
31	Refrigeración	3714	Aumento del nivel del líquido refrigerante	3
32	Combustible	3738	Bomba de combustible dañada	480
33	Combustible	3786	Limpieza del tanque de combustible	480
34	Eléctrico	3972	Nuevo cableado, circulina, neblineros	48
35	Estructura	4072	Fabricación, instalación de defensas laterales	80
36	Frenos y presión de aire	4182	Mantenimiento de tambores de freno	48
37	Grúa	4277	Reparar estabilizador posterior, fuga de aceite	24
38	Motor	4292	Limpieza de motor	24

Nota. Elaboración propia.

Tabla 27

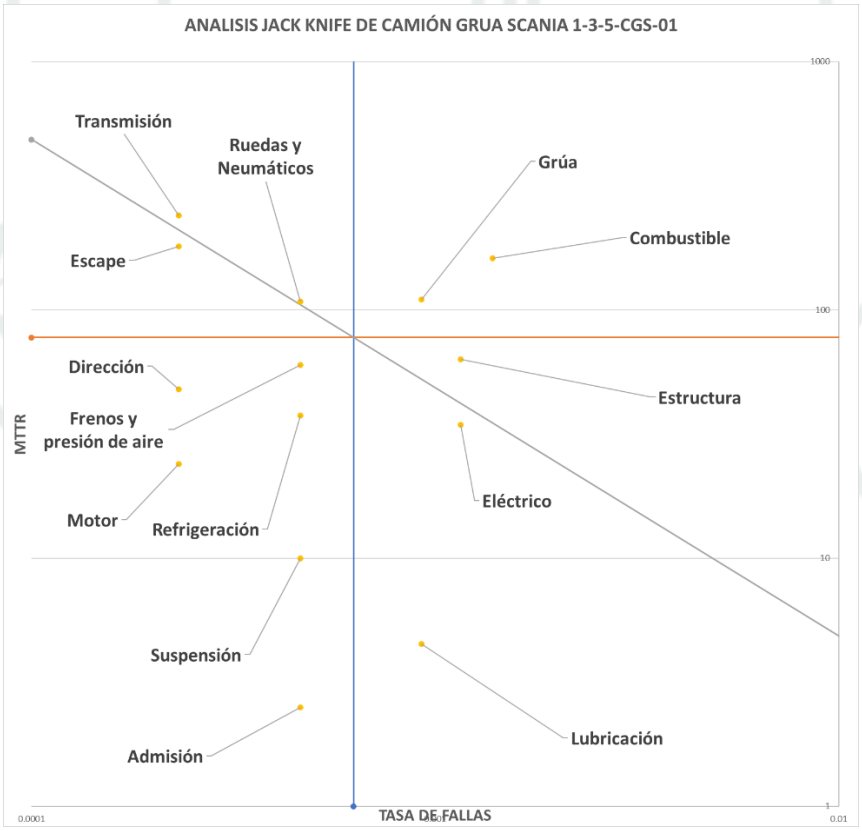
1er.Base de Datos del Diagrama Jack knife – 1-3-5-CGS-01

CAMIÓN GRUA FREIGHTLINER 1-2-2-CGF-01					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Estructura	9352	5	63	0.001157407	7.31%
Motor	4292	1	24	0.000231481	0.56%
Admisión	3070	2	3	0.000462963	0.12%
Combustible	13676	6	162	0.001388889	22.48%
Escape	3505	1	180	0.000231481	4.17%
Lubricación	6120	4	5	0.000925926	0.42%
Refrigeración	7139	2	38	0.000462963	1.74%
Frenos y presión de aire	5398	2	60	0.000462963	2.78%
Suspensión	6264	2	10	0.000462963	0.46%
Dirección	1730	1	48	0.000231481	1.11%
Eléctrico	13874	5	34	0.001157407	3.98%
Transmisión	2606	1	240	0.000231481	5.56%
Ruedas y Neumáticos	2194	2	108	0.000462963	5.00%
Grúa	9578	4	110	0.000925926	10.19%

Nota. Elaboración propia.

Figura 61

1er.Diagr. de Jack knife- Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-01



Nota. Elaboración propia.

Tabla 28

1er.Historial de fallas – Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-02

CAMIÓN GRUA SCANIA 1-3-5-CGS-02				
	HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):			**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Grúa	10	Inspección de estabilizadores	48
2	Combustible	130	Limpieza del tanque de combustible	24
3	Ruedas y Neumáticos	154	Cambio de neumáticos	80
4	Motor	354	Limpieza de motor	7
5	Eléctrico	378	Pértiga en mal estado	46
6	Escape	320	Tubo de escape roto	120
7	Lubricación	340	Cambio de aceite	6
8	Lubricación	342	Cambio de filtro de aceite	6
9	Admisión	344	Cambio de filtro de aire	6
10	Combustible	346	Cambio de filtro de combustible	6
11	Combustible	348	Cambio de filtro separador de agua	6
12	Estructura	488	Aplicación de undercoating	28
13	Grúa	608	Engrase de grúa	8
14	Estructura	704	Instalación de bases porta tacos, conos	72
15	Grúa	1114	Fuga de aceite hidráulico	48
16	Grúa	1138	Cambio de aceite hidráulico	6
17	Transmisión	1234	Cambio de aceite de caja de transmisión	12
18	Dirección	1248	Cambio de líquido de dirección	12
19	Lubricación	2150	Cambio de aceite	6
20	Lubricación	2152	Cambio de filtro de aceite	6
21	Admisión	2154	Cambio de filtro de aire	6
22	Combustible	2156	Cambio de filtro de combustible	6
23	Combustible	2158	Cambio de filtro separador de agua	6
24	Grúa	2283	Engrase de grúa	7
25	Grúa	2408	Cambio de manguera hidráulica	12
26	Escape	2522	Tubo de escape roto	120
27	Eléctrico	2772	Faro trasero derecho roto	80
28	Grúa	2897	Mantenimiento general de grúa	350
29	Grúa	3257	Ajuste de cañería metálica	24
30	Refrigeración	3382	Cambio de depósito de refrigerante	80
31	Frenos	3520	Cambio de zapatas	24
32	Frenos	3750	Revisión y limpieza de frenos	48
33	Suspensión	3875	Inspección de suspensión	48
34	Eléctrico	3995	Cableado nuevo del sistema eléctrico	120
35	Eléctrico	4045	Cambio de focos laterales quemados	8
36	Grúa	4170	Cambio de manguera hidráulica brazo	24
37	Admisión	4172	Limpieza del filtro de aire	2
38	Grúa	4211	Engrase de grúa	8
39	Frenos	4239	Ajuste de frenos delanteros tambor	48
40	Grúa	4319	Mantenimiento receptor de control	24

Nota. Elaboración propia.

Tabla 29

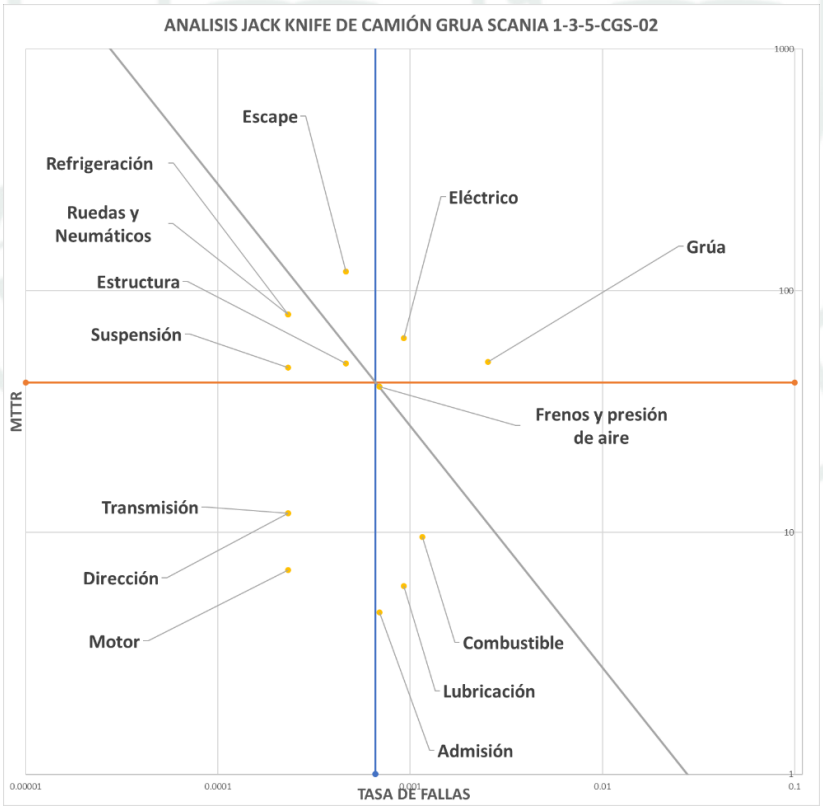
1er.Base de Datos del Diagrama Jack knife – 1-3-5-CGS-02

CAMIÓN GRUA SCANIA 1-3-5-CGS-02					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Estructura	1192	2	50	0.000462963	2.31%
Motor	354	1	7	0.000231481	0.16%
Admisión	6670	3	5	0.000694444	0.32%
Combustible	5138	5	10	0.001157407	1.11%
Escape	2842	2	120	0.000462963	5.56%
Lubricación	4984	4	6	0.000925926	0.56%
Refrigeración	3382	1	80	0.000231481	1.85%
Frenos y presión de aire	11509	3	40	0.000694444	2.78%
Suspensión	3875	1	48	0.000231481	1.11%
Dirección	1248	1	12	0.000231481	0.28%
Eléctrico	11190	4	64	0.000925926	5.88%
Transmisión	1234	1	12	0.000231481	0.28%
Ruedas y Neumáticos	154	1	80	0.000231481	1.85%
Grúa	26415	11	51	0.002546296	12.94%

Nota. Elaboración propia.

Figura 62

1er.Diagr. de Jack knife- Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-02



Nota. Elaboración propia.

Tabla 30

1er.Historial de fallas – Montacargas 1-3-5-MOK-01

MONTACARGAS 1-3-5-MOK-01				
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):				**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Frenos	170	Cambio de líquido de freno	24
2	Lubricación	172	Cambio de aceite	8
3	Lubricación	174	Cambio del filtro de aceite	8
4	Admisión	176	Cambio del filtro de aire	8
5	Combustible	178	Cambio del filtro de combustible	8
6	Frenos	180	Bajo nivel de fluido de freno	8
7	Lubricación	323	Mantenimiento de sensores de motor	120
8	Carga	325	Engrase de árbol de elevación	5
9	Lubricación	327	Cambio de aceite	48
10	Lubricación	329	Cambio del filtro de aceite	48
11	Admisión	331	Cambio del filtro de aire	48
12	Combustible	333	Cambio del filtro de combustible	48
13	Carga	335	Limpieza de mástil	8
14	Carga	337	Engrase de mástil	8
15	Eléctrico	339	Inspección de componentes eléctricos	24
16	Carga	500	Rotura de polea de elevación	720
17	Estructura	700	Pulverizado de montacargas	240
18	Frenos	940	Cambio De aceite de freno	48
19	Transmisión	1060	Cambio de aceite de transmisión	48
20	Motor	1132	Limpieza de motor	4
21	Arranque	1612	Inspección del arrancador	28
22	Eléctrico	1732	Focos de freno quemados	48
23	Neumáticos	2212	Parchado de neumáticos	48
24	Refrigeración	2284	Aumento del líquido de refrigeración	1
25	Frenos	2534	Ajuste del pedal de freno	8
26	Frenos	2538	Ajuste del freno de mano	8
27	Hidráulico	2608	Aumento del aceite hidráulico	72
28	Estructura	2728	Protección de cabina dañada	96
29	Frenos	3208	Aumento del líquido de freno	72
30	Refrigeración	3211	Ajuste de la correa de ventilación	4
31	Combustible	3331	Drenaje del separador de agua	2
32	Admisión	3333	Limpieza del filtro de aire	4
33	Escape	3683	Reparación del tubo de escape	96
34	Refrigeración	3733	Limpieza del radiador	3
35	Dirección	3738	Falta de aceite hidráulico, timón duro	72
36	Admisión	3750	Pre limpiador roto	120
37	Refrigeración	3770	Tanque de depósito de refrigerante roto	80
38	Refrigeración	4020	Radiador roto	180
39	Neumáticos	4100	Cambio de neumáticos	380
40	Admisión	4220	Pre filtro de aire dañado / obstruido	120

Nota. Elaboración propia.

Tabla 31

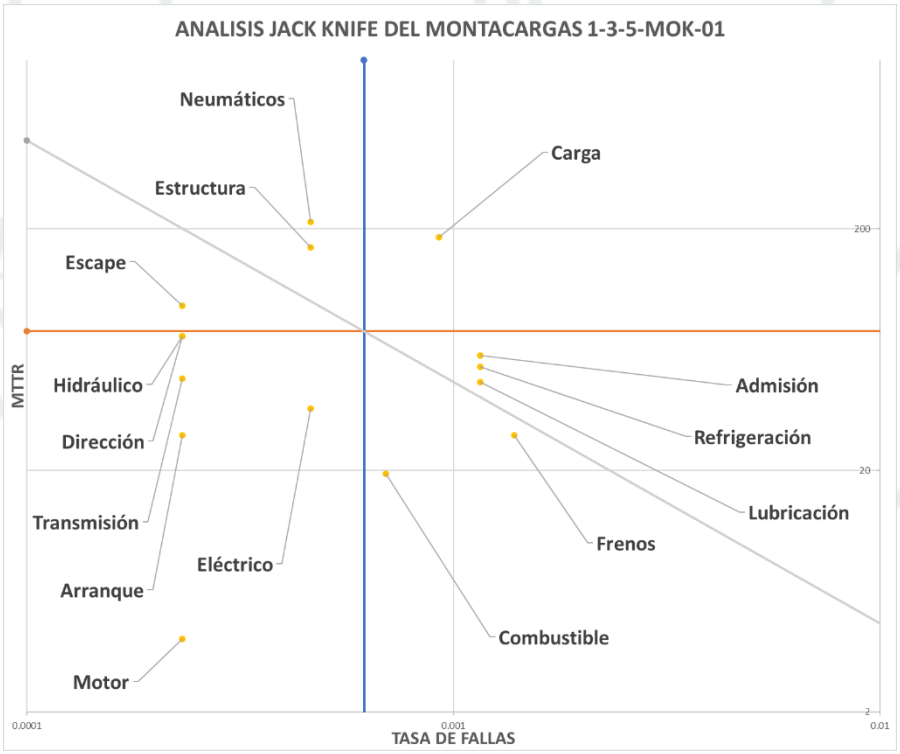
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Montacargas 1-3-5-MOK-01

MONTACARGAS 1-3-5-MOK-01					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Estructura	3428	2	168	0.000462963	7.78%
Motor	1132	1	4	0.000231481	0.09%
Lubricación	1325	5	46	0.001157407	5.37%
Combustible	3842	3	19	0.000694444	1.34%
Refrigeración	17018	5	54	0.001157407	6.20%
Admisión	11810	5	60	0.001157407	6.94%
Escape	3683	1	96	0.000231481	2.22%
Transmisión	1060	1	48	0.000231481	1.11%
Arranque	1612	1	28	0.000231481	0.65%
Eléctrico	2071	2	36	0.000462963	1.67%
Neumáticos	6312	2	214	0.000462963	9.91%
Dirección	3738	1	72	0.000231481	1.67%
Frenos	9570	6	28	0.001388889	3.89%
Hidráulico	2608	1	72	0.000231481	1.67%
Carga	1497	4	185	0.000925926	17.15%

Nota. Elaboración propia.

Figura 63

Diagrama de Jack knife- Montacargas 1-3-5-MOK-01



Nota. Elaboración propia.

Tabla 32

1er.Historial de fallas – Montacargas 1-3-5-MOE-01

MONTACARGAS 1-3-5-MOE-01				
	HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):			**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Combustible	250	Cambio separador de agua	96
2	Aire A/C	250	Cambio filtro aire acondicionado	96
3	Aire A/C	250	Cambio filtro de aire cabina	96
4	Lubricación	250	Cambio de filtro de aceite motor	96
5	Lubricación	250	Cambio aceite motor	96
6	Admisión	250	Cambio de filtro de aire primario y secundario	96
7	Carga	330	Inspección de componentes de mástil	8
8	Carga	338	Engrase de árbol de elevación	5
9	Combustible	560	Cambio separador de agua	48
10	Aire A/C	560	Cambio filtro aire acondicionado	48
11	Aire A/C	560	Cambio filtro de aire cabina	48
12	Lubricación	560	Cambio de filtro de aceite motor	48
13	Lubricación	560	Cambio aceite motor	48
14	Admisión	560	Cambio de filtro de aire primario y secundario	48
15	Combustible	560	Cambio de filtro de combustible	48
16	Transmisión	710	Cambio de aceite diferencial	48
17	Transmisión	710	Cambio de filtro de transmisión	48
18	Transmisión	710	Cambio de filtro de trasmisión	48
19	Frenos	710	Cambio de aceite de freno	48
20	Refrigeración	710	Aumento de líquido refrigerante	48
21	Carga	960	Limpieza de mástil	8
22	Carga	964	Engrase de mástil	8
23	Eléctrico	1094	Inspección de componentes eléctricos	24
24	Estructura	1344	Pulverizado de montacargas	240
25	Frenos	1594	Cambio De aceite de freno	48
26	Motor	1666	Limpieza de motor	4
27	Dirección	1766	Fuga en sistema hidráulico	48
28	Arranque	1846	Inspección del arrancador	28
29	Eléctrico	1850	Focos de freno quemados	48
30	Neumáticos	2040	Parchado de neumáticos	48
31	Refrigeración	2044	Aumento del líquido de refrigeración	1
32	Frenos	2164	Ajuste del pedal de freno	8
33	Hidráulico	2414	Aumento del aceite hidráulico	72
34	Frenos	2514	Aumento del líquido de freno	72
35	Admisión	2764	Limpieza del filtro de aire	4
36	Escape	3264	Reparación del tubo de escape	96
37	Transmisión	3514	Inspección de transmisión	3
38	Frenos	3634	Desgaste de pastillas de freno	140
39	Eléctrico	3834	Batería descargada	48
40	Eléctrico	3838	Cámara de retroceso inoperativa	48
41	Eléctrico	3842	Alternador defectuoso	120
42	Combustible	4092	Filtro de combustible obstruido	72
43	Combustible	4100	No arranca – falla en suministro de combustible	72

Nota. Elaboración propia.

Tabla 33

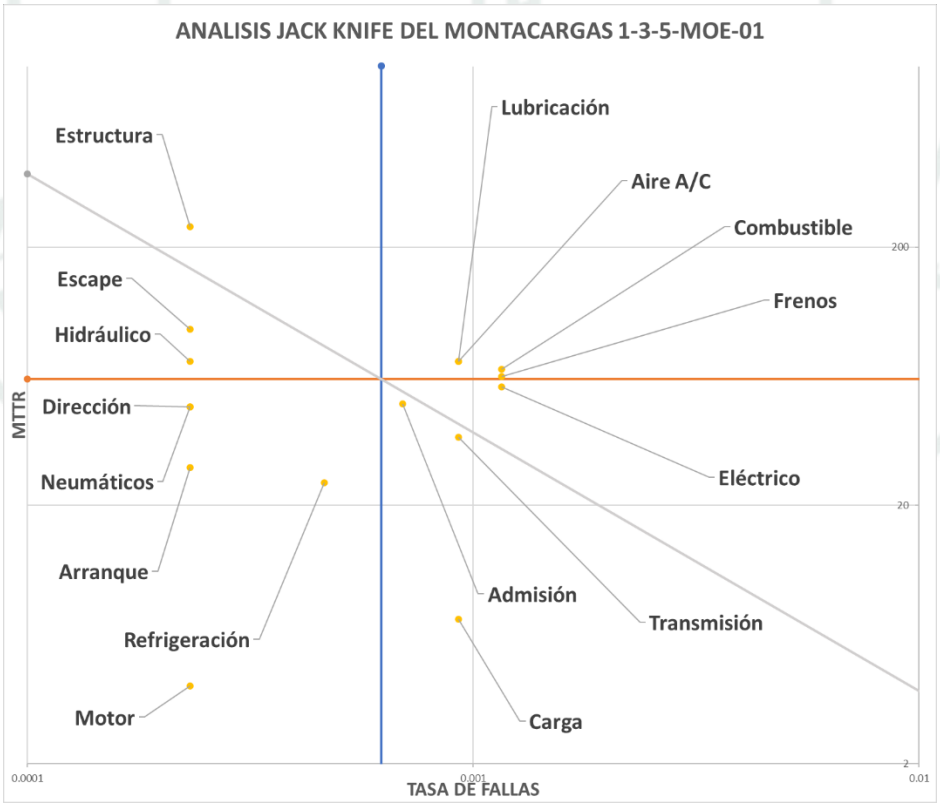
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Montacargas 1-3-5-MOE-01

MONTACARGAS 1-3-5-MOE-01					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Estructura	1344	1	240	0.000231481	5.56%
Motor	1666	1	4	0.000231481	0.09%
Lubricación	1620	4	72	0.000925926	6.67%
Combustible	9562	5	67	0.001157407	7.78%
Refrigeración	2754	2	25	0.000462963	1.13%
Admisión	3574	3	49	0.000694444	3.43%
Escape	3264	1	96	0.000231481	2.22%
Transmisión	5644	4	37	0.000925926	3.40%
Arranque	1846	1	28	0.000231481	0.65%
Eléctrico	14458	5	58	0.001157407	6.67%
Neumáticos	2040	1	48	0.000231481	1.11%
Dirección	1766	1	48	0.000231481	1.11%
Frenos	10616	5	63	0.001157407	7.31%
Hidráulico	2414	1	72	0.000231481	1.67%
Carga	2592	4	7	0.000925926	0.67%
Aire A/C	1620	4	72	0.000925926	6.67%

Nota. Elaboración propia.

Figura 64

Diagrama de Jack knife- Montacargas 1-3-5-MOE-01



Nota. Elaboración propia.

Tabla 34

1er.Historial de fallas – Montacargas 1-3-5-MOE-02

MONTACARGAS 1-3-5-MOE-02				
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):				**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Combustible	750	Cambio separador de agua	120
2	Aire A/C	754	Cambio filtro aire acondicionado	120
3	Aire A/C	758	Cambio filtro de aire cabina	120
4	Lubricación	762	Cambio de filtro de aceite motor	120
5	Lubricación	766	Cambio aceite motor	120
6	Admisión	770	Cambio de filtro de aire primario y secundario	120
7	Combustible	774	Cambio de filtro de combustible	120
8	Transmisión	778	Cambio de aceite diferencial	120
9	Transmisión	782	Cambio de filtro de transmisión	120
10	Transmisión	786	Cambio de filtro de trasmisión	120
11	Carga	1066	Inspección de componentes de mástil	24
12	Carga	1069	Engrase de árbol de elevación	8
13	Refrigeración	1073	Aumento de líquido refrigerante	8
14	Carga	1223	Limpieza de mástil	6
15	Carga	1225	Engrase de mástil	12
16	Eléctrico	1227	Inspección de componentes eléctricos	24
17	Estructura	1377	Pulverizado de montacargas	240
18	Combustible	1667	Cambio separador de agua	96
19	Aire A/C	1670	Cambio filtro aire acondicionado	96
20	Aire A/C	1673	Cambio filtro de aire cabina	96
21	Lubricación	1676	Cambio de filtro de aceite motor	96
22	Lubricación	1679	Cambio aceite motor	96
23	Admisión	1682	Cambio de filtro de aire primario y secundario	96
24	Combustible	1932	Filtro de combustible obstruido	80
25	Combustible	2112	No arranca – falla en suministro de combustible	80
26	Aire A/C	2292	Cambio filtro aire acondicionado	48
27	Aire A/C	2296	Cambio filtro de aire cabina	48
28	Frenos	2536	Cambio De aceite de freno	48
29	Motor	2656	Limpieza de motor	4
30	Dirección	2886	Fuga en sistema hidráulico	48
31	Arranque	3066	Inspección del arrancador	28
32	Eléctrico	3070	Focos de freno quemados	48
33	Eléctrico	3280	Falla en interruptor de encendido (chapa)	120
34	Frenos	3285	Desgaste de pastillas de freno	140
35	Eléctrico	3475	Batería descargada	48
36	Eléctrico	3479	Cámara de retroceso inoperativa	120
37	Eléctrico	3483	Alternador defectuoso	120
38	Combustible	3733	Filtro de combustible obstruido	72
39	Combustible	3741	No arranca – falla en suministro de combustible	72
40	Neumáticos	3791	Parchado de neumáticos	48
41	Refrigeración	3891	Aumento del líquido de refrigeración	2
42	Frenos	4011	Ajuste del pedal de freno	4
43	Hidráulico	4201	Aumento del aceite hidráulico	72
44	Frenos	4237	Aumento del líquido de freno	72
45	Admisión	4247	Limpieza del filtro de aire	24
46	Escape	4271	Reparación del tubo de escape	96

Nota. Elaboración propia.

Tabla 35

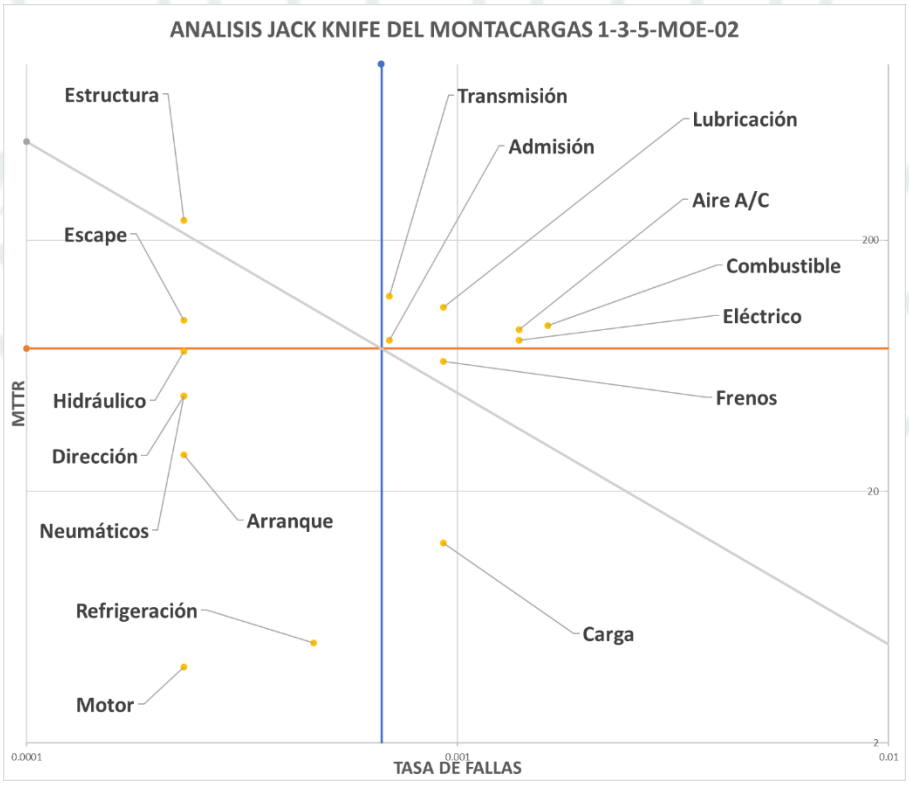
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Montacargas 1-3-5-MOE-02

MONTACARGAS 1-3-5-MOE-02					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Estructura	1377	1	240	0.000231481	5.56%
Motor	2656	1	4	0.000231481	0.09%
Lubricación	4883	4	108	0.000925926	10.00%
Combustible	14709	7	91	0.00162037	14.81%
Refrigeración	4964	2	5	0.000462963	0.23%
Admisión	6699	3	80	0.000694444	5.56%
Escape	4271	1	96	0.000231481	2.22%
Transmisión	2346	3	120	0.000694444	8.33%
Arranque	3066	1	28	0.000231481	0.65%
Eléctrico	18014	6	80	0.001388889	11.11%
Neumáticos	3791	1	48	0.000231481	1.11%
Dirección	2886	1	48	0.000231481	1.11%
Frenos	14069	4	66	0.000925926	6.11%
Hidráulico	4201	1	72	0.000231481	1.67%
Aire A/C	4583	4	13	0.000925926	1.16%

Nota. Elaboración propia.

Figura 65

Diagrama de Jack knife- Montacargas 1-3-5-MOE-02



Nota. Elaboración propia.

Tabla 36

1er.Historial de fallas – Minibús 1-3-5-MIB-01

MINIBUS RENAULT MASTER 1-3-5-MIB-01				
	HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):			**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Eléctrico	80	Alarma de retroceso no funciona	8
2	Suspensión	125	Macpherson delantero dañado	200
3	Eléctrico	345	Focos laterales no encienden	10
4	Lubricación	456	Cambio de aceite	5
5	Lubricación	460	Cambio del filtro de aceite	4
6	Admisión	464	Cambio del filtro de aire	4
7	Combustible	468	Cambio del filtro de combustible	4
8	Admisión	1460	Cambio de porta filtro de aire	200
9	Eléctrico	1460	Sensor de retroceso intermitente	180
10	Carrocería	1460	Cambio de luna de vidrio izquierda	120
11	Neumáticos	1532	Cambio de neumáticos	90
12	Refrigeración	1604	Bajo nivel de líquido refrigerante	10
13	Frenos	1628	Perdida de frenado	48
14	Neumáticos	1652	Alineamiento y balanceo de neumáticos	48
15	Admisión	1892	Limpieza de filtro de aire	6
16	Eléctrico	2017	Pértiga defectuosa	92
17	Motor	2077	Limpieza de motor	15
18	Eléctrico	2197	Micas de faros rotas	125
19	Lubricación	2317	Cambio de aceite	5
20	Lubricación	2319	Cambio del filtro de aceite	4
21	Admisión	2321	Cambio del filtro de aire	4
22	Combustible	2323	Cambio del filtro de combustible	4
23	Frenos	2563	Bajo nivel de líquido de freno	8
24	Lubricación	2568	Bajo nivel de aceite	8
25	Eléctrico	3048	Cambio de batería	60
26	Frenos	3096	Cambio de pastillas de freno	48
27	Frenos	3120	Cambio de platos posteriores de disco de freno	130
28	Frenos	3216	Purga de sistema de frenos	15
29	Transmisión	3336	Rotura de capuchones de polieres	120
30	Transmisión	3338	Engrase de polieres	120
31	Dirección	3463	Cambio de cremallera	220
32	Carrocería	3583	Aplicación de undercoating	30
33	Motor	3607	Inspección del arrancador	12
34	Carrocería	3631	Manija de puerta pasajeros rota	120
35	Dirección	3655	Depósito de servodirección roto	120
36	Admisión	3905	Sensor MAF sucio o defectuoso	120
37	Frenos	4005	Rectificación de discos de frenos	48
38	Carrocería	4255	Corrosión en chasis por ambiente salino	96

Nota. Elaboración propia.

Tabla 37

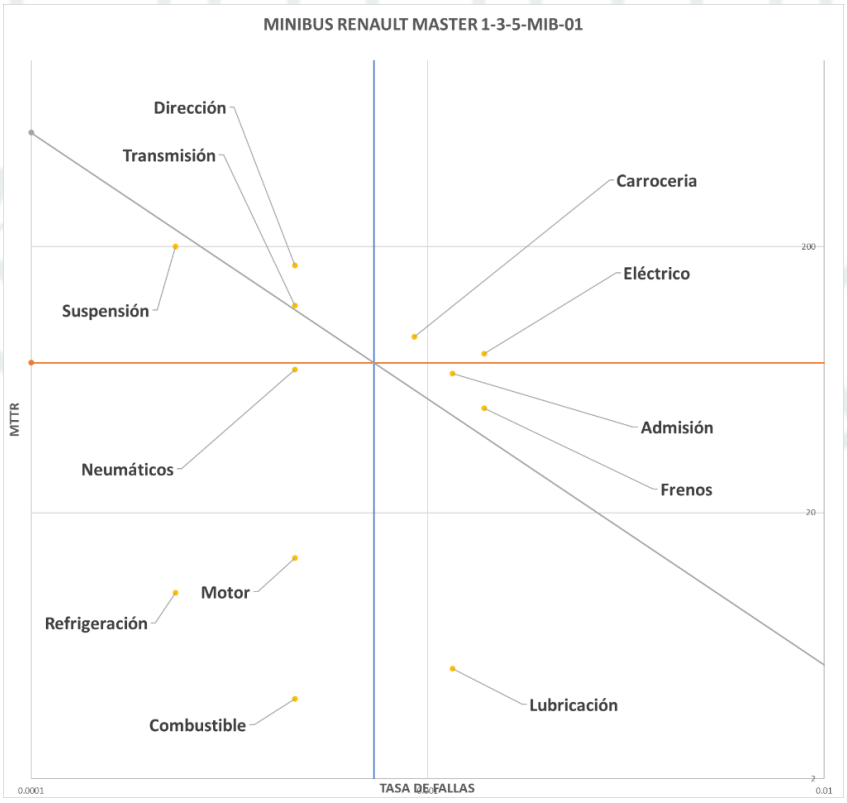
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Minibús 1-3-5-MIB-01

MINIBUS RENAULT MASTER 1-3-5-MIB-01					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Carrocería	12929	4	91.5	0.000925926	8%
Motor	5684	2	13.5	0.000462963	1%
Refrigeración	1604	1	10	0.000231481	0%
Combustible	2791	2	4	0.000462963	0%
Lubricación	8120	5	5.2	0.001157407	1%
Admisión	10042	5	66.8	0.001157407	8%
Dirección	7118	2	170	0.000462963	8%
Transmisión	6674	2	120	0.000462963	6%
Suspensión	125	1	200	0.000231481	5%
Frenos	17628	6	49.5	0.001388889	7%
Neumáticos	3184	2	69	0.000462963	3%
Eléctrico	9147	6	79.166667	0.001388889	11%

Nota. Elaboración propia.

Figura 66

Diagrama de Jack knife- Minibús 1-3-5-MIB-01



Nota. Elaboración propia.

Tabla 38

1er.Historial de fallas – Minibús 1-4-2-MIB-03

MINIBUS RENAULT MASTER 1-4-2-MIB-03				
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):				**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Lubricación	100	Cambio de aceite	120
2	Lubricación	102	Cambio de filtro de aceite	120
3	Admisión	104	Cambio de filtro de aire	120
4	Combustible	106	Cambio de filtro de combustible	120
5	Admisión	220	Filtro de aire saturado por polvo	8
6	Admisión	350	Ingreso de polvo al motor	8
7	Admisión	420	Sensor MAF contaminado	120
8	Refrigeración	600	Radiador obstruido por polvo	48
9	Refrigeración	750	Bajo nivel de refrigerante	48
10	Carrocería	900	Manija de puerta de pasajeros dañada	120
11	Eléctrico	1100	Conectores sulfatados puerta pasajeros	8
12	Frenos	1300	Pastillas de freno cristalizadas	120
13	Motor	1500	Limpieza de motor	48
14	Neumáticos	1700	Cambio de neumáticos	120
15	Neumáticos	1704	Alineamiento y balanceo	120
16	Frenos	1960	Desgaste de pastillas	120
17	Frenos	2000	Fading por sobrecalentamiento	48
18	Frenos	2100	Purga de sistema de frenos	48
19	Suspensión	2300	Desgaste de amortiguadores	120
20	Suspensión	2500	Rotura de bieleta	96
21	Suspensión	2700	Fatiga de resortes	96
22	Transmisión	2900	Desgaste de embrague	72
23	Transmisión	3100	Rotura de capuchones de polieres	48
24	Transmisión	3200	Engrase de polieres	48
25	Dirección	3400	Juego en cremallera	120
26	Dirección	3500	Fuga en sistema hidráulico	10
27	Eléctrico	3600	Fallo de sensores por polvo	110
28	Eléctrico	3700	Cambio de batería	48
29	Eléctrico	3800	Fallo en alternador	4
30	Carrocería	3900	Puerta lateral no cierra correctamente	48
31	Carrocería	4000	Desgaste de bisagras de puerta	48
32	Carrocería	4100	Aplicación de protección anticorrosiva	168
33	Frenos	4310	Servofreno (booster) Dañado	720

Nota. Elaboración propia.

Tabla 39

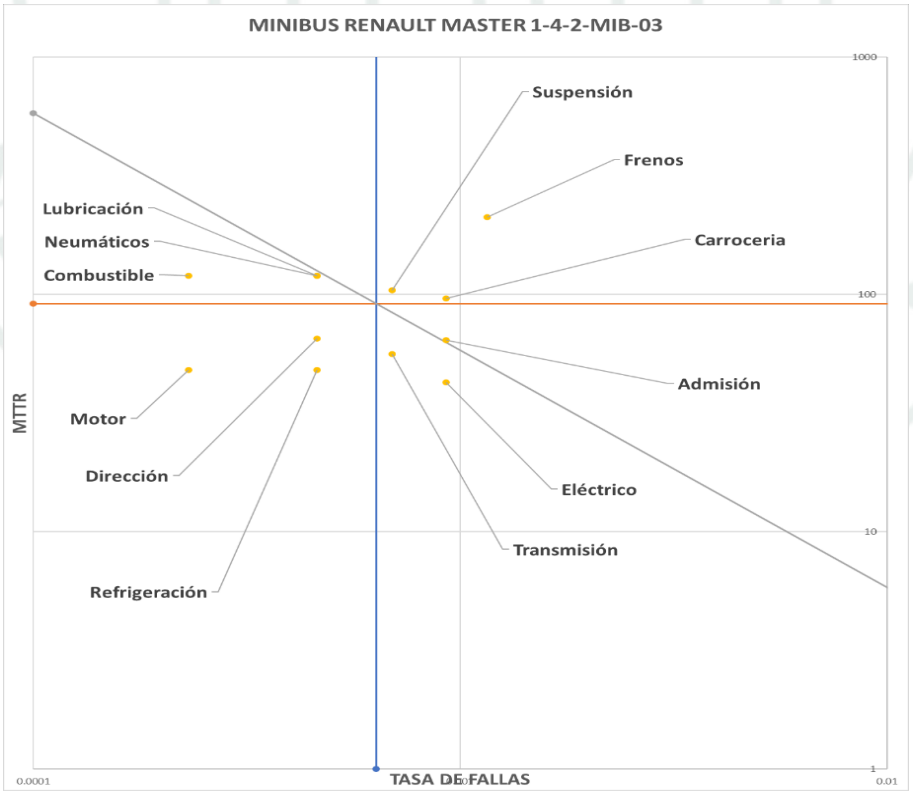
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Minibús 1-4-2-MIB-03

MINIBUS RENAULT MASTER 1-4-2-MIB-03					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Carrocería	12900	4	96	0.000925926	8.89%
Motor	1500	1	48	0.000231481	1.11%
Refrigeración	1350	2	48	0.000462963	2.22%
Combustible	106	1	120	0.000231481	2.78%
Lubricación	202	2	120	0.000462963	5.56%
Admisión	1094	4	64	0.000925926	5.93%
Dirección	6900	2	65	0.000462963	3.01%
Transmisión	9200	3	56	0.000694444	3.89%
Suspensión	7500	3	104	0.000694444	7.22%
Frenos	11670	5	211	0.001157407	24.44%
Neumáticos	3404	2	120	0.000462963	5.56%
Eléctrico	12200	4	43	0.000925926	3.94%

Nota. Elaboración propia.

Figura 67

Diagrama de Jack knife- Montacargas Minibús 1-4-2-MIB-03



Nota. Elaboración propia.

Tabla 40

1er.Historial de fallas – Minibús 1-5-3-MIB-04

MINIBUS RENAULT MASTER 1-5-3-MIB-04				
	HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):			**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Lubricación	118	Cambio de aceite	24
2	Lubricación	121	Cambio de filtro de aceite	24
3	Admisión	127	Cambio de filtro de aire	24
4	Combustible	133	Cambio de filtro de combustible	24
5	Admisión	312	Cambio de filtro de A/C	24
6	Motor	547	Limpieza de motor	24
7	Refrigeración	689	Bajo nivel de refrigerante	36
8	Refrigeración	915	Falla de termostato	80
9	Refrigeración	1098	Radiador parcialmente obstruido	140
10	Frenos	1312	Pastillas de freno Desgastadas	120
11	Frenos	1488	Rectificación de discos	140
12	Lubricación	1490	Cambio de aceite	24
13	Lubricación	1492	Cambio de filtro de aceite	24
14	Admisión	1498	Cambio de filtro de aire	24
15	Combustible	1505	Cambio de filtro de combustible	24
16	Neumáticos	1728	Cambio de neumáticos	250
17	Frenos	1836	Purga de sistema de frenos	36
18	Transmisión	2195	Desgaste de embrague	300
19	Lubricación	2416	Cambio de filtro de aceite	10
20	Frenos	2634	Pastillas de freno cristalizados	120
21	Frenos	2792	Disco de freno roto	120
22	Lubricación	2876	Cambio de filtro de aceite	10
23	Dirección	3010	Timón duro (alta resistencia al giro)	150
24	Dirección	3018	Juego en cremallera	120
25	Dirección	3127	Desgaste de terminales	120
26	Suspensión	3324	Desgaste de amortiguadores	200
27	Frenos	3479	Pastillas de freno cristalizados	240
28	Neumáticos	3612	Desgaste irregular de neumáticos	72
29	Neumáticos	3786	Cambio de neumáticos	120
30	Eléctrico	3921	Fallo de batería	48
31	Eléctrico	3968	Fallo en alternador	96
32	Eléctrico	4013	Fallo sensores ABS	140
33	Frenos	4015	Fading por sobrecalentamiento	72
34	Carrocería	4058	Desajuste de puertas	72
35	Carrocería	4096	Manija de puerta dañada	72
36	Carrocer ía	4167	Desgaste de asientos	36
37	Frenos	4186	Sensor ABS defectuoso	48
38	Dirección	4214	Vibración en volante	96
39	Neumáticos	4272	Corte lateral por piedras	96
40	Carrocería	4310	Fallo en cinturones de seguridad	400

Nota. Elaboración propia.

Tabla 41

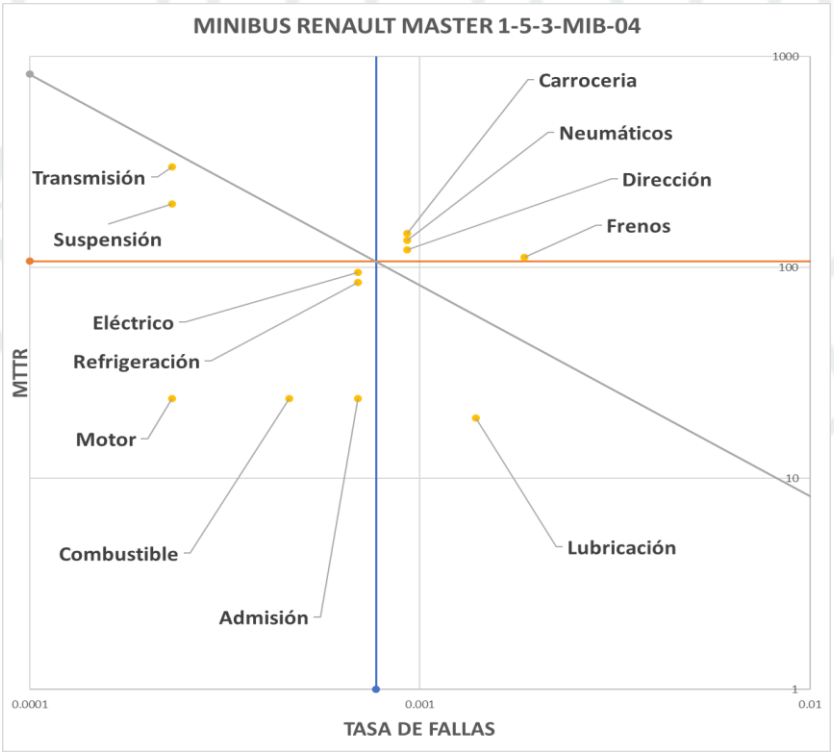
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Minibús 1-5-3-MIB-04

MINIBUS RENAULT MASTER 1-5-3-MIB-04					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Carrocería	16631	4	145	0.000925926	13.43%
Motor	547	1	24	0.000231481	0.56%
Refrigeración	2702	3	85	0.000694444	5.93%
Combustible	1638	2	24	0.000462963	1.11%
Lubricación	8513	6	19	0.001388889	2.69%
Admisión	1937	3	24	0.000694444	1.67%
Dirección	13369	4	122	0.000925926	11.25%
Transmisión	2195	1	300	0.000231481	6.94%
Suspensión	3324	1	200	0.000231481	4.63%
Frenos	21742	8	112	0.001851852	20.74%
Neumáticos	13398	4	135	0.000925926	12.45%
Eléctrico	11902	3	95	0.000694444	6.57%

Nota. Elaboración propia.

Figura 68

Diagrama de Jack knife- Montacargas Minibús 1-5-3-MIB-04



Nota. Elaboración propia.

Tabla 42

1er.Historial de fallas – Combi 1-3-5-COC-01

COMBI CUSTER HYUNDAI COUNTY 1-3-5-COC-01				
	HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):			**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Lubricación	25	Sustitución del aceite lubricante del motor	95
2	Lubricación	120	Reemplazo del elemento filtrante de aceite	95
3	Admisión	130	Sustitución del filtro de admisión de aire	95
4	Combustible	140	Reemplazo del filtro del sistema de combustible	95
5	Eléctrico	210	Fallo en el sistema de iluminación lateral	12
6	Eléctrico	320	Mal funcionamiento de la pértiga luminosa	36
7	Lubricación	450	Aumento de aceite de motor	4
8	Eléctrico	580	Sulfatación en los terminales de la batería	84
9	Frenos	700	Pérdida de presión neumática en el sistema de frenos	180
10	Suspensión	820	Deterioro del sistema de amortiguación	200
11	Suspensión	980	Rotura de resortes en la suspensión trasera	200
12	Carrocería	1100	Aplicación de recubrimiento anticorrosivo	72
13	Neumáticos	1250	Sustitución de neumáticos por desgaste	84
14	Lubricación	1440	Renovación del aceite del motor	95
15	Lubricación	1444	Sustitución del filtro de lubricación	95
16	Admisión	1448	Reemplazo del sistema de filtrado de aire	95
17	Combustible	1452	Sustitución del filtro del circuito de combustible	95
18	Carrocería	1572	Aplicación de protección anticorrosiva	48
19	Frenos	1772	Reemplazo de zapatas del sistema de frenos	120
20	Carrocería	2250	Presencia de corrosión en la estructura del vehículo	400
21	Eléctrico	2650	Corrosión en terminales eléctricos de batería	72
22	Eléctrico	2750	Sustitución de la batería del sistema eléctrico	84
23	Carrocería	2830	Desalineación de la puerta de acceso	72
24	Suspensión	2950	Rotura de resortes en la suspensión delantera	150
25	Carrocería	3100	Restauración del parachoques posterior	150
26	Motor	3180	Daño estructural en el sistema de escape	72
27	Motor	3270	Mantenimiento del sistema de arranque	24
28	Frenos	3380	Regulación del sistema de freno de estacionamiento	12
29	Refrigeración	3480	Intervención correctiva en el sistema de enfriamiento	150
30	Transmisión	3600	Daño en los protectores de juntas homocinéticas	72
31	Transmisión	3750	Lubricación de los ejes de transmisión	72
32	Dirección	3890	Disminución del fluido en el sistema de dirección	16
33	Dirección	4010	Falla en el sistema hidráulico de dirección	150
34	Frenos	4090	Cristalización de zapatas de freno	120
35	Refrigeración	4170	Presencia de fisuras en el radiador	150
36	Carrocería	4250	Corrosión en mecanismos de apertura de puertas	12
37	Carrocería	4262	Deterioro estructural del chasis por oxidación	150
38	Refrigeración	4272	Bajo nivel de refrigerante	24
39	Refrigeración	4280	Fuga en mangueras	90
40	Admisión	4310	Filtro de aire obstruido	48

Nota. Elaboración propia.

Tabla 43

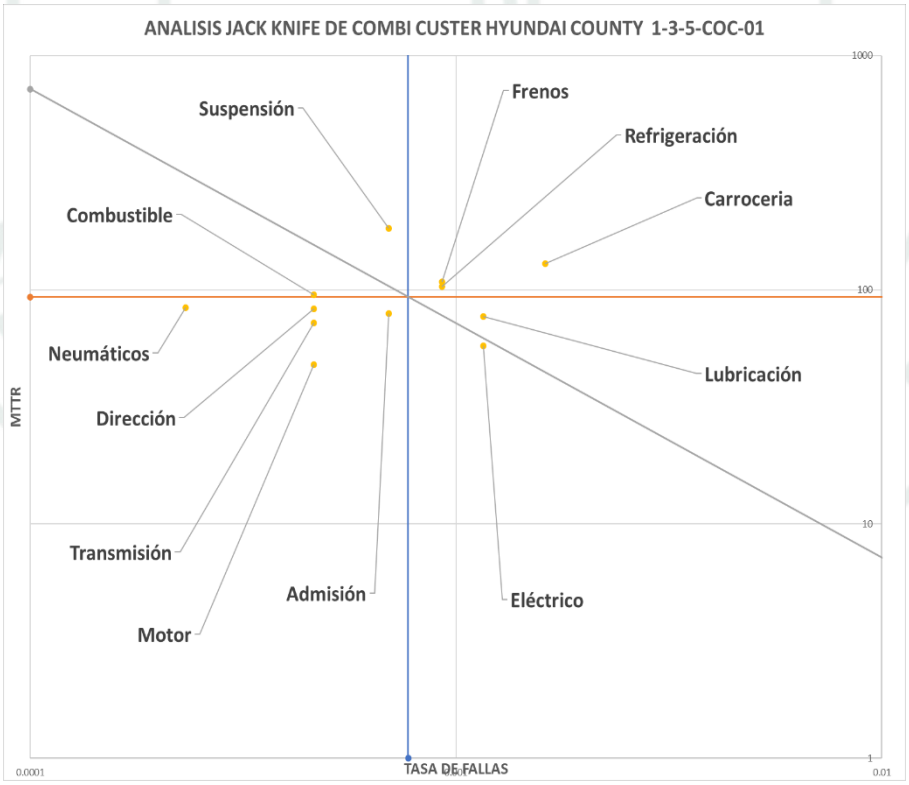
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Combi 1-3-5-COC-01

COMBI CUSTER HYUNDAI COUNTY 1-3-5-COC-01					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Carrocería	19364	7	129	0.00162037	20.93%
Motor	6450	2	48	0.000462963	2.22%
Refrigeración	16202	4	104	0.000925926	9.58%
Combustible	1592	2	95	0.000462963	4.40%
Lubricación	3479	5	77	0.001157407	8.89%
Admisión	5888	3	79	0.000694444	5.51%
Dirección	7900	2	83	0.000462963	3.84%
Transmisión	7350	2	72	0.000462963	3.33%
Suspensión	4750	3	183	0.000694444	12.73%
Frenos	9942	4	108	0.000925926	10.00%
Neumáticos	1250	1	84	0.000231481	1.94%
Eléctrico	6510	5	58	0.001157407	6.67%

Nota. Elaboración propia.

Figura 69

Diagrama de Jack knife- Combi 1-3-5-COC-01



Nota. Elaboración propia.

Tabla 44

1er.Historial de fallas – Camioneta 1-3-5-CAF-01

CAMIONETA 1-1-5-CAF-01				
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):				**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Lubricación	95	Cambio de aceite	50
2	Lubricación	99	Cambio del filtro de aceite	50
3	Admisión	103	Cambio del filtro de aire	50
4	Combustible	107	Cambio del filtro de combustible	50
5	Neumáticos	207	Rotación de neumáticos	48
6	Frenos	255	Inspección del sistema de freno	48
7	Frenos	275	Pastillas de freno desgastadas	140
8	Refrigeración	365	Bajo nivel de líquido refrigerante	24
9	Frenos	485	Bajo nivel de líquido de freno	8
10	Admisión	605	Limpieza de filtro de aire	12
11	Neumáticos	653	Parchado de neumático delantero derecho	12
12	Neumáticos	773	Cambio de neumáticos	140
13	Dirección	777	Alineamiento y balanceo	8
14	Estructura	825	Aplicación de undercoating	72
15	Suspensión	855	Inspección de suspensión	24
16	Frenos	935	Ajuste del freno de mano	36
17	Lubricación	1735	Cambio de aceite	50
18	Lubricación	1740	Cambio del filtro de aceite	50
19	Admisión	1745	Cambio del filtro de aire	50
20	Combustible	1750	Cambio del filtro de combustible	50
21	Transmisión	1930	Inspección caja de transferencia 4 x 4	48
22	Transmisión	2050	Inspección de palieres	24
23	Suspensión	2066	Inspección de suspensiones	12
24	Motor	2186	Pulverizado de motor	16
25	Motor	2210	Inspección del arrancador	24
26	Dirección	2510	Cambio de bieletas	280
27	Eléctrico	2590	Faro trasero derecho roto	170
28	Eléctrico	2710	Reparación de pértiga	24
29	Eléctrico	2718	Cambio de porta relay	8
30	Eléctrico	2742	Instalación de Circulina	16
31	Admisión	2922	Filtro de aire saturado por polvo	24
32	Refrigeración	3022	Obstrucción de radiador	120
33	Combustible	3222	Filtro de combustible saturado prematuramente	24
34	Suspensión	3372	Bieleta derecha doblada	120
35	Dirección	3452	Desalineamiento por terreno irregular	48
36	Frenos	3542	Cristalización de pastillas	80
37	Frenos	3546	Rectificación de discos	80
38	Neumáticos	3746	Cortes por roca en neumáticos	120
39	Eléctrico	3866	Fallo en sensores (ABS / MAF) por polvo	48
40	Estructura	3946	Corrosión en chasis	72
41	Eléctrico	4146	Falla de luces por vibración	8
42	Suspensión	4226	Rotura de hoja de ballesta	120

Nota. Elaboración propia.

Tabla 45

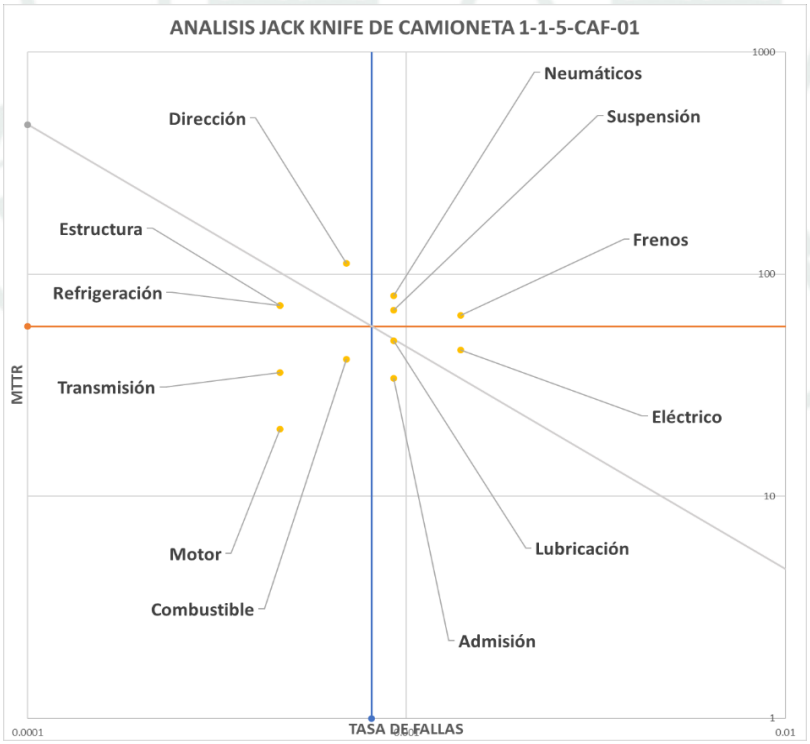
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Camioneta 1-3-5-CAF-01

CAMIONETA 1-1-5-CAF-01					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Estructura	4771	2	72	0.000462963	3.33%
Motor	4396	2	20	0.000462963	0.93%
Refrigeración	3387	2	72	0.000462963	3.33%
Combustible	5079	3	41	0.000694444	2.87%
Lubricación	3669	4	50	0.000925926	4.63%
Admisión	5375	4	34	0.000925926	3.15%
Dirección	6739	3	112	0.000694444	7.78%
Transmisión	3980	2	36	0.000462963	1.67%
Suspensión	10519	4	69	0.000925926	6.39%
Frenos	9038	6	65	0.001388889	9.07%
Neumáticos	5379	4	80	0.000925926	7.41%
Eléctrico	18772	6	46	0.001388889	6.34%

Nota. Elaboración propia.

Figura 70

Diagrama de Jack knife- Camioneta 1-3-5-CAF-01



Nota. Elaboración propia.

Tabla 46

1er.Historial de fallas – Camioneta 1-3-5-CAF-02

CAMIONETA 1-1-5-CAF-02				
	HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):			**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Lubricación	110	Cambio de aceite	48
2	Lubricación	125	Cambio filtro de aceite	48
3	Admisión	140	Cambio filtro de aire	48
4	Combustible	155	Cambio filtro combustible	48
5	Admisión	320	Filtro de aire saturado por polvo	24
6	Neumáticos	410	Rotación de neumáticos	16
7	Frenos	560	Inspección de frenos	120
8	Frenos	590	Pastillas desgastadas	120
9	Refrigeración	780	Bajo nivel de refrigerante	16
10	Eléctrico	900	Descarga de batería	12
11	Admisión	1050	Limpieza filtro aire	8
12	Combustible	1200	Filtro combustible obstruido	24
13	Suspensión	1350	Bujes desgastados	72
14	Suspensión	1420	Bieleta doblada (impacto)	120
15	Dirección	1500	Desalineamiento	72
16	Lubricación	1572	Cambio de aceite	48
17	Lubricación	1576	Cambio filtro de aceite	48
18	Admisión	1580	Cambio filtro de aire	48
19	Combustible	1584	Cambio filtro combustible	48
20	Neumáticos	1634	Parchado neumático	10
21	Transmisión	1664	Fuga en diferencial	36
22	Frenos	1754	Cristalización de pastillas	48
23	Motor	1834	Pérdida de potencia	36
24	Refrigeración	1906	Radiador obstruido	36
25	Neumáticos	1966	Corte por roca	48
26	Suspensión	2014	Falla rodamiento rueda izquierda	96
27	Suspensión	2114	Amortiguadores desgastados	72
28	Dirección	2186	Juego en terminales	120
29	Transmisión	2306	Patinamiento del embrague	120
30	Frenos	2346	Bajo nivel líquido frenos	18
31	Eléctrico	2376	Fallo luces delanteras	12
32	Eléctrico	2466	Fallo sensores ABS	24
33	Suspensión	2566	Fatiga de muelles por sobrecarga	72
34	Estructura	2638	puerta de tolva abollada	120
35	Motor	2758	Fuga de aceite	36
36	Combustible	2838	Contaminación de diésel	72
37	Suspensión	2958	Ruido en suspensión	8
38	Dirección	3038	Vibración en volante	24
39	Neumáticos	3062	Desgaste irregular	24
40	Eléctrico	3157	Sulfatación batería	12
41	Refrigeración	3205	Manguera de radiador roto	48
42	Eléctrico	3277	faro posterior derecho roto	120
43	Frenos	3317	Discos alabeados	60
44	Suspensión	3437	Rotura hoja de ballesta	96
45	Estructura	3637	Corrosión en chasis	60
46	Eléctrico	3645	Pértiga no enciende	8
47	Motor	3693	Cambio de faja de distribución y accesorios	120
48	Admisión	3813	Sensor MAF sucio	12
49	Eléctrico	3825	Falla de batería	120
50	Lubricación	3925	Cambio de aceite (último mantenimiento)	48
51	Motor	4075	check engine	8
52	Frenos	4083	Cristalización de pastillas	120
53	Admisión	4283	Intercooler dañado	255

Nota. Elaboración propia.

Tabla 47

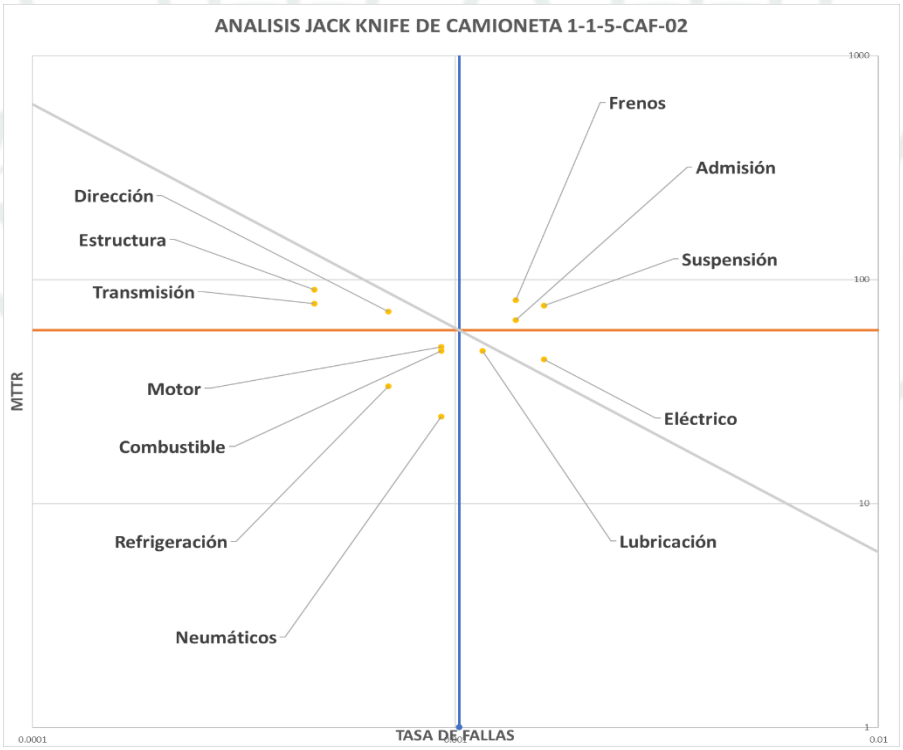
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Camioneta 1-3-5-CAF-02

CAMIONETA 1-1-5-CAF-02					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Estructura	6275	2	90	0.000462963	4.17%
Motor	12360	4	50	0.000925926	4.63%
Refrigeración	5891	3	33	0.000694444	2.31%
Combustible	5777	4	48	0.000925926	4.44%
Lubricación	7308	5	48	0.001157407	5.56%
Admisión	11186	6	66	0.001388889	9.14%
Dirección	6724	3	72	0.000694444	5.00%
Transmisión	3970	2	78	0.000462963	3.61%
Suspensión	15859	7	77	0.00162037	12.41%
Frenos	12650	6	81	0.001388889	11.25%
Neumáticos	7072	4	25	0.000925926	2.27%
Eléctrico	19646	7	44	0.00162037	7.13%

Nota. Elaboración propia.

Figura 71

Diagrama de Jack knife- Camioneta 1-3-5-CAF-02



Nota. Elaboración propia.

Tabla 48

1er.Historial de fallas – Retroexcavadora 1-3-5-RET-01

RETROEXCAVADORA 1-3-5-RET-01				
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):				**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Lubricación	250	Cambio aceite	24
2	Lubricación	254	Cambio filtro de aceite	24
3	Combustible	258	Cambio filtro de combustible	24
4	Combustible	262	Cambio de filtro separador de agua	24
5	Admisión	266	Limpieza filtro primario	24
6	Admisión	270	Cambio filtro secundario	24
7	Motor	370	Radiador obstruido	80
8	Admisión	450	Filtro saturado	8
9	Eléctrico	500	Descarga de batería	48
10	Rodaje (neumáticos)	530	Parchado de neumático	48
11	Dirección	610	Juego en dirección	72
12	Frenos	640	Ajuste freno de mano	80
13	Estructural	840	Holgura en pasadores	48
14	Lubricación	1250	Cambio aceite	24
15	Lubricación	1254	Cambio filtro de aceite	24
16	Combustible	1258	Cambio filtro de combustible	24
17	Combustible	1262	Cambio de filtro separador de agua	24
18	Admisión	1266	Limpieza filtro primario	24
19	Hidráulico	1270	Cambio de filtro hidráulico	24
20	Hidráulico	1386	Fuga de aceite en cilindro	120
21	Hidráulico	1390	No retiene posición	190
22	Transmisión	1450	Fuga en diferencial	24
23	Hidráulico	1474	Fuga en manguera hidráulica	48
24	Motor	1498	Dificultad de arranque	24
25	Hidráulico	1550	Baja presión hidráulica	48
26	Motor	1650	Pérdida de potencia	36
27	Lubricación	2000	Cambio aceite	24
28	Lubricación	2004	Cambio filtro de aceite	24
29	Combustible	2008	Cambio filtro de combustible	24
30	Combustible	2012	Cambio de filtro separador de agua	24
31	Admisión	2016	Limpieza filtro primario	24
32	Hidráulico	2020	Cambio de filtro hidráulico	24
33	Motor	2116	Radiador obstruido	48
34	Combustible	2200	Filtro obstruido	48
35	Estructural	2400	Fisura en cucharón	450
36	Hidráulico	2600	Fuga en cilindro	48
37	Hidráulico	2800	Movimiento lento	90
38	Motor	2920	Fuga de aceite	48
39	Admisión	3000	Limpieza de filtros de aire	24
40	Eléctrico	3250	Sulfatación batería	12
41	Refrigeración	3600	Fuga de refrigerante	24
42	Estabilización	3720	Almohadilla rota	120
43	Frenos	3800	Pérdida de frenado	24
44	Estructural	3920	Rotura de diente de cucharon	350
45	Hidráulico	4120	Fuga conexiones	120
46	Motor	4144	Sobrecalentamiento	24
47	Eléctrico	4192	Fallo tablero	48
48	Estructural	4292	Rotura de porta conos	72

Tabla 49

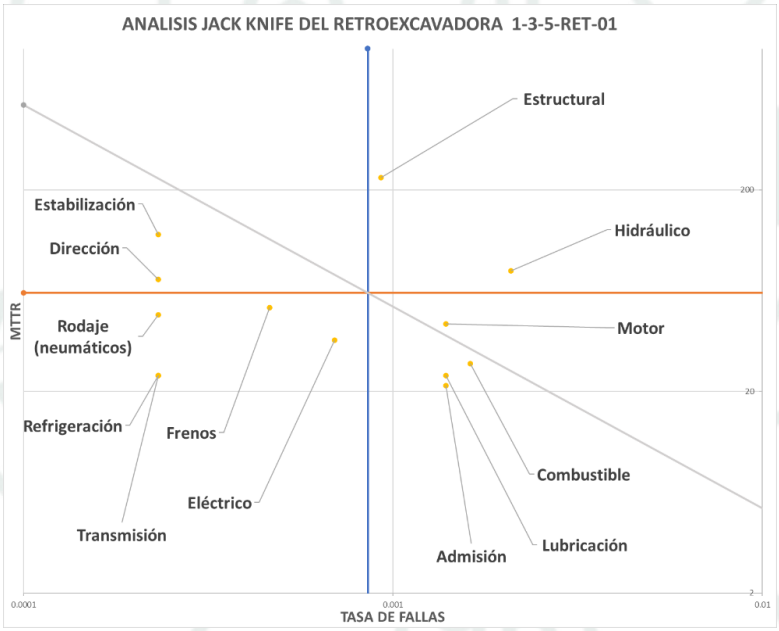
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Retroexcavadora 1-3-5-RET-01

RETROEXCAVADORA 1-3-5-RET-01					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (JULIO - DICIEMBRE DEL 2024):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Hidráulico	18610	9	79	0.002083333	16.48%
Motor	12698	6	43	0.001388889	6.02%
Lubricación	7012	6	24	0.001388889	3.33%
Refrigeración	3600	1	24	0.000231481	0.56%
Combustible	9260	7	27	0.00162037	4.44%
Admisión	7268	6	21	0.001388889	2.96%
Eléctrico	7942	3	36	0.000694444	2.50%
Rodaje (neumáticos)	530	1	48	0.000231481	1.11%
Dirección	610	1	72	0.000231481	1.67%
Frenos	4440	2	52	0.000462963	2.41%
Estructural	11452	4	230	0.000925926	21.30%
Estabilización	3720	1	120	0.000231481	2.78%
Transmisión	1450	1	24	0.000231481	0.56%

Nota. Elaboración propia.

Figura 72

Diagrama de Jack knife- Retroexcavadora 1-3-5-RET-01



Nota. Elaboración propia.

4.4.2. Primer cálculo de los indicadores de mantenimiento

Luego de determinar la criticidad de los equipos y sistemas, se procede al cálculo de los principales indicadores de mantenimiento para evaluar el desempeño operativo de los activos. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 50

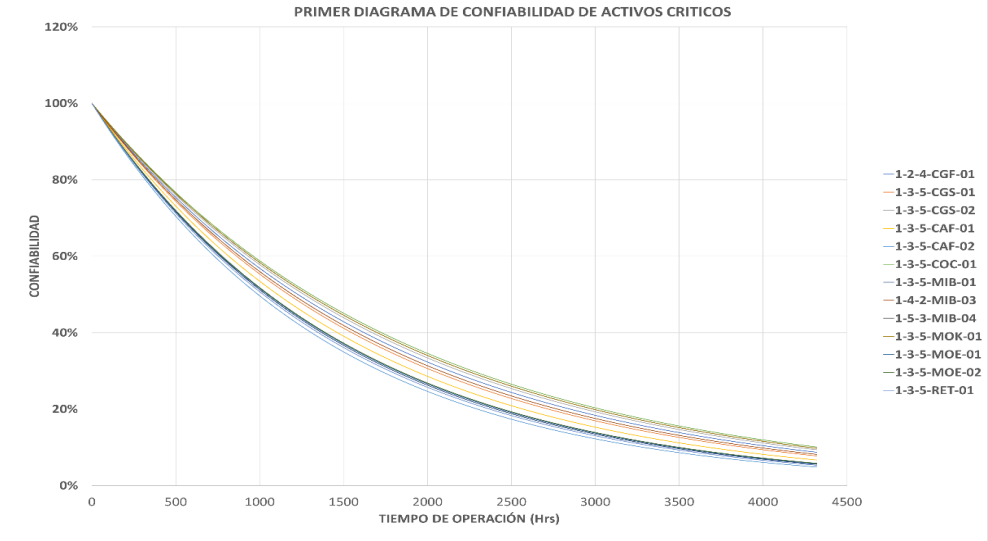
Indicadores de Mantenimiento de los activos críticos en 2024

CODIGO	T.O (Hrs)	MTTR (Hrs)	MTBF (Hrs)	TASA DE FALLA (λ)	TASA DE REPA. (μ)	DISP. (%)	MANT. (%) 8 Hrs	CONF. (%) 720 Hrs
1-2-4-CGF-01	4320	134.07	1771.41	0.0005645	0.0074590	92.96%	5.79%	66.60%
1-3-5-CGS-01	4320	141.37	1690.41	0.0005916	0.0070736	92.28%	5.50%	65.32%
1-3-5-CGS-02	4320	72.50	1823.97	0.0005483	0.0137929	96.18%	10.45%	67.39%
1-3-5-CAF-01	4320	60.05	1597.40	0.0006260	0.0166515	96.38%	12.47%	63.72%
1-3-5-CAF-02	4320	52.78	1428.13	0.0007002	0.0189476	96.44%	14.07%	60.40%
1-3-5-COC-01	4320	81.05	1884.15	0.0005307	0.0123387	95.88%	9.40%	68.24%
1-3-5-MIB-01	4320	74.53	1496.13	0.0006684	0.0134173	95.25%	10.18%	61.80%
1-4-2-MIB-03	4320	166.32	1724.64	0.0005798	0.0060125	91.20%	4.70%	65.87%
1-5-3-MIB-04	4320	93.64	1856.46	0.0005387	0.0106787	95.20%	8.19%	67.85%
1-3-5-MOK-01	4320	167.06	1869.05	0.0005350	0.0059860	91.80%	4.68%	68.03%
1-3-5-MOE-01	4320	53.55	1510.98	0.0006618	0.0186754	96.58%	13.88%	62.09%
1-3-5-MOE-02	4320	62.09	1520.37	0.0006577	0.0161067	96.08%	12.09%	62.28%
1-3-5-RET-01	4320	103.60	1473.07	0.0006789	0.0096526	93.43%	7.43%	61.34%

Nota. Elaboración propia.

Figura 73

Primer Diagrama de Confiabilidad de Activos Críticos



Nota. Elaboración propia.

4.5. Paso 4: Identificar Estados de Falla

Una vez identificados los activos y sistemas críticos en el paso anterior, se procede a la identificación de los estados de falla asociados a cada sistema crítico.

El objetivo de esta etapa es definir las condiciones en las cuales los activos no cumplen con sus funciones requeridas, constituyendo la base para el análisis posterior de los modos de falla.

Tabla 51

Estado de Falla de Camiones Grúa

EQUIPO	FUNCION DEL ACTIVO	SISTEMA		FUNCION DEL SISTEMA	ESTADO DE FALLA	
CAMIÓN GRUA	Izar y trasladar cargas metálicas utilizando grúa hidráulica, con capacidad nominal del equipo, manteniendo estabilidad del vehículo y seguridad operacional durante las maniobras.	**1**	Combustible	**1** Suministrar combustible al motor en la cantidad y condiciones requeridas para asegurar su funcionamiento continuo durante la operación del equipo	**A**	Contaminación del combustible
					B	Restricción en el suministro de combustible
					C	Fallo en bomba de combustible
					D	Fuga de combustible
					E	Presencia de agua en el sistema de combustible
		2	Escape	**2** Evacuar los gases de combustión de manera segura, controlando emisiones y niveles de ruido durante la operación del equipo	**A**	Fuga de gases de escape
					B	Ruido excesivo
		3	Refrigeración	**3** Mantener la temperatura del motor dentro de rangos operativos adecuados para evitar el sobrecalentamiento durante la operación	**A**	Fuga de refrigerante
					B	Fallo en componentes (radiador, mangueras, depósito)
					C	Sobrecalentamiento del motor
		4	Frenos y presión de aire	**4** Reducir la velocidad y detener el equipo de forma segura y controlada bajo condiciones normales de operación	**A**	Pérdida de capacidad de frenado
					B	Fuga de aire en el sistema
					C	Fallo en válvulas o compresor
					D	Desgaste de elementos de fricción
		5	Eléctrico	**5** Proporcionar energía eléctrica suficiente para el arranque del motor y el funcionamiento de los sistemas eléctricos del equipo	**A**	Fallo en sistema de iluminación
					B	Fallo en cableado o conexiones eléctricas
					C	Sulfatación o mala conexión en bornes de batería
					D	Descarga o baja capacidad de la batería
		6	Grúa	**6** Izar, transportar y posicionar cargas de manera segura dentro de su capacidad operativa mediante el sistema hidráulico	**A**	Fuga de aceite hidráulico
					B	Fallo en mangueras hidráulicas
					C	Disminución del rendimiento del sistema de izaje
					D	Fallo en estabilizadores
					E	Movimientos incompletos o deficientes
					F	Falla del radio control

Nota. Elaboración propia.

Tabla 52

Estado de Falla del Montacargas

EQUIPO	FUNCION DEL ACTIVO	SISTEMA		FUNCION DEL SISTEMA	ESTADO DE FALLA	
MONTACARGAS	Elevar, transportar y posicionar cargas mediante horquillas, dentro de la capacidad nominal del montacargas, manteniendo la estabilidad del equipo y seguridad operacional durante las maniobras.	**1** Admisión	**1**	Suministrar aire limpio, libre de contaminantes y en cantidad suficiente al motor para una combustión eficiente en condiciones de operación	**A** Flujo de aire insuficiente al motor **B** Aire de admisión contaminado **C** Pérdida de estanqueidad en admisión **D** Restricción del flujo de aire	
		2 Frenos	**2**	Reducir y detener el movimiento del montacargas de manera segura, controlada y oportuna durante la operación	**A** Pérdida de capacidad de frenado **B** Sistema de frenos sin presión adecuada **C** Freno de estacionamiento inoperativo **D** Respuesta tardía del sistema de frenos **E** Desgaste excesivo de elementos de fricción	
		3 Carga	**3**	Elevar, descender y posicionar cargas de manera estable y segura dentro de la capacidad nominal del equipo	**A** Incapacidad de elevar carga **B** Elevación inestable de carga **C** Movimiento irregular del mástil **D** Atascamiento del sistema de elevación **E** Desgaste de componentes de elevación	
		4 Lubricación	**4**	Lubricar los componentes mecánicos para reducir fricción, desgaste y temperatura durante la operación del equipo	**A** Lubricación insuficiente **B** Lubricante contaminado **C** Pérdida de propiedades del lubricante **D** Incremento de fricción en componentes	
		5 Aire A/C	**5**	Proporcionar condiciones adecuadas de confort térmico y visibilidad al operador durante la operación del equipo	**A** Sistema de climatización inoperativo **B** Baja eficiencia de enfriamiento **C** Falta de ventilación en cabina	
		6 Combustible	**6**	Suministrar combustible limpio, libre de contaminantes y en cantidad adecuada al motor para su correcto funcionamiento	**A** Suministro insuficiente de combustible **B** Combustible contaminado **C** Falla en sistema de inyección **D** Incapacidad de arranque del motor **E** Presencia de agua en el combustible	
		7 Trasmisión	**7**	Transmitir la potencia del motor hacia las ruedas de forma eficiente y controlada para permitir el desplazamiento del equipo	**A** Sobrecalentamiento de transmisión **B** Baja potencia de salida **C** Presión inusual del aceite **D** Fugas de aceite de transmisión	
		8 Eléctrico	**8**	Suministrar y controlar la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de los sistemas del montacargas	**A** Sistema eléctrico sin energía **B** Falla en sistema de carga eléctrica **C** Falla en sistema de arranque **D** Pérdida de visibilidad trasera del equipo **E** Falla en sistema de iluminación	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 53

Estado de Falla de Combis-Renault Master y Hyundai Country

EQUIPO	FUNCION DEL ACTIVO	SISTEMA		FUNCION DEL SISTEMA	ESTADO DE FALLA	
COMBIS Y MINIBUSES	Transportar personal, equipos y/o materiales de manera segura y eficiente dentro y fuera del área de operación minera, cumpliendo la capacidad nominal del vehículo, las condiciones de seguridad vial y garantizando la integridad de los ocupantes durante el traslado.	**1**	Carrocería	**1** Proteger los componentes internos, garantizar la integridad estructural y brindar seguridad a los ocupantes	**A**	Corrosión estructural en chasis o carrocería
					B	Desalineación de puertas o carrocería
					C	Fallas en mecanismos de puertas (bisagras, chapas)
		2	Dirección	**2** Permitir el control direccional del vehículo con estabilidad y precisión	**A**	Dirección dura o rígida
					B	Desviación del vehículo
					C	Holguras en sistema de dirección
					D	Fugas de fluido hidráulico
					E	Ruidos al girar el volante
		3	Suspensión	**3** Absorber irregularidades del terreno y mantener estabilidad del vehículo	**A**	Desgaste de amortiguadores
					B	Holguras en componentes (bujes, bieletas)
					C	Suspensión muy blanda o muy dura
					D	Inestabilidad del vehículo
					E	Ruidos y golpes en suspensión
		4	Frenos	**4** Garantizar la desaceleración y detención segura del vehículo	**A**	Pérdida de capacidad de frenado
					B	Bajo nivel de líquido de frenos
					C	Desgaste de pastillas o zapatas
					D	Fading por sobrecalentamiento
					E	Fallas en freno de estacionamiento
					F	Vibraciones al frenar
					G	Falla en servofreno (booster)
		5	Eléctrico	**5** Suministrar energía eléctrica para el funcionamiento del vehículo	**A**	Falla de arranque (motor no gira)
					B	Batería descargada o defectuosa
					C	Fallas en sistema de iluminación
					D	Fallos intermitentes por conexiones
					E	Sensores defectuosos (MAF, ABS, etc.)
					F	Fallo de alternador
		6	Neumáticos	**6** Garantizar la tracción, estabilidad y contacto con el terreno	**A**	Desgaste irregular de neumáticos
					B	Baja presión o presión incorrecta
					C	Cortes o daños por terreno (piedras, trocha)
					D	Pérdida de tracción
		7	Refrigeración	**7** Mantener la temperatura óptima de operación del motor	**A**	Sobrecalentamiento del motor
					B	Bajo nivel de refrigerante
					C	Radiador obstruido por polvo
					D	Falla de termostato
					E	Obstrucción interna del sistema (incrustaciones/sedimentos)

Nota. Elaboración propia.

Tabla 54

Estado de Falla de Camionetas

EQUIPO	FUNCION DEL ACTIVO	SISTEMA		FUNCION DEL SISTEMA		ESTADO DE FALLA	
CAMIONETA	Transportar personal y materiales ligeros de forma segura dentro y fuera del área de operación.	**1**	Lubricación	**1**	Reducir el desgaste, facilitar el movimiento relativo de las piezas del motor	**A**	Consumo excesivo de aceite
						B	Presencia de impurezas en el aceite
						C	Presencia de humo azulado
						D	Fuga de aceite
						E	Aceite contaminado prematuramente
		2	Admisión	**2**	Administrar aire de buena calidad para la combustión	**A**	Motor pierde potencia
						B	Presencia de humo negro en escape
						C	Consumo elevado de combustible
						D	Flujo de aire insuficiente
						E	Presión de sobrealimentación inadecuada
						F	Fallas en la aceleración
		3	Dirección	**3**	Orientar las ruedas para dirigir el vehículo	**A**	Dirección dura
						B	Dirección inestable
						C	Vehículo se desvía hacia un lado
						D	Ruidos al girar
						E	Vibración en el volante
		4	Suspensión	**4**	Atenuar irregularidades del terreno	**A**	Suspensión muy blanda o dura
						B	Ruidos y golpes a la circular
						C	Inestabilidad del vehículo
						D	Vibraciones en el vehículo
						E	Desgaste irregular de neumáticos
		5	Frenos	**5**	Reducir y detener el vehículo de forma segura	**A**	Deficiencia de frenado
						B	Vibración al frenar
						C	Ruido al frenar
						D	Freno de estacionamiento ineficiente
		6	Neumáticos	**6**	Garantizar tracción, estabilidad y contacto con el terreno	**A**	Vibraciones por neumáticos
						B	Desgaste irregular de neumáticos
						C	Baja presión o presión incorrecta
						D	Cortes o daños por terreno (piedras, trocha)
						E	Pérdida de tracción

Nota. Elaboración propia.

Tabla 55

Estado de Falla de Retroexcavadora

EQUIPO	FUNCION DEL ACTIVO	SISTEMA		FUNCION DEL SISTEMA	ESTADO DE FALLA	
RETROEXCAVADORA	Realizar excavación, carguío y movimiento de material dentro del área de operación.	**1**	Estructura	**1** Soportar cargas estructurales y garantizar la integridad del equipo	**A**	Fisuras en brazo o chasis
					B	Deformación estructural
					C	Fatiga del material
					D	Corrosión en componentes
					E	Soldaduras deterioradas
					F	Aflojamiento de pernos estructurales
		2	Hidráulico	**2** Transmitir y controlar la potencia mediante fluido hidráulico para accionar los implementos del equipo	**A**	Presión hidráulica baja, movimientos lentos
					B	Falla en bomba hidráulica
					C	Contaminación del fluido
					D	Sobrecalentamiento del sistema
					E	Falla en válvulas hidráulicas
		3	Frenos	**3** Garantizar la desaceleración y detención segura del equipo	**A**	Pérdida de capacidad de frenado
					B	Bajo nivel de aceite en el sistema de frenos
					C	Desgaste de discos de freno multidisco
					D	Fugas en sistema de frenos
					E	Falla del freno de estacionamiento
					F	Aire en el sistema hidráulico de frenos
		4	Carga	**4** Permitir el levantamiento y manipulación segura de material	**A**	Desgaste del cucharón
					B	Holguras en pasadores y bujes
					C	Fugas o pérdida de eficiencia en cilindros hidráulicos
					D	Pérdida de fuerza de excavación/carga
					E	Movimiento lento del sistema
					F	Fisuras en pluma o brazo
					G	Falta de estabilidad del equipo
		5	Combustible	**5** Suministrar combustible limpio y continuo al motor	**A**	Filtro de combustible obstruido
					B	Contaminación del combustible
					C	Falla de bomba de combustible
					D	Fugas en líneas de combustible
					E	Bajo rendimiento del motor

Nota. Elaboración propia.

4.6. Paso 5: Identificar los Modos de Falla

En este paso se realizará la identificación de los modos de falla de los activos críticos pertenecientes a la asociación de empresas.

Para cada estado de falla asociado al sistema del activo físico, se describirán los modos de falla considerando su origen, tales como desgaste, deficiencias de diseño y errores humanos. Asimismo, se identificará la causa de la posible falla, la cual puede estar relacionada con un componente, una parte del sistema o una condición que origine su falla.

Tabla 56

Modo de Fallas del Sistema de Combustible-Camión Grúa

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Contaminación del combustible	**1**	Ingreso de partículas sólidas al tanque
		2	Ingreso de agua por condensación
		3	Combustible de mala calidad
		4	Diseño deficiente del sistema de filtrado
B	Restricción en el suministro de combustible	**1**	Filtro de combustible obstruido
		2	Líneas de combustible bloqueadas
		3	Válvula de paso defectuosa
		4	Instalación incorrecta del filtro
C	Fallo en bomba de combustible	**1**	Desgaste interno de la bomba
		2	Falla eléctrica en la bomba
		3	Contaminación interna
D	Fuga de combustible	**1**	Rotura de mangueras
		2	Fisura en tanque
		3	Conexiones flojas
		4	Sellos deteriorados
E	Presencia de agua en el sistema de combustible	**1**	Condensación en tanque
		2	Ingreso de agua en abastecimiento
		3	Separador de agua defectuoso
		4	Falta de drenaje del sistema

Nota. Elaboración propia.

Tabla 57

Modo de Fallas del Sistema de Escape-Camión Grúa

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Fuga de gases de escape	**1**	Rotura del tubo
		2	Fisuras en uniones
		3	Abrazaderas sueltas
B	Ruido excesivo	**1**	Silenciador dañado
		2	Desajuste del sistema
		3	Soportes defectuosos
		4	Diseño deficiente

Nota. Elaboración propia.

Tabla 58

Modo de Fallas del Sistema de Refrigeración-Camión Grúa

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Fuga de refrigerante	**1**	Rotura de mangueras
		2	Fisura en radiador
		3	Depósito dañado
		4	Abrazaderas flojas
B	Fallo en componentes (radiador, mangueras, depósito)	**1**	Termostato defectuoso
		2	Bomba dañada
		3	Sensor defectuoso
		4	Ventilador defectuoso
C	Sobrecalentamiento del motor	**1**	Bajo nivel de refrigerante
		2	Radiador obstruido
		3	Falla de ventilación
		4	Refrigerante inadecuado

Nota. Elaboración propia.

Tabla 59

Modo de Fallas del Sistema de Freno y presión de aire-Camión Grúa

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Pérdida de capacidad de frenado	**1**	Desgaste de zapatas
		2	Tambores defectuosos
		3	Contaminación con aceite
		4	Ajuste incorrecto
B	Fuga de aire en el sistema	**1**	Mangueras deterioradas
		2	Conexiones defectuosas
		3	Válvulas con fugas
		4	Tanque fisurado
C	Fallo en válvulas o compresor	**1**	Compresor dañado
		2	Falta de lubricación
D	Desgaste de elementos de fricción	**1**	Uso prolongado
		2	Material inadecuado
		3	Sobrecarga
		4	Falta de mantenimiento

Nota. Elaboración propia.

Tabla 60

Modo de Fallas del Sistema Eléctrico-Camión Grúa

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Fallo en sistema de iluminación	**1**	Interrupción del suministro
		2	Fusible averiado
		3	Relé defectuoso
		4	Alternador defectuoso
B	Fallo en cableado o conexiones eléctricas	**1**	Cortocircuito
		2	Circuito abierto
		3	Cable deteriorado
		4	Conexión floja
C	Sulfatación o mala conexión en bornes de batería	**1**	Residuos acumulados
		2	Falta de mantenimiento
		3	Conexión deficiente
D	Descarga o baja capacidad de la batería	**1**	Fin de vida útil
		2	Alternador defectuoso
		3	Consumo parasitario
		4	Uso sin recarga

Nota. Elaboración propia.

Tabla 61

Modo de Fallas del Sistema de Grúa-Camión Grúa

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Fuga de aceite hidráulico	**1**	Rotura de mangueras
		2	Sellos deteriorados
		3	Conexiones flojas
		4	Fisuras en cilindros
B	Fallo en mangueras hidráulicas	**1**	Fatiga del material
		2	Sobrepresión
		3	Instalación incorrecta
		4	Material inadecuado
C	Disminución del rendimiento del sistema de izaje	**1**	Desgaste de bomba
		2	Contaminación del aceite
		3	Filtro obstruido
		4	Aire en el sistema
D	Fallo en estabilizadores	**1**	Fuga en cilindros
		2	Mal posicionamiento
		3	Diseño insuficiente
E	Movimientos incompletos o deficientes	**1**	Aire en sistema
		2	Bajo nivel de aceite
		3	Pérdida de señal control remoto
F	Falla del radio control	**1**	Pérdida de señal
		2	Batería descargada
		3	Botones o joystick defectuosos
		4	Fallo en receptor de la grúa
		5	Daño en cableado interno
		6	Desconfiguración del sistema

Nota. Elaboración propia.

Tabla 62

Modo de Fallas del Sistema de Admisión-Montacargas

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Flujo de aire insuficiente al motor	**1**	Filtro de aire saturado por polvo
		2	Intervalo de mantenimiento inadecuado
		3	Instalación incorrecta del filtro
B	Aire de admisión contaminado	**1**	Filtro de aire dañado
		2	Mantenimiento deficiente
		3	Operación en ambiente altamente polvoriento
C	Pérdida de estanqueidad en admisión	**1**	Instalación incorrecta de componentes
		2	Abrazaderas flojas
		3	Diseño deficiente de conexiones
D	Restricción del flujo de aire	**1**	Filtro de aire obstruido
		2	Ductos deformados
		3	Instalación incorrecta del sistema
		4	Acumulación de contaminantes

Nota. Elaboración propia.

Tabla 63

Modo de Fallas del Sistema de Frenos-Montacargas

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Pérdida de capacidad de frenado	**1**	Desgaste de pastillas/zapatas
		2	Contaminación de superficies de fricción
		3	Uso inadecuado del freno
		4	Diseño insuficiente para carga de trabajo
B	Sistema de frenos sin presión adecuada	**1**	Fugas en líneas hidráulicas
		2	Aire en el sistema hidráulico
		3	Mantenimiento inadecuado
C	Freno de estacionamiento inoperativo	**1**	Desgaste del mecanismo
		2	Desajuste del sistema
		3	Ruptura de cables o actuadores
		4	Uso indebido del freno de estacionamiento
		5	Diseño débil del sistema
D	Respuesta tardía del sistema de frenos	**1**	Aire en el circuito hidráulico
		2	Fluido de frenos degradado
		3	Obstrucción en líneas hidráulicas
E	Desgaste excesivo de elementos de fricción	**1**	Uso continuo en condiciones severas
		2	Material de baja calidad
		3	Falta de inspección periódica
		4	Sobrecarga del equipo
		5	Contaminación con polvo/mineral

Nota. Elaboración propia.

Tabla 64

Modo de Fallas del Sistema de Carga-Montacargas

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Incapacidad de elevar carga	**1**	Nivel bajo de aceite hidráulico
		2	Fugas en sistema hidráulico por desgaste de sellos
		3	Sobrecarga del equipo fuera de capacidad nominal
B	Elevación inestable de carga	**1**	Desgaste de cadenas de elevación
		2	Falta de lubricación en mástil
		3	Mala distribución de carga por operación incorrecta
C	Movimiento irregular del mástil	**1**	Acumulación de suciedad en guías
		2	Falta de lubricación en guías
		3	Desgaste de polea del mástil
D	Atascamiento del sistema de elevación	**1**	Acumulación de residuos en guías
		2	Desgaste de poleas
		3	Falta de mantenimiento preventivo
E	Desgaste de componentes de elevación	**1**	Uso continuo en operación severa
		2	Lubricación inadecuada
		3	Contaminación por polvo abrasivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 65

Modo de Fallas del Sistema de Lubricación-Montacargas

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Lubricación insuficiente	**1**	Bajo nivel de aceite
		2	Fugas en sistema de lubricación
		3	Falta de reposición de lubricante
B	Lubricante contaminado	**1**	Ingreso de partículas (polvo/mineral)
		2	Contaminación con agua
		3	Filtro de aceite obstruido o dañado
		4	Manejo inadecuado del lubricante
		5	Diseño deficiente del sistema de filtrado
C	Pérdida de propiedades del lubricante	**1**	Degradación térmica del aceite
		2	Selección incorrecta de lubricante
D	Incremento de fricción en componentes	**1**	Falta de lubricación
		2	Contaminación del lubricante
		3	Frecuencia de mantenimiento inadecuada

Nota. Elaboración propia.

T**abla 66**

Modo de Fallas del Sistema de Airea A/C-Montacargas

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Sistema de climatización inoperativo	**1**	Compresor defectuoso o averiado
		2	Fuga de refrigerante
B	Baja eficiencia de enfriamiento	**1**	Filtro de cabina obstruido
		2	Condensador sucio
		3	Mantenimiento inadecuado
		4	Filtro de baja calidad
C	Falta de ventilación en cabina	**1**	Filtro saturado
		2	Error en operación del sistema

Nota. Elaboración propia.

Tabla 67

Modo de Fallas del Sistema de Combustible-Montacargas

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Suministro insuficiente de combustible	**1**	Filtro de combustible obstruido
		2	Bomba de combustible defectuosa
		3	Nivel bajo de combustible
B	Combustible contaminado	**1**	Ingreso de partículas (polvo/sedimentos)
		2	Abastecimiento de combustible errado
		3	Filtro de combustible dañado
		4	Filtro inadecuado
C	Falla en sistema de inyección	**1**	Inyectores obstruidos
		2	Contaminación del sistema
D	Incapacidad de arranque del motor	**1**	Aire en el sistema de combustible
		2	Obstrucción total del sistema
E	Presencia de agua en el combustible	**1**	Condensación en tanque
		2	Mala calidad de combustible
		3	Falta de drenaje del separador
		4	Filtro separador defectuoso

Nota. Elaboración propia.

Tabla 68

Modo de Fallas del Sistema de Transmisión-Montacargas

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Sobrecalentamiento de transmisión	**1**	Nivel bajo de aceite de transmisión
		2	Falta de mantenimiento
B	Baja potencia de salida	**1**	Placa de embrague pegada o se arrastra
		2	Pistón de embrague dañado
C	Presión inusual del aceite	**1**	Mal funcionamiento de la válvula de control
		2	Uso de aceite inapropiado
		3	Filtro de aceite obstruido
D	Fugas de aceite de transmisión	**1**	Deterioro de sellos
		2	Instalación incorrecta

Nota. Elaboración propia.

Tabla 69

Modo de Fallas del Sistema Eléctrico-Montacargas

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Sistema eléctrico sin energía	**1**	Batería descargada
		2	Terminales sulfatados o flojos
		3	Cableado dañado o cortado
		4	Error en desconexión de batería
		5	Diseño deficiente de baterías
B	Falla en sistema de carga eléctrica	**1**	Alternador defectuoso
		2	Correa del alternador desgastada o rota
		3	Falta de mantenimiento
		4	Diseño inadecuado del sistema de carga
C	Falla en sistema de arranque	**1**	Motor de arranque defectuoso
		2	Solenoide de arranque dañado
		3	Error de operación
		4	Diseño deficiente del circuito de arranque
D	Pérdida de visibilidad trasera del equipo	**1**	Cámara de retroceso defectuosa
		2	Cámara de retroceso sucia
		3	Cableado de cámara dañado
		4	Mal uso o desconexión del sistema
		5	Diseño inadecuado del sistema de monitoreo
E	Falla en sistema de iluminación	**1**	Lámparas quemadas
		2	Fusibles de iluminación dañados
		3	Cableado defectuoso
		4	Operación sin inspección previa

Nota. Elaboración propia.

Tabla 70

Modo de Fallas del Sistema de Carrocería- Combis

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Corrosión estructural en chasis o carrocería	**1**	Acumulación de humedad, barro y polvo en zonas críticas
		2	Falta de aplicación de recubrimiento anticorrosivo
		3	Daño previo en pintura que deja metal expuesto
		4	Lavado inadecuado (no eliminación de sales)
		5	Diseño con zonas de retención de agua
B	Desalineación de puertas o carrocería	**1**	Deformación por tránsito en trocha irregular
		2	Impactos leves (piedras, maniobras)
		3	Bisagras desgastadas
C	Fallas en mecanismos de puertas (bisagras, chapas)	**1**	Ingreso de polvo que genera abrasión
		2	Falta de lubricación
		3	Desalineación de puerta
		4	Rotura de manijas por uso brusco

Nota. Elaboración propia.

Tabla 71

Modo de Fallas del Sistema de Dirección- Combis

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Dirección dura o rígida	**1**	Bajo nivel de fluido hidráulico
		2	Bomba de dirección defectuosa
		3	Uso de fluido incorrecto
		4	Contaminación del fluido (polvo/partículas)
B	Desviación del vehículo	**1**	Alineamiento de la dirección
		2	Presión incorrecta en neumáticos
		3	Desgaste irregular de neumáticos
		4	Holguras en suspensión/dirección
		5	Impactos en trocha (golpes)
C	Holguras en sistema de dirección	**1**	Desgaste de terminales de dirección
		2	Desgaste de cremallera
		3	Desgaste de rótulas
		4	Falta de lubricación
		5	Montaje incorrecto de componentes
D	Fugas de fluido hidráulico	**1**	Mangueras deterioradas o fisuradas
		2	Sellos desgastados
		3	Vibraciones constantes
		4	Instalación incorrecta
E	Ruidos al girar el volante	**1**	Bomba defectuosa
		2	Cremallera defectuosa
		3	Bieleta defectuosa
		4	Mala selección de elemento
		5	Insuficiente cantidad de aceite hidráulico de dirección
		6	Mala operación del vehículo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 72

Modo de Fallas del Sistema de Suspensión- Combis

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Desgaste de amortiguadores	**1**	Operación continua en trocha (vibración constante)
		2	Contaminación por polvo y barro
		3	Sobrecarga del vehículo
		4	Uso prolongado sin reemplazo
		5	Amortiguadores de baja calidad
B	Holguras en componentes (bujes, bieletas)	**1**	Desgaste de bujes por vibración
		2	Falta de lubricación
		3	Ingreso de polvo y agua
		4	Instalación incorrecta
		5	Material inadecuado
C	Suspensión muy blanda o muy dura	**1**	Amortiguadores deteriorados
		2	Resortes fatigados
		3	Selección incorrecta de componentes
		4	Presión incorrecta en neumáticos
D	Inestabilidad del vehículo	**1**	Desgaste general del sistema de suspensión
		2	Sobrecarga o mala distribución de carga
		3	Operación en terreno irregular
E	Ruidos y golpes en suspensión	**1**	Bujes desgastados
		2	Bieletas sueltas o dañadas

Nota. Elaboración propia.

Tabla 73

Modo de Fallas del Sistema de Freno- Combis

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Pérdida de capacidad de frenado	**1**	Desgaste excesivo de pastillas/zapatas
		2	Presencia de aire en el sistema
		3	Fugas en circuito hidráulico
		4	Discos o tambores desgastados
		5	Contaminación del sistema (polvo/aceite)
		6	Sobrecarga del vehículo
		7	Uso continuo en pendientes (mina)
B	Bajo nivel de líquido de frenos	**1**	Fugas en líneas o mangueras
		2	Desgaste de pastillas (mayor consumo de fluido)
		3	Falta de inspección
		4	Evaporación por sobrecalentamiento
		5	Mantenimiento deficiente
C	Desgaste de pastillas o zapatas	**1**	Uso intensivo en rutas mineras
		2	Presencia de polvo abrasivo
		3	Mala calidad del material
		4	Sobrecarga del vehículo
		5	Mala conducción (frenado brusco)
D	Fading por sobrecalentamiento	**1**	Uso continuo de frenos en bajadas
		2	Sobrecarga del vehículo
		5	Conducción agresiva
F	Fallas en freno de estacionamiento	**1**	La ruptura del cable del freno de estacionamiento
		2	Mala regulación del sistema
		3	Mecanismo trabado por suciedad
		4	Uso incorrecto (mal accionamiento)
G	Vibraciones al frenar	**1**	Discos deformados
		2	Desgaste irregular de pastillas
		3	Montaje incorrecto de componentes
H	Falla en servofreno (booster)	**1**	Fuga de vacío en sistema
		2	Daño en diafragma del booster
		3	Instalación incorrecta
		4	Falta de mantenimiento
		5	Defecto de fabricación

Nota. Elaboración propia.

Tabla 74

Modo de Fallas del Sistema de Eléctrico- Combis

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Falla de arranque (motor no gira)	**1**	Motor de arranque defectuoso
		2	Solenoide dañado
		3	Batería sin carga
		4	Conexiones flojas o sulfatadas
		5	Interruptor de encendido defectuoso
B	Batería descargada o defectuosa	**1**	Vida útil agotada
		2	Fallo del alternador (no carga)
		3	Bornes sulfatados
		4	Parasitaje eléctrico (consumos ocultos)
C	Fallas en sistema de iluminación	**1**	Bombillas quemadas
		2	Fusibles dañados
		3	Cableado deteriorado
		4	Interruptores defectuosos
		5	Conectores sulfatados
		6	Instalación incorrecta
D	Fallos intermitentes por conexiones	**1**	Conectores flojos
		2	Sulfatación por humedad
		4	Cableado dañado
		5	Mala instalación eléctrica
		6	Diseño deficiente del sistema

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
E	Sensores defectuosos (MAF, ABS, etc.)	**1**	Contaminación por polvo
		2	Fallo interno del sensor
		3	Daño por humedad
		4	Diseño sensible a condiciones severas
F	Fallo de alternador	**1**	Desgaste de escobillas
		2	Correa floja o rota
		3	Ingreso de polvo al alternador

Nota. Elaboración propia.

Tabla 75

Modo de Fallas de Neumáticos- Combis

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Desgaste irregular de neumáticos	**1**	Desalineación de ruedas
		2	Desbalanceo de neumáticos
		3	Presión incorrecta en neumáticos
		4	Suspensión en mal estado
		5	Rotación de neumáticos inadecuada
		6	Sobrecarga del vehículo
B	Baja presión o presión incorrecta	**1**	Falta de control periódico
		2	Fugas en válvulas
		3	Pinchaduras pequeñas
		4	Error en calibración de presión
		5	Instrumentos de medición defectuosos
C	Cortes o daños por terreno (piedras, trocha)	**1**	Impacto con piedras
		2	Sobrecarga del vehículo
		3	Neumáticos no adecuados para mina
		4	Baja presión (mayor deformación)
D	Pérdida de tracción	**1**	Desgaste de la banda de rodadura
		2	Presión incorrecta
		3	Terreno húmedo/barro
		4	Sobrecarga
		5	Neumáticos no adecuados

Nota. Elaboración propia.

Tabla 76

Modo de Fallas del Sistema de Refrigeración- Combis

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Sobrecalentamiento del motor	**1**	Bajo nivel de refrigerante
		2	Radiador obstruido por polvo
		3	Falla de termostato
		4	Falla de bomba de agua
		5	Fugas en el sistema
		6	Ventilador defectuoso
B	Bajo nivel de refrigerante	**1**	Fugas en mangueras
		2	Fugas en radiador
		3	Fugas en bomba de agua
		4	Evaporación por sobrecalentamiento
		5	Falta de inspección
		6	Mal llenado del sistema
C	Radiador obstruido por polvo	**1**	Acumulación de polvo (mina)
		2	Operación en ambientes polvorientos
		3	Aletas dañadas
		4	Protección inadecuada del radiador
D	Falla de termostato	**1**	Termostato trabado cerrado
		2	Uso de repuestos de baja calidad
		3	Fatiga del componente

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
E	Obstrucción interna del sistema (incrustaciones/sedimentos)	**1**	Uso refrigerante inadecuado
		2	Falta de cambio de refrigerante
		4	Contaminación del sistema

Nota. Elaboración propia.

Tabla 77

Modo de Fallas del Sistema de Lubricación- Camionetas

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Consumo excesivo de aceite	**1**	Desgaste de anillos de pistón
		2	Desgaste de guías de válvula
		3	Fuga en retenes de válvulas
		4	Sobrellenado de aceite
B	Presencia de impurezas en el aceite	**1**	Filtro de aceite saturado
		2	Contaminación por polvo
		3	Uso de aceite inadecuado
		4	Ingreso de partículas metálicas
C	Presencia de humo azulado	**1**	Quema de aceite en cámara
		2	Fallo en sellos de válvulas
		3	Desgaste de cilindros
D	Fuga de aceite	**1**	Fuga en tapa de cárter
		2	Fuga en junta del cárter
		3	Fuga en retenes del cigüeñal
		4	Fuga en filtro de aceite mal ajustado
		5	Tapón de drenaje flojo o dañado
E	Aceite contaminado prematuramente	**1**	Intervalos prolongados de cambio
		2	Sobrecalentamiento del motor
		3	Contaminación por combustible
		4	Mezcla con agua

Nota. Elaboración propia.

Tabla 78

Modo de Fallas del Sistema de Admisión- Camionetas

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Motor pierde potencia	**1**	Filtro de aire obstruido por polvo
		2	Sensor MAF sucio o defectuoso
		3	Fugas en mangueras de admisión
		4	Turbo compresor desgastado
		5	Intercooler obstruido o dañado
B	Presencia de humo negro en escape	**1**	Filtro de aire saturado
		2	Sensor MAF contaminado
		3	Fallo en turbo (baja presión)
C	Consumo elevado de combustible	**1**	Sensor MAF defectuoso
		2	Filtro de aire obstruido
		3	Turbo ineficiente
D	Flujo de aire insuficiente	**1**	Filtro de aire saturado por polvo
		2	Conductos de aire obstruidos
		3	Caja de filtro mal sellada
E	Presión de sobrealimentación inadecuada	**1**	Fugas en líneas del turbo
		2	Intercooler fisurado
		3	Turbo ineficiente
F	Fallas en la aceleración	**1**	Sensor MAF defectuoso
		2	Filtro de aire obstruido
		3	Fallo en turbo (baja presión)

Nota. Elaboración propia.

Tabla 79

Modo de Fallas del Sistema de Dirección- Camionetas

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Dirección dura	**1**	Bajo nivel de fluido de dirección hidráulica
		2	Bomba de dirección defectuosa
		3	Falla en la cremallera de dirección
		4	Correa de dirección electro asistida rota
B	Dirección inestable	**1**	Desalineamiento de ruedas
		2	Desgaste de terminales de dirección
		3	Bieletas desgastadas o dañadas
		4	Holgura en sistema de suspensión
C	Vehículo se desvía hacia un lado	**1**	Desalineación
		2	Presión desigual en neumáticos
		3	Desgaste irregular de neumáticos
		4	Freno arrastrando en una rueda
D	Ruidos al girar	**1**	Falta de lubricación en componentes
		2	Desgaste en cremallera
		3	Bujes deteriorados
		4	Terminales sueltos
E	Vibración en el volante	**1**	Desbalanceo de ruedas
		2	Desalineación
		3	Daño en neumáticos
		4	Holguras en dirección

Nota. Elaboración propia.

Tabla 80

Modo de Fallas del Sistema de Suspensión- Camionetas

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Suspensión muy blanda o dura	**1**	Amortiguadores desgastados
		2	Fugas de aceite en amortiguador
		3	Fatiga de muelles
		4	Sobrecarga constante
B	Ruidos y golpes a la circular	**1**	Bujes desgastados
		2	Bieletas dañadas o dobladas
		3	Holguras en suspensión
		4	Soportes sueltos
C	Inestabilidad del vehículo	**1**	Amortiguadores desgastados
		2	Fallo en barra estabilizadora
		3	Desalineación
D	Vibraciones en el vehículo	**1**	Amortiguadores desgastados
		2	Desbalanceo de ruedas
		3	Daño en rodamientos de rueda
E	Desgaste irregular de neumáticos	**1**	Desalineación
		2	Amortiguadores desgastados
		3	Presión desigual en neumáticos
		4	Fallas en suspensión (bujes, bieletas)

Nota. Elaboración propia.

Tabla 81

Modo de Fallas del Sistema de Frenos- Camionetas

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Deficiencia de frenado	**1**	Pastillas de freno desgastadas
		2	Bajo nivel de líquido de frenos
		3	Aire en el sistema hidráulico
		4	Fugas en líneas de freno
		5	Desgaste excesivo de pastillas
		6	Discos desgastados
		7	Contaminación de pastillas (aceite/polvo)
		8	Sobrecarga del vehículo
B	Vibración al frenar	**1**	Discos alabeados
		2	Desgaste irregular de discos
		3	Montaje incorrecto de discos
		4	Holguras en sistema de frenos
C	Ruido al frenar	**1**	Cristalización de pastillas
		2	Desgaste de pastillas
		3	Presencia de polvo o suciedad
		4	Falta de lubricación en componentes
D	Freno de estacionamiento ineficiente	**1**	Desajuste del freno de mano
		2	La ruptura del cable del freno de estacionamiento
		3	Desgaste de zapatas internas
		4	Mecanismo interno defectuoso

Nota. Elaboración propia.

Tabla 82

Modo de Fallas del Sistema de Neumáticos- Camionetas

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Vibraciones por neumáticos	**1**	Desbalanceo de neumáticos
		2	Desgaste irregular
		3	Daño en neumático
B	Desgaste irregular de neumáticos	**1**	Desalineación de ruedas
		2	Desbalanceo de neumáticos
		3	Presión incorrecta en neumáticos
		4	Suspensión en mal estado
		5	Rotación de neumáticos inadecuada
		6	Sobrecarga del vehículo
C	Baja presión o presión incorrecta	**1**	Falta de control periódico
		2	Fugas en válvulas
		3	Pinchaduras pequeñas
		4	Error en calibración de presión
		5	Instrumentos de medición defectuosos
D	Cortes o daños por terreno (piedras, trocha)	**1**	Impacto con piedras
		2	Sobrecarga del vehículo
		3	Neumáticos no adecuados para mina
		4	Baja presión (mayor deformación)
E	Pérdida de tracción	**1**	Desgaste de la banda de rodadura
		2	Presión incorrecta
		3	Terreno húmedo/barro
		4	Sobrecarga
		5	Neumáticos no adecuados

Nota. Elaboración propia.

Tabla 83

Modo de Fallas del Sistema de Estructura-Retroexcavadora

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Fisuras en brazo o chasis	**1**	Sobrecarga del equipo
		2	Fatiga por operación cíclica
		3	Impactos en operación (trocha/material)
		4	Defecto de fabricación o soldadura
		5	Falta de inspección estructural
B	Deformación estructural	**1**	Sobrecarga del equipo
		2	Impactos severos
		3	Uso inadecuado del equipo
		4	Diseño estructural deficiente
C	Fatiga del material	**1**	Ciclos repetitivos de carga
		2	Sobrecarga continua
		3	Diseño estructural deficiente
D	Corrosión en componentes	**1**	Exposición a ambiente salino/húmedo
		2	Falta de protección anticorrosiva
		3	Acumulación de suciedad
		4	Falta de inspección
E	Soldaduras deterioradas	**1**	Sobrecarga estructural
		2	Falta de inspección de soldadura
		3	Corrosión en unión soldada
F	Aflojamiento de pernos estructurales	**1**	Falta de torque adecuado
		2	Fatiga del perno
		3	Corrosión en pernos

Nota. Elaboración propia.

Tabla 84

Modo de Fallas del Sistema Hidráulico-Retroexcavadora

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Presión hidráulica baja, movimientos lentos	**1**	Fuga de aceite hidráulico
		2	Aflojamiento de conexiones hidráulicas
		3	Daño en mangueras por impacto externo
		4	Instalación incorrecta de componentes hidráulicos
		5	Defecto de material en componentes hidráulicos
		6	Desgaste de bomba hidráulica
		7	Falla en válvulas hidráulicas
		8	Presencia de aire en el sistema hidráulico
		9	Filtro hidráulico obstruido
B	Falla en bomba hidráulica	**1**	Desgaste interno de la bomba
		2	Contaminación del fluido hidráulico
		3	Falta de aceite hidráulico
		4	Sobrecarga del sistema hidráulico
		5	Defecto de fabricación de la bomba
C	Contaminación del fluido	**1**	Ingreso de polvo o partículas
		2	Filtro de aceite obstruido o deficiente
		3	Uso de aceite inadecuado
		4	Ingreso de agua al sistema
D	Sobrecalentamiento del sistema	**1**	Bajo nivel de aceite
		2	Exceso de trabajo continuo
		3	Radiador/enfriador obstruido
		4	Aceite degradado
		5	Diseño deficiente del sistema
E	Falla en válvulas hidráulicas	**1**	Desgaste interno de válvulas
		2	Contaminación del fluido hidráulico
		3	Mala calibración de válvulas

Nota. Elaboración propia.

Tabla 85

Modo de Fallas del Sistema de Freno-Retroexcavadora

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Pérdida de capacidad de frenado	**1**	Desgaste de discos de freno multidisco
		2	Sobrecalentamiento del sistema de frenos
		3	Contaminación del aceite del sistema de frenos
		4	Desajuste del sistema de frenos
B	Bajo nivel de aceite en el sistema de frenos	**1**	Fugas en líneas o conexiones hidráulicas
		2	Falta de inspección operativa
		3	Sobrecalentamiento del sistema
		4	Gestión inadecuada del sistema
		5	Uso de aceite inadecuado
C	Desgaste de discos de freno multidisco	**1**	Desgaste normal por operación
		2	Contaminación del aceite con partículas abrasivas
		3	Defecto de material en componentes de freno
		4	Sobrecarga operativa del equipo
		5	Falta de control operativo
D	Fugas en sistema de frenos	**1**	Deterioro de mangueras hidráulicas
		2	Desgaste de sellos hidráulicos
		3	Aflojamiento de conexiones hidráulicas
		4	Daños en líneas por vibración
		5	Instalación incorrecta de componentes
E	Falla del freno de estacionamiento	**1**	Desgaste del mecanismo
		2	Ajuste incorrecto
		3	Falla mecánica interna
F	Aire en el sistema hidráulico de frenos	**1**	Ingreso de aire por fugas en líneas o conexiones
		2	Bajo nivel de aceite en el sistema
		3	Mantenimiento inadecuado (purga incorrecta)
		4	Fallas en sellos hidráulicos
		5	Instalación incorrecta de componentes

Nota. Elaboración propia.

Tabla 86

Modo de Fallas del Sistema de Carga-Retroexcavadora

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
A	Desgaste del cucharón	**1**	Desgaste de dientes por operación
		2	Abrasión por material duro
		3	Uso en condiciones severas
		4	Falta de reemplazo oportuno
		5	Material inadecuado del cucharón
B	Holguras en pasadores y bujes	**1**	Desgaste por fricción
		2	Falta de lubricación
		3	Contaminación por polvo
		4	Falta de control del sistema
		5	Material de baja calidad
C	Fugas o pérdida de eficiencia en cilindros hidráulicos	**1**	Desgaste de sellos
		2	Contaminación del fluido
		3	Sobrecarga del sistema
		4	Gestión inadecuada del sistema
		5	Defecto de fabricación
D	Pérdida de fuerza de excavación/carga	**1**	Baja presión hidráulica
		2	Desgaste de componentes hidráulicos
		3	Sobrecarga del equipo
		4	Ajuste incorrecto del sistema
		5	Diseño ineficiente del sistema
E	Movimiento lento del sistema	**1**	Filtro hidráulico obstruido
		2	Aceite hidráulico degradado

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
		3	Aire en el sistema hidráulico
		4	Bomba hidráulica desgastada
		5	Válvulas de control defectuosas
		1	Fatiga del material
		2	Sobrecarga operativa
F	Fisuras en pluma o brazo	**3**	Defecto de soldadura
		4	Impactos durante operación
		5	Corrosión del material
		1	Falla en estabilizadores
		2	Fugas en cilindros de estabilizadores
G	Falta de estabilidad del equipo	**3**	Terreno inadecuado
		4	Uso incorrecto del equipo
		5	Desgaste en zapatas de apoyo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 87

Modo de Fallas del Sistema de Combustible-Retroexcavadora

ESTADO DE FALLA		MODO DE FALLA	
		1	Saturación por partículas
A	Filtro de combustible obstruido	**2**	Presencia de agua en el combustible
		3	Falta de reemplazo oportuno
		4	Filtro de baja eficiencia
		1	Ingreso de agua (condensación/tanque)
		2	Partículas sólidas
B	Contaminación del combustible	**3**	Combustible fuera de especificación
		4	Tanque contaminado
		5	Falta de drenaje de agua
		1	Desgaste interno de componentes
C	Falla de bomba de combustible	**2**	Contaminación del combustible
		3	Obstrucción en succión
		1	Mangueras agrietadas o envejecidas
		2	Conexiones flojas
D	Fugas en líneas de combustible	**3**	Sellos deteriorados
		4	Vibración del equipo
		5	Instalación incorrecta
		1	Suministro insuficiente de combustible
		2	Inyectores obstruidos
E	Bajo rendimiento del motor	**3**	Baja presión de combustible
		4	Combustible contaminado

Nota. Elaboración propia.

4.7. Paso 6: Identificar los Efectos de Falla

En este paso, una vez identificados los modos de falla de los sistemas de los activos críticos de la asociación de empresas, se determinan los efectos de falla y su impacto en la producción y operatividad.

Este análisis permite comprender las consecuencias de cada falla y facilita la selección de acciones de mantenimiento adecuadas para mitigar o corregir los modos de falla durante la vida útil del activo.

Tabla 88

Efecto de Fallas del Sistema de Combustible-Camión Grúa

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	**1**	Ingreso de partículas sólidas al tanque	Obstrucción del sistema, pérdida de potencia
	2	Ingreso de agua por condensación	Fallas de combustión, daño en inyectores
	3	Combustible de mala calidad	Alto consumo, baja eficiencia
	4	Diseño deficiente del sistema de filtrado	Fallas recurrentes, baja confiabilidad
B	**1**	Filtro de combustible obstruido	Baja potencia, operación limitada
	2	Líneas de combustible bloqueadas	Funcionamiento irregular
	3	Válvula de paso defectuosa	Interrupción del flujo
	4	Instalación incorrecta del filtro	Retrasos operativos
C	**1**	Desgaste interno de la bomba	Parada del motor
	2	Falla eléctrica en la bomba	Detención total del equipo
	3	Contaminación interna	Bajo rendimiento
D	**1**	Rotura de mangueras	Derrame, riesgo de incendio, contaminación ambiental
	2	Fisura en tanque	Contaminación del suelo, parada operativa
	3	Conexiones flojas	Fugas continuas
	4	Sellos deteriorados	Pérdida de eficiencia
E	**1**	Condensación en tanque	Daño en inyectores
	2	Ingreso de agua en abastecimiento	Fallas de combustión
	3	Separador de agua defectuoso	Bajo rendimiento
	4	Falta de drenaje del sistema	Corrosión interna

Nota. Elaboración propia.

Tabla 89

Efecto de Fallas del Sistema de Escape-Camión Grúa

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	**1**	Rotura del tubo	Contaminación ambiental, riesgo al operador
	2	Fisuras en uniones	Fugas de gases
	3	Abrazaderas sueltas	Vibraciones
B	**1**	Silenciador dañado	Ruido elevado
	2	Desajuste del sistema	Vibraciones
	3	Soportes defectuosos	Riesgo operativo
	4	Diseño deficiente	Ruido constante

Nota. Elaboración propia.

Tabla 90

Efecto de Fallas del Sistema de Refrigeración-Camión Grúa

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	**1**	Rotura de mangueras	Pérdida de refrigerante, parada del equipo
	2	Fisura en radiador	Sobrecalentamiento
	3	Depósito dañado	Baja disponibilidad
	4	Abrazaderas flojas	Fugas continuas
B	**1**	Termostato defectuoso	Temperatura inestable
	2	Bomba dañada	Baja circulación
	3	Sensor defectuoso	Lectura incorrecta
	4	Ventilador defectuoso	Elevación de temperatura
C	**1**	Bajo nivel de refrigerante	Daño del motor, parada prolongada
	2	Radiador obstruido	Pérdida de enfriamiento
	3	Falla de ventilación	Riesgo de falla catastrófica
	4	Refrigerante inadecuado	Corrosión interna

Nota. Elaboración propia.

Tabla 91

Efecto de Fallas del Sistema de Freno y presión de aire-Camión Grúa

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	**1**	Desgaste de zapatas	Mayor distancia de frenado, riesgo de accidente
	2	Tambores defectuosos	Operación del equipo defectuosa
	3	Contaminación con aceite	Pérdida de fricción
	4	Ajuste incorrecto	Riesgo operativo
B	**1**	Mangueras deterioradas	Pérdida de presión
	2	Conexiones defectuosas	Fugas continuas
	3	Válvulas con fugas	Baja eficiencia
	4	Tanque fisurado	Parada del equipo
C	**1**	Compresor dañado	Sistema inoperativo
	2	Falta de lubricación	Desgaste acelerado
D	**1**	Uso prolongado	Reducción de eficiencia
	2	Material inadecuado	Desgaste prematuro
	3	Sobrecarga	Falla en operación
	4	Falta de mantenimiento	Baja confiabilidad

Nota. Elaboración propia.

Tabla 92

Efecto de Fallas del Sistema Eléctrico-Camión Grúa

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	**1**	Interrupción del suministro	Parada del equipo
	2	Fusible averiado	Pérdida de energía
	3	Relé defectuoso	Fallo de activación
	4	Alternador defectuoso	Descarga de batería
B	**1**	Cortocircuito	Daño en componentes, riesgo de incendio
	2	Circuito abierto	Sistema fuera de servicio
	3	Cable deteriorado	Fallas intermitentes
	4	Conexión floja	Operación inestable
C	**1**	Residuos acumulados	Caída de tensión
	2	Falta de mantenimiento	Fallo progresivo
	3	Conexión deficiente	Arranque irregular
D	**1**	Fin de vida útil	No arranca
	2	Alternador defectuoso	Descarga continua
	3	Consumo parasitario	Baja disponibilidad
	4	Uso sin recarga	Tiempo muerto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 93

Efecto de Fallas del Sistema de Grúa-Camión Grúa

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	**1**	Rotura de mangueras	Parada del izaje, contaminación ambiental
	2	Sellos deteriorados	Bajo rendimiento
	3	Conexiones flojas	Fugas continuas
	4	Fisuras en cilindros	Pérdida de capacidad
B	**1**	Fatiga del material	Parada del sistema
	2	Sobrepresión	Rotura repentina
	3	Instalación incorrecta	Desgaste prematuro
	4	Material inadecuado	No cumple con el requerimiento del equipo
C	**1**	Desgaste de bomba	Baja capacidad de izaje
	2	Contaminación del aceite	Funcionamiento deficiente
	3	Filtro obstruido	Baja presión
	4	Aire en el sistema	Movimientos irregulares
D	**1**	Fuga en cilindros	Inestabilidad, riesgo de volcadura
	2	Mal posicionamiento	Operación insegura
	3	Diseño insuficiente	Perdida de producción
E	**1**	Aire en sistema	Movimientos erráticos
	2	Bajo nivel de aceite	Interrupción de tareas
	3	Pérdida de señal control remoto	No responde el control, equipo detenido
F	**1**	Pérdida de señal	Pérdida de control de la grúa, parada del equipo
	2	Batería descargada	No responde el control, equipo detenido
	3	Botones o joystick defectuosos	Movimientos erráticos o nulos
	4	Fallo en receptor de la grúa	No hay comunicación con el equipo
	5	Daño en cableado interno	Señales intermitentes
	6	Desconfiguración del sistema	Respuesta incorrecta del equipo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 94

Efecto de Fallas del Sistema de Admisión-Montacargas

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	**1**	Filtro de aire saturado por polvo	Pérdida de potencia
	2	Intervalo de mantenimiento inadecuado	Pérdida de producción
	3	Instalación incorrecta del filtro	Pérdida de potencia
B	**1**	Filtro de aire dañado	Desgaste acelerado
	2	Mantenimiento deficiente	Falla de componente
	3	Operación en ambiente altamente polvoriento	Desgaste acelerado
C	**1**	Instalación incorrecta de componentes	Falla de componente
	2	Abrazaderas flojas	Condición insegura
	3	Diseño deficiente de conexiones	Falla de componente
D	**1**	Filtro de aire obstruido	Pérdida de potencia
	2	Ductos deformados	Falla de componente
	3	Instalación incorrecta del sistema	Pérdida de producción
	4	Acumulación de contaminantes	Desgaste acelerado

Nota. Elaboración propia.

Tabla 95

Efecto de Fallas del Sistema de Frenos-Montacargas

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	**1**	Desgaste de pastillas/zapatas	Riesgo de accidente, parada de equipo
	2	Contaminación de superficies de fricción	Desgaste acelerado de componentes
	3	Uso inadecuado del freno	Riesgo de accidente, parada de equipo
	4	Diseño insuficiente para carga de trabajo	Riesgo de accidente, parada de equipo
B	**1**	Fugas en líneas hidráulicas	Riesgo de accidente, parada de equipo
	2	Aire en el sistema hidráulico	Perdida de eficiencia de frenado
	3	Mantenimiento inadecuado	Equipo inoperativo

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
C	1	Desgaste del mecanismo	Condición insegura, Parada de equipo
	2	Desajuste del sistema	Condición insegura, Parada de equipo
	3	Ruptura de cables o actuadores	Parada del equipo
	4	Uso indebido del freno de estacionamiento	Falla de componente, Parada de equipo
	5	Diseño débil del sistema	No cumple con el requerimiento del equipo
D	1	Aire en el circuito hidráulico	Perdida de eficiencia de frenado
	2	Fluido de frenos degradado	Perdida de eficiencia de frenado
	3	Obstrucción en líneas hidráulicas	Perdida de eficiencia de frenado
E	1	Uso continuo en condiciones severas	Desgaste acelerado, parada de equipo
	2	Material de baja calidad	Falla de componente, frenado ineficiente
	3	Falta de inspección periódica	Parada del equipo no programado
	4	Sobrecarga del equipo	Riesgo de accidente, desgaste acelerado
	5	Contaminación con polvo/mineral	Desgaste acelerado

Nota. Elaboración propia.

Tabla 96

Efecto de Fallas del Sistema de Carga-Montacargas

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	1	Nivel bajo de aceite hidráulico	Parada del equipo, perdida de producción
	2	Fugas en sistema hidráulico por desgaste de sellos	Parada del equipo, perdida de producción
	3	Sobrecarga del equipo fuera de capacidad nominal	Riesgo de accidente
B	1	Desgaste de cadenas de elevación	Riesgo de accidente, parada de equipo
	2	Falta de lubricación en mástil	Desgaste acelerado
	3	Mala distribución de carga por operación incorrecta	Riesgo al operador
C	1	Acumulación de suciedad en guías	Desgaste acelerado del componente
	2	Falta de lubricación en guías	Desgaste acelerado
	3	Desgaste de polea del mástil	Riesgo de accidente, parada de equipo
D	1	Acumulación de residuos en guías	Desgaste acelerado
	2	Desgaste de poleas	Parada del equipo, perdida de producción
	3	Falta de mantenimiento preventivo	Pérdida de producción
E	1	Uso continuo en operación severa	Desgaste acelerado
	2	Lubricación inadecuada	Desgaste acelerado
	3	Contaminación por polvo abrasivo	Desgaste acelerado

Nota. Elaboración propia.

Tabla 97

Efecto de Fallas del Sistema de Lubricación-Montacargas

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	1	Bajo nivel de aceite	Aumento de fricción y temperatura, desgaste acelerado
	2	Fugas en sistema de lubricación	Pérdida de presión, posible parada del equipo
	3	Falta de reposición de lubricante	Reducción de lubricación, menor vida útil
B	1	Ingreso de partículas (polvo/mineral)	Desgaste abrasivo interno
	2	Contaminación con agua	Corrosión y pérdida de lubricación
	3	Filtro de aceite obstruido o dañado	Baja presión, aceite contaminado circulando
	4	Manejo inadecuado del lubricante	Contaminación del aceite
	5	Diseño deficiente del sistema de filtrado	Filtración insuficiente, desgaste prematuro
C	1	Degradación térmica del aceite	Pérdida de viscosidad, menor protección
	2	Selección incorrecta de lubricante	Lubricación ineficiente, desgaste
D	1	Falta de lubricación	Contacto metal-metal, falla crítica
	2	Contaminación del lubricante	Desgaste acelerado
	3	Frecuencia de mantenimiento inadecuada	Degradación del aceite, baja confiabilidad

Nota. Elaboración propia.

Tabla 98

Efecto de Fallas del Sistema de Airea A/C-Montacargas

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	**1**	Compresor defectuoso o averiado	Equipo inoperativo
	2	Fuga de refrigerante	No enfría la cabina
B	**1**	Filtro de cabina obstruido	Purificación del aire ineficiente
	2	Condensador sucio	Desgaste acelerado, sobrecalentamiento
	3	Mantenimiento inadecuado	Falla de componente
	4	Filtro de baja calidad	Purificación del aire ineficiente
C	**1**	Filtro saturado	Riesgo al operador
	2	Error en operación del sistema	Deficiencia del sistema

Nota. Elaboración propia.

Tabla 99

Efecto de Fallas del Sistema de Combustible-Montacargas

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	**1**	Filtro de combustible obstruido	Dificultad del encendido, equipo se apaga
	2	Bomba de combustible defectuosa	Equipo inoperativo
	3	Nivel bajo de combustible	Parada del equipo
B	**1**	Ingreso de partículas (polvo/sedimentos)	Desgaste acelerado de componentes
	2	Abastecimiento de combustible errado	Daño de bomba de combustible, inyectores
	3	Filtro de combustible dañado	Paso de impurezas al sistema
	4	Filtro inadecuado	Paso de impurezas al sistema
C	**1**	Inyectores obstruidos	Pérdida de producción
	2	Contaminación del sistema	Daño al sistema
D	**1**	Aire en el sistema de combustible	Funcionamiento irregular del motor (tironeo)
	2	Obstrucción total del sistema	Interrupción del flujo de combustible
E	**1**	Condensación en tanque	Corrosión interna del tanque y sistema
	2	Mala calidad de combustible	Daño en inyectores y bomba
	3	Falta de drenaje del separador	Saturación del separador
	4	Filtro separador defectuoso	No retención de agua

Nota. Elaboración propia.

Tabla 100

Efecto de Fallas del Sistema de Transmisión-Montacargas

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	**1**	Nivel bajo de aceite de transmisión	Desgaste de componentes internos
	2	Falta de mantenimiento	Desgaste de componentes internos
B	**1**	Placa de embrague pegada o se arrastra	Movimiento del quipo en posición neutro
	2	Pistón de embrague dañado	No realiza enclochado en caja de cambios
C	**1**	Mal funcionamiento de la válvula de control	Presión de aceite alta, parada de equipo
	2	Uso de aceite inapropiado	Presión de aceite es baja
	3	Filtro de aceite obstruido	funcionamiento inadecuado
D	**1**	Deterioro de sellos	Desgaste acelerado
	2	Instalación incorrecta	Falla de componente

Nota. Elaboración propia.

Tabla 101

Efecto de Fallas del Sistema Eléctrico-Montacargas

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	1	Batería descargada	Equipo inoperativo
	2	Terminales sulfatados o flojos	Falso contacto de energía
	3	Cableado dañado o cortado	Equipo inoperativo
	4	Error en desconexión de batería	Daño a la batería
	5	Diseño deficiente de baterías	No enciende el equipo
B	1	Alternador defectuoso	Parada del equipo por falta de energía
	2	Correa del alternador desgastada o rota	Parada del equipo
	3	Falta de mantenimiento	Falla de componente
	4	Diseño inadecuado del sistema de carga	Elemento inadecuado
C	1	Motor de arranque defectuoso	Equipo inoperativo
	2	Solenoide de arranque dañado	Equipo inoperativo
	3	Error de operación	Funcionamiento inadecuado
	4	Diseño deficiente del circuito de arranque	Falla de componente
D	1	Cámara de retroceso defectuosa	Aumento de punto ciegos, choque
	2	Cámara de retroceso sucia	Baja visibilidad de la cámara
	3	Cableado de cámara dañado	cámara de retroceso inoperativa
	4	Mal uso o desconexión del sistema	Riesgo de accidente
	5	Diseño inadecuado del sistema de monitoreo	Condición insegura
E	1	Lámparas quemadas	Riesgo de accidente
	2	Fusibles de iluminación dañados	Riesgo de accidente
	3	Cableado defectuoso	Falla de componente
	4	Operación sin inspección previa	Riesgo de accidente

Nota. Elaboración propia.

Tabla 102

Efecto de Fallas del Sistema de Carrocería- Combis

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	1	Acumulación de humedad, barro y polvo en zonas críticas	Corrosión progresiva, reducción de vida útil
	2	Falta de aplicación de recubrimiento anticorrosivo	Debilitamiento estructural, corrosión
	3	Daño previo en pintura que deja metal expuesto	Deterioro a largo plazo, corrosión
	4	Lavado inadecuado (no eliminación de sales)	Deterioro a largo plazo, presentación inadecuada
	5	Diseño con zonas de retención de agua	Punto de oxidación del material
B	1	Deformación por tránsito en trocha irregular	Desalineación, operación defectuosa
	2	Impactos leves (piedras, maniobras)	Ingreso de contaminantes, deterioro interno
	3	Bisagras desgastadas	Desgaste prematuro, mantenimiento correctivo
C	1	Ingreso de polvo que genera abrasión	Desgaste de componentes, mantenimiento correctivo
	2	Falta de lubricación	Holguras, operación defectuosa
	3	Desalineación de puerta	Apertura accidental, riesgo de accidente
	4	Rotura de manijas por uso brusco	Falla mecánica, equipo inoperativo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 103

Efecto de Fallas del Sistema de Dirección- Combis

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	**1**	Bajo nivel de fluido hidráulico	Dirección dura, operación insegura
	2	Bomba de dirección defectuosa	Pérdida de control, equipo inoperativo
	3	Uso de fluido incorrecto	Respuesta lenta, daño prematuro
	4	Contaminación del fluido (polvo/partículas)	Dirección dura, desgaste acelerado de la bomba
B	**1**	Alineamiento de la dirección	Desviación, operación insegura
	2	Presión incorrecta en neumáticos	Pérdida de control, riesgo de accidente
	3	Desgaste irregular de neumáticos	Desgaste irregular
	4	Holguras en suspensión/dirección	Inestabilidad, riesgo operativo
	5	Impactos en trocha (golpes)	Riesgo de accidente, falla crítica
C	**1**	Desgaste de terminales de dirección	Ruidos (golpeteo o “clac”)
	2	Desgaste de cremallera	Ruidos al girar (golpes o crujidos)
	3	Desgaste de rótulas	Vibraciones, Ruidos (golpeteo o “clac”)
	4	Falta de lubricación	Desgaste prematuro, mantenimiento correctivo
	5	Montaje incorrecto de componentes	Operación defectuosa, baja confiabilidad
D	**1**	Mangueras deterioradas o fisuradas	Fuga hidráulica, contaminación ambiental
	2	Sellos desgastados	Pérdida de presión, falla del sistema
	3	Vibraciones constantes	Posibles fugas de aceite hidráulico, desgaste prematuro
	4	Instalación incorrecta	Operación defectuosa, baja confiabilidad
E	**1**	Bomba defectuosa	Zumbido, equipo inoperativo
	2	Cremallera defectuosa	Holgura en el volante, dificultad de dirección
	3	Bieleta defectuosa	Balanceo excesivo de la carrocería, ruido metálicos y golpeteos, manejo impreciso
	4	Mala selección de elemento	No cumple con el requerimiento del equipo
	5	Insuficiente cantidad de aceite hidráulico de dirección	Desgaste rápido de componentes
	6	Mala operación del vehículo	Desgaste rápido de componentes

Nota. Elaboración propia.

Tabla 104

Efecto de Fallas del Sistema de Suspensión- Combis

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	**1**	Operación continua en trocha (vibración constante)	Desgaste prematuro
	2	Contaminación por polvo y barro	Deterioro, reducción de vida útil
	3	Sobrecarga del vehículo	Fatiga estructural, daño progresivo
	4	Uso prolongado sin reemplazo	Operación inestable, riesgo de accidente
	5	Amortiguadores de baja calidad	No cumple con el requerimiento del equipo
B	**1**	Desgaste de bujes por vibración	Holguras, operación inestable, ruido en suspensión (“clac” o golpes)
	2	Falta de lubricación	Desgaste acelerado, mantenimiento correctivo
	3	Ingreso de polvo y agua	Deterioro, reducción de vida útil
	4	Instalación incorrecta	Desalineación, operación defectuosa
	5	Material inadecuado	No cumple con el requerimiento del equipo
C	**1**	Amortiguadores deteriorados	Suspensión inadecuada, operación defectuosa
	2	Resortes fatigados	Pérdida de estabilidad, riesgo operativo
	3	Selección incorrecta de componentes	No cumple con el requerimiento del equipo
	4	Presión incorrecta en neumáticos	Pérdida de control, riesgo de accidente
D	**1**	Desgaste general del sistema de suspensión	Inestabilidad del vehículo
	2	Sobrecarga o mala distribución de carga	Desgaste, rotura de suspensión
	3	Operación en terreno irregular	Desgaste prematuro de la suspensión
E	**1**	Bujes desgastados	Holguras, operación inestable, ruido en suspensión (“clac” o golpes)
	2	Bieletas sueltas o dañadas	Balanceo excesivo de la carrocería, ruido metálicos y golpeteos, manejo impreciso

Nota. Elaboración propia.

Tabla 105

Efecto de Fallas del Sistema de Freno- Combis

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
	1	Desgaste excesivo de pastillas/zapatas	Pérdida de frenado, riesgo de accidente
	2	Presencia de aire en el sistema	Frenado deficiente, operación insegura
	3	Fugas en circuito hidráulico	Falla de frenado, riesgo de accidente
A	**4**	Discos o tambores desgastados	Equipo inoperativo
	5	Contaminación del sistema (polvo/aceite)	Mayor distancia de frenado, riesgo
	6	Sobrecarga del vehículo	Sobrecalentamiento, falla del sistema
	7	Uso continuo en pendientes (mina)	Accidente, daño severo
	1	Fugas en líneas o mangueras	Nivel bajo, falla de frenado
	2	Desgaste de pastillas (mayor consumo de fluido)	Pérdida de fluido, operación insegura
B	**3**	Falta de inspección	Posibles fallos, fugas no verificadas
	4	Evaporación por sobrecalentamiento	Equipo inoperativo, parada del equipo
	5	Mantenimiento deficiente	Operación defectuosa, baja confiabilidad
	1	Uso intensivo en rutas mineras	Frenado deficiente, operación insegura
	2	Presencia de polvo abrasivo	Reducción de eficiencia, operación deficiente
C	**3**	Mala calidad del material	Desgaste acelerado, baja vida útil
	4	Sobrecarga del vehículo	Frenado ineficiente, riesgo de accidente
	5	Mala conducción (frenado brusco)	Falla progresiva, baja confiabilidad
	1	Uso continuo de frenos en bajadas	Frenado deficiente, operación insegura
D	**2**	Sobrecarga del vehículo	Frenado ineficiente, riesgo de accidente
	5	Conducción agresiva	Riesgo de accidente
	1	La ruptura del cable del freno de estacionamiento	Pérdida total del freno de estacionamiento
	2	Mala regulación del sistema	Riesgo de desplazamiento del vehículo
F	**3**	Mecanismo trabado por suciedad	reno de estacionamiento no libera o se queda pegado
	4	Uso incorrecto (mal accionamiento)	Desgaste acelerado del sistema
	1	Discos deformados	Vibraciones, operación inestable
G	**2**	Desgaste irregular de pastillas	Frenado irregular, riesgo de accidente
	3	Montaje incorrecto de componentes	Desgaste acelerado, mantenimiento correctivo
	1	Fuga de vacío en sistema	Falla del booster, esfuerzo elevado
	2	Daño en diafragma del booster	Pérdida de asistencia, operación insegura
H	**3**	Instalación incorrecta	Equipo inoperativo, riesgo de accidente
	4	Falta de mantenimiento	Operación defectuosa, baja confiabilidad
	5	Defecto de fabricación	Mantenimiento correctivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 106

Efecto de Fallas del Sistema de Eléctrico- Combis

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
	1	Motor de arranque defectuoso	Equipo inoperativo
	2	Solenoide dañado	Parada del equipo
A	**3**	Batería sin carga	Equipo inoperativo
	4	Conexiones flojas o sulfatadas	Falso contacto, daño de batería
	5	Interruptor de encendido defectuoso	Equipo inoperativo
	1	Vida útil agotada	Vehículo no enciende
	2	Fallo del alternador (no carga)	Parada del equipo
B	**3**	Bornes sulfatados	Arranque deficiente
	4	Parasitaje eléctrico (consumos ocultos)	Luces débiles, sistema inestable, equipo inoperativo
	1	Bombillas quemadas	Iluminación deficiente, riesgo de accidente
	2	Fusibles dañados	Sistema inoperativo
C	**3**	Cableado deteriorado	Falla eléctrica, operación defectuosa
	4	Interruptores defectuosos	Equipo inoperativo
	5	Conectores sulfatados	Fallas intermitentes
	6	Instalación incorrecta	Operación defectuosa
	1	Conectores flojos	Fallas intermitentes
D	**2**	Sulfatación por humedad	Fallas intermitentes
	4	Cableado dañado	Falla eléctrica, operación defectuosa
	5	Mala instalación eléctrica	Operación defectuosa

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
E	6	Diseño deficiente del sistema	Cables con vida util corta
	1	Contaminación por polvo	Sensores defectuosos, señal falsa
	2	Fallo interno del sensor	Pérdida de control, riesgo operativo
	3	Daño por humedad	Operación defectuosa
	4	Diseño sensible a condiciones severas	Fallas recurrentes
F	1	Desgaste de escobillas	Falla de alternador, parada del equipo
	2	Correa floja o rota	Equipo inoperativo
	3	Ingreso de polvo al alternador	Pérdida de generación

Nota. Elaboración propia.

Tabla 107

Efecto de Fallas Sistema de Neumáticos- Combis

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	1	Desalineación de ruedas	Desgaste irregular, reducción de vida útil
	2	Desbalanceo de neumáticos	Vibraciones, operación inestable
	3	Presión incorrecta en neumáticos	Desgaste prematuro de los neumáticos
	4	Suspensión en mal estado	Riesgo de reventón, accidente
	5	Rotación de neumáticos inadecuada	Reducción de la vida útil de las llantas
	6	Sobrecarga del vehículo	Retraso operativo daño a la unidad
B	1	Falta de control periódico	Baja presión, operación insegura
	2	Fugas en válvulas	Pérdida de presión, parada del equipo
	3	Pinchaduras pequeñas	Equipo inoperativo
	4	Error en calibración de presión	Desgaste de prematuro del neumático
	5	Instrumentos de medición defectuosos	Falla recurrente
C	1	Impacto con piedras	Daño del neumático, riesgo de accidente
	2	Sobrecarga del vehículo	Desgaste prematuro de los neumáticos
	3	Neumáticos no adecuados para mina	Desgaste severo, baja disponibilidad
	4	Baja presión (mayor deformación)	Desgaste prematuro de los neumáticos
D	1	Desgaste de la banda de rodadura	Pérdida de tracción, riesgo de accidente
	2	Presión incorrecta	Deslizamiento, operación insegura
	3	Terreno húmedo/barro	Pérdida de control
	4	Sobrecarga	Retraso operativo, desgaste prematuro de neumáticos
	5	Neumáticos no adecuados	Operación defectuosa

Nota. Elaboración propia.

Tabla 108

Efecto de Fallas del Sistema de Refrigeración- Combis

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	1	Bajo nivel de refrigerante	Sobrecalentamiento, parada del equipo
	2	Radiador obstruido por polvo	Equipo inoperativo
	3	Falla de termostato	Daño del motor, sobrecalentamiento
	4	Falla de bomba de agua	Sobrecalentamiento de motor
	5	Fugas en el sistema	Pérdida de refrigerante
	6	Ventilador defectuoso	Aspas dañadas o deformadas
B	1	Fugas en mangueras	Pérdida de refrigerante
	2	Fugas en radiador	Equipo inoperativo
	3	Fugas en bomba de agua	Parada del equipo, Sobrecalentamiento de motor
	4	Evaporación por sobrecalentamiento	Refrigerante inadecuado
	5	Falta de inspección	Riesgo operativo
	6	Mal llenado del sistema	Retraso operativo
C	1	Acumulación de polvo (mina)	Obstrucción, sobrecalentamiento
	2	Operación en ambientes polvorientos	Daño del motor
	3	Aletas dañadas	Fuga de refrigerante
	4	Protección inadecuada del radiador	Contaminación del sistema
D	1	Termostato trabado cerrado	Falla de termostato
	2	Uso de repuestos de baja calidad	Falla del sistema

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
	3	Fatiga del componente	Desgaste del componente
	1	Uso refrigerante inadecuado	Obstrucción interna
E	**2**	Falta de cambio de refrigerante	Parada del equipo
	4	Contaminación del sistema	Sobrecalentamiento, corrosión interna

Nota. Elaboración propia.

Tabla 109

Efecto de Fallas del Sistema de Lubricación- Camionetas

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
	1	Desgaste de anillos de pistón	Bajo nivel de aceite, desgaste acelerado
	2	Desgaste de guías de válvula	Consumo excesivo, Humo azul por el escape
A	**3**	Fuga en retenes de válvulas	Pérdida de aceite, humo azul por el escape
	4	Sobrellenado de aceite	Aireación/espumación del aceite, Pérdida de lubricación efectiva, Aumento de presión interna del cárter, Fugas por retenes y empaques
	1	Filtro de aceite saturado	Desgaste acelerado del motor
	2	Contaminación por polvo	Daño interno en componentes
B	**3**	Uso de aceite inadecuado	Lubricación deficiente
	4	Ingreso de partículas metálicas	Falla progresiva del motor
	1	Quema de aceite en cámara	Contaminación y pérdida de rendimiento
C	**2**	Fallo en sellos de válvulas	Consumo elevado
	3	Desgaste de cilindros	Baja compresión
	1	Fuga en tapa de cárter	Derrame de aceite, riesgo ambiental
	2	Fuga en junta del cárter	Pérdida progresiva de aceite
D	**3**	Fuga en retenes del cigüeñal	Disminución del nivel de aceite
	4	Fuga en filtro de aceite mal ajustado	Pérdida rápida de aceite
	5	Tapón de drenaje flojo o dañado	Fuga constante de aceite
	1	Intervalos prolongados de cambio	Pérdida de propiedades lubricantes
	2	Sobrecalentamiento del motor	Oxidación del aceite
E	**3**	Contaminación por combustible	Reducción de viscosidad
	4	Mezcla con agua	Corrosión interna del motor

Nota. Elaboración propia.

Tabla 110

Efecto de Fallas del Sistema de Admisión- Camionetas

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
	1	Filtro de aire obstruido por polvo	Reducción de potencia
	2	Sensor MAF sucio o defectuoso	Mezcla aire-combustible incorrecta
A	**3**	Fugas en mangueras de admisión	Pérdida de presión
	4	Turbo compresor desgastado	Baja eficiencia del motor
	5	Intercooler obstruido o dañado	Aire caliente, menor rendimiento
	1	Filtro de aire saturado	Combustión incompleta
	2	Sensor MAF contaminado	Exceso de combustible, genera más vapores, MAF se ensucia con residuos aceitosos.
B	**3**	Fallo en turbo (baja presión)	Pérdida notable de potencia, aumento del consumo de combustible, humo negro (combustión incompleta), respuesta lenta del motor, posible sobrecalentamiento, incremento de emisiones

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
C	1	Sensor MAF defectuoso	Exceso de combustible, MAF se ensucia con residuos aceitosos.
	2	Filtro de aire obstruido	Mayor consumo
	3	Turbo ineficiente	Tiene respuesta lenta (turbo lag)
D	1	Filtro de aire saturado por polvo	Restricción de aire
	2	Conductos de aire obstruidos	Bajo flujo
	3	Caja de filtro mal sellada	Aire contaminado
E	1	Fugas en líneas del turbo	Pérdida de presión
	2	Intercooler fisurado	Baja presión
	3	Turbo ineficiente	Tiene respuesta lenta (turbo lag)
F	1	Sensor MAF defectuoso	respuesta lenta, tironeo o falta de potencia
	2	Filtro de aire obstruido	Falla en la aceleración (respuesta lenta / tironeo), Humo negro
	3	Fallo en turbo (baja presión)	Pérdida notable de potencia, aumento del consumo de combustible, humo negro (combustión incompleta), respuesta lenta del motor, posible sobrecalentamiento, incremento de emisiones

Nota. Elaboración propia.

Tabla 111

Efecto de Fallas del Sistema de Dirección- Camionetas

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	1	Bajo nivel de fluido de dirección hidráulica	Aumento del esfuerzo al girar, desgaste acelerado de la bomba de dirección
	2	Bomba de dirección defectuosa	Dirección rígida, Ruidos (zumbido o chillido), equipo inoperativo
	3	Falla en la cremallera de dirección	Dirección dura o irregular, equipo inoperativo
	4	Correa de dirección electro asistida rota	Dirección muy dura (sin asistencia), equipo inoperativo
B	1	Desalineamiento de ruedas	Desviación del vehículo, desgaste irregular de neumáticos
	2	Desgaste de terminales de dirección	Vibraciones al conducir, Desalineación de ruedas, Inestabilidad del vehículo
	3	Bieletas desgastadas o dañadas	Golpeteo al pasar baches, balanceo excesivo en curvas
	4	Holgura en sistema de suspensión	Rótulas, bujes, brazos de suspensión, terminales, bieletas dañadas
C	1	Desalineación	Desviación del vehículo, desgaste irregular de neumáticos
	2	Presión desigual en neumáticos	Desgaste irregular de neumáticos, desviación del vehículo (jala a un lado), mayor consumo de combustible
	3	Desgaste irregular de neumáticos	Desgaste irregular de neumáticos, desviación del vehículo (jala a un lado), mayor consumo de combustible
	4	Freno arrastrando en una rueda	Desgaste acelerado de pastillas, desviación del vehículo al frenar
D	1	Falta de lubricación en componentes	Ruido anormal
	2	Desgaste en cremallera	Golpeteo, dirección dura o irregular, equipo inoperativo
	3	Bujes deteriorados	Ruidos (golpeteo), desalineación de ruedas, Inestabilidad
	4	Terminales sueltos	Ruidos (golpeteo), desalineación de ruedas, Inestabilidad
E	1	Desbalanceo de ruedas	Vibración constante
	2	Desalineación	Vibración a velocidad
	3	Daño en neumáticos	Inestabilidad, accidente
	4	Holguras en dirección	Vibraciones, desgaste de terminales de dirección, desgaste en cremallera, bujes deteriorados

Nota. Elaboración propia.

Tabla 112

Efecto de Fallas del Sistema de Suspensión- Camionetas

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	1	Amortiguadores desgastados	Suspensión muy blanda, Desgaste irregular de neumáticos, Pérdida de estabilidad
	2	Fugas de aceite en amortiguador	Suspensión muy blanda, Desgaste irregular de neumáticos, Pérdida de estabilidad
	3	Fatiga de muelles	Vehículo "caído" (baja altura), Pérdida de capacidad de carga, Inestabilidad, especialmente con carga, Desgaste irregular de neumáticos
	4	Sobrecarga constante	Desgaste prematuro de componentes
B	1	Bujes desgastados	Ruidos y golpes a la circular, vibraciones
	2	Bieletas dañadas o dobladas	Ruido al transitar, Golpeteo en baches, inestabilidad
	3	Holguras en suspensión	Inestabilidad, vibraciones, desgaste de neumáticos
	4	Soportes sueltos	Golpes metálicos, ruido a la circular
C	1	Amortiguadores desgastados	Suspensión muy blanda, Desgaste irregular de neumáticos, Pérdida de estabilidad
	2	Fallo en barra estabilizadora	Inestabilidad del vehículo, menor control en curvas
	3	Desalineación	Desviación del vehículo, desgaste irregular de neumáticos
D	1	Amortiguadores desgastados	Suspensión muy blanda, Desgaste irregular de neumáticos, Pérdida de estabilidad
	2	Desbalanceo de ruedas	Vibración constante
	3	Daño en rodamientos de rueda	Ruido tipo zumbido, vibración en la rueda, temperatura elevada, riesgo de bloqueo de rueda, posible accidente
E	1	Desalineación	Desviación del vehículo, desgaste irregular de neumáticos
	2	Amortiguadores desgastados	Suspensión muy blanda, Desgaste irregular de neumáticos, Pérdida de estabilidad
	3	Presión desigual en neumáticos	Desgaste irregular de neumáticos, desviación del vehículo (jala a un lado), mayor consumo de combustible
	4	Fallas en suspensión (bujes, bieletas)	Desgaste irregular

Nota. Elaboración propia.

Tabla 113

Efecto de Fallas del Sistema de Frenos- Camionetas

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	1	Pastillas de freno desgastadas	Baja capacidad de frenado
	2	Bajo nivel de líquido de frenos	Pérdida de presión, Entrada de aire al sistema, Pedal de freno esponjoso
	3	Aire en el sistema hidráulico	Frenado deficiente, Mayor recorrido del pedal, Mayor distancia de frenado
	4	Fugas en líneas de freno	Pérdida de eficiencia, Mayor distancia de frenado, accidente
	5	Desgaste excesivo de pastillas	Incremento de distancia
	6	Discos desgastados	Menor fricción, Ruido al frenar, Vibraciones al frenar
	7	Contaminación de pastillas (aceite/polvo)	Pérdida de eficacia
	8	Sobrecarga del vehículo	Mayor inercia, Mayor distancia de frenado, Sobrecalentamiento, Desgaste acelerado de pastillas
B	1	Discos alabeados	Vibración en volante, Sobrecalentamiento, Pulsación en el pedal, Desgaste irregular de pastillas
	2	Desgaste irregular de discos	Vibración, Ruido al frenar, Disminución de eficiencia de frenado
	3	Montaje incorrecto de discos	Inestabilidad, Ruido
	4	Holguras en sistema de frenos	Vibración, Golpeteo o ruido
C	1	Cristalización de pastillas	Ruido al frenar (chirrido), sensación de freno "duro, pero no frena", posible vibración, pérdida de eficiencia de frenado
	2	Desgaste de pastillas	Sonido metálico
	3	Presencia de polvo o suciedad	Ruido

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
	4	Falta de lubricación en componentes	Ruido constante, Freno arrastrando
	1	Desajuste del freno de mano	Freno de estacionamiento ineficiente (no retiene bien)
D	**2**	La ruptura del cable del freno de estacionamiento	Pérdida total del freno de estacionamiento
	3	Desgaste de zapatas internas	Pérdida de sujeción
	4	Mecanismo interno defectuoso	Vehículo no queda asegurado, riesgo de desplazamiento

Nota. Elaboración propia.

Tabla 114

Efecto de Fallas Sistema de Neumáticos- Camionetas

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
	1	Desbalanceo de neumáticos	Vibraciones, operación inestable
A	**2**	Desgaste irregular	Inestabilidad
	3	Daño en neumático	Vibración progresiva
	1	Desalineación de ruedas	Desgaste irregular, reducción de vida útil
	2	Desbalanceo de neumáticos	Vibraciones, operación inestable
B	**3**	Presión incorrecta en neumáticos	Desgaste prematuro de los neumáticos
	4	Suspensión en mal estado	Riesgo de reventón, accidente
	5	Rotación de neumáticos inadecuada	Reducción de la vida útil de las llantas
	6	Sobrecarga del vehículo	Retraso operativo daño a la unidad
	1	Falta de control periódico	Baja presión, operación insegura
	2	Fugas en válvulas	Pérdida de presión, parada del equipo
C	**3**	Pinchaduras pequeñas	Equipo inoperativo
	4	Error en calibración de presión	Desgaste de prematuro del neumático
	5	Instrumentos de medición defectuosos	Falla recurrente
	1	Impacto con piedras	Daño del neumático, riesgo de accidente
D	**2**	Sobrecarga del vehículo	Desgaste prematuro de los neumáticos
	3	Neumáticos no adecuados para mina	Desgaste severo, baja disponibilidad
	4	Baja presión (mayor deformación)	Desgaste prematuro de los neumáticos
	1	Desgaste de la banda de rodadura	Pérdida de tracción, riesgo de accidente
	2	Presión incorrecta	Deslizamiento, operación insegura
E	**3**	Terreno húmedo/barro	Pérdida de control
	4	Sobrecarga	Retraso operativo, desgaste prematuro de neumáticos
	5	Neumáticos no adecuados	Operación defectuosa

Nota. Elaboración propia.

Tabla 115

Efecto de Fallas del Sistema de Estructura-Retroexcavadora

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
	1	Sobrecarga del equipo	Desgaste y fallo prematuro del equipo
	2	Fatiga por operación cíclica	Falla estructural, equipo inoperativo
A	**3**	Impactos en operación (trocha/material)	Daño progresivo, pérdida de producción
	4	Defecto de fabricación o soldadura	Fisuración prematura, pérdida de confiabilidad
	5	Falta de inspección estructural	Falla no detectada, parada no programada
	1	Sobrecarga del equipo	Operación insegura, parada del equipo
B	**2**	Impactos severos	Desalineación, pérdida de productividad
	3	Uso inadecuado del equipo	Daño estructural, reducción de confiabilidad
	4	Diseño estructural deficiente	Falla recurrente, baja confiabilidad
	1	Ciclos repetitivos de carga	Grietas internas, parada del equipo
C	**2**	Sobrecarga continua	Falla estructural, equipo inoperativo
	3	Diseño estructural deficiente	Falla prematura, baja confiabilidad
	1	Exposición a ambiente salino/húmedo	Deterioro estructural, reducción de vida útil
D	**2**	Falta de protección anticorrosiva	Corrosión acelerada, debilitamiento estructural
	3	Acumulación de suciedad	Corrosión localizada, pérdida de material
	4	Falta de inspección	Falla no detectada, parada del equipo
E	**1**	Sobrecarga estructural	Ruptura de soldadura, parada inmediata
	2	Falta de inspección de soldadura	Falla no detectada, pérdida de producción

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
	3	Corrosión en unión soldada	Debilitamiento estructural, riesgo de falla
	1	Falta de torque adecuado	Desajuste, parada del equipo
F	**2**	Fatiga del perno	Riesgo de desprendimiento, equipo inoperativo
	3	Corrosión en pernos	Ruptura del perno, falla estructural

Nota. Elaboración propia.

Tabla 116

Efecto de Fallas del Sistema Hidráulico-Retroexcavadora

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
	1	Fuga de aceite hidráulico	Pérdida de fuerza, baja productividad, posible parada del equipo
	2	Aflojamiento de conexiones hidráulicas	Fugas visibles, pérdida de presión, posible parada del equipo
	3	Daño en mangueras por impacto externo	Fuga severa, equipo inoperativo
A	**4**	Instalación incorrecta de componentes hidráulicos	Fugas recurrentes, operación ineficiente
	5	Defecto de material en componentes hidráulicos	Falla prematura, parada no programada
	6	Desgaste de bomba hidráulica	Operación lenta, baja productividad
	7	Falla en válvulas hidráulicas	Falla del sistema, equipo inoperativo
	8	Presencia de aire en el sistema hidráulico	Movimiento inestable, operación insegura
	9	Filtro hidráulico obstruido	Caída de presión, sobrecarga del sistema
	1	Desgaste interno de la bomba	Pérdida total de potencia hidráulica, equipo inoperativo
	2	Contaminación del fluido hidráulico	Daño interno, parada del equipo
B	**3**	Falta de aceite hidráulico	Sobrecalentamiento, falla crítica
	4	Sobrecarga del sistema hidráulico	Ruptura de bomba, parada inmediata
	5	Defecto de fabricación de la bomba	Falla prematura, baja confiabilidad
	1	Ingreso de polvo o partículas	Desgaste acelerado, reducción de vida útil de componentes
C	**2**	Filtro de aceite obstruido o deficiente	Falla de componentes, parada del equipo
	3	Uso de aceite inadecuado	Pérdida de eficiencia, daño interno del sistema
	4	Ingreso de agua al sistema	Corrosión interna, falla del sistema
	1	Bajo nivel de aceite	Sobrecalentamiento, parada del equipo
	2	Exceso de trabajo continuo	Disminución de eficiencia, desgaste acelerado
D	**3**	Radiador/enfriador obstruido	Temperatura elevada, falla del sistema
	4	Aceite degradado	Pérdida de propiedades lubricantes, daño interno
	5	Diseño deficiente del sistema	Sobrecalentamiento recurrente, baja confiabilidad
	1	Desgaste interno de válvulas	Pérdida de control, operación ineficiente
E	**2**	Contaminación del fluido hidráulico	Bloqueo de válvulas, falla del sistema
	3	Mala calibración de válvulas	Movimiento incorrecto, riesgo operativo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 117

Efecto de Fallas del Sistema de Freno-Retroexcavadora

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
	1	Desgaste de discos de freno multidisco en baño de aceite	Mayor distancia de frenado, alto riesgo de accidente
A	**2**	Sobrecalentamiento del sistema de frenos hidráulicos	Frenado deficiente, pérdida de control
	3	Contaminación del aceite del sistema de frenos	Reducción de eficiencia, pérdida de seguridad
	4	Desajuste del sistema de frenos	Operación insegura, riesgo operativo
	1	Fugas en líneas o conexiones hidráulicas	Pérdida de presión, frenado deficiente
B	**2**	Falta de inspección operativa	Falla no detectada, riesgo de accidente
	3	Sobrecalentamiento del sistema	Pérdida de eficiencia, degradación del aceite

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
	4	Gestión inadecuada del sistema	Bajo rendimiento, operación insegura
	5	Uso de aceite inadecuado	Falla del sistema, pérdida de frenado
	1	Desgaste normal por operación	Reducción progresiva de eficiencia de frenado
	2	Contaminación del aceite con partículas abrasivas	Desgaste acelerado, pérdida de vida útil
C	**3**	Defecto de material en componentes de freno	Falla prematura, bajo desempeño
	4	Sobrecarga operativa del equipo	Desgaste acelerado, pérdida de frenado
	5	Falta de control operativo	Falla progresiva, parada del equipo
	1	Deterioro de mangueras hidráulicas	Pérdida de aceite, frenado deficiente
	2	Desgaste de sellos hidráulicos	Pérdida de presión, falla del sistema
D	**3**	Aflojamiento de conexiones hidráulicas	Fuga de aceite, parada del equipo
	4	Daños en líneas por vibración	Falla progresiva, pérdida de eficiencia
	5	Instalación incorrecta de componentes	Fugas recurrentes, baja confiabilidad
	1	Desgaste del mecanismo	Reducción del par de retención por pérdida de fricción en los discos
E	**2**	Ajuste incorrecto	Disminución de presión de contacto y retención insuficiente
	3	Falla mecánica interna	Pérdida total de la capacidad de inmovilización del sistema
	1	Ingreso de aire por fugas en líneas o conexiones	Pérdida de presión hidráulica efectiva
	2	Bajo nivel de aceite en el sistema	Respuesta retardada del frenado
F	**3**	Mantenimiento inadecuado (purga incorrecta)	Reducción de fuerza de frenado
	4	Fallas en sellos hidráulicos	Frenado inestable
	5	Instalación incorrecta de componentes	Aumento de distancia de frenado

Nota. Elaboración propia.

Tabla 118

Efecto de Fallas del Sistema de Carga-Retroexcavadora

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
	1	Desgaste de dientes por operación	Menor eficiencia de excavación, pérdida de producción
A	**2**	Abrasión por material duro	Desgaste acelerado, mayor consumo
	3	Uso en condiciones severas	Reducción de vida útil
	4	Falta de reemplazo oportuno	Baja productividad, posible parada del equipo
	5	Material inadecuado del cucharón	Falla prematura, baja confiabilidad
	1	Desgaste por fricción	Juego excesivo, operación inestable
	2	Falta de lubricación	Desgaste acelerado, menor vida útil
B	**3**	Contaminación por polvo	Incremento de holguras
	4	Falta de control del sistema	Holguras críticas, parada del equipo
	5	Material de baja calidad	Falla prematura, baja confiabilidad
	1	Desgaste de sellos	Fugas, pérdida de presión
	2	Contaminación del fluido	Daño interno, parada del equipo
C	**3**	Sobrecarga del sistema	Falla del cilindro, equipo inoperativo
	4	Gestión inadecuada del sistema	Pérdida de eficiencia
	5	Defecto de fabricación	Falla prematura
	1	Baja presión hidráulica	Menor capacidad operativa
	2	Desgaste de componentes hidráulicos	Baja eficiencia, pérdida de producción
D	**3**	Sobrecarga del equipo	Operación deficiente, posible parada
	4	Ajuste incorrecto del sistema	Bajo rendimiento
	5	Diseño ineficiente del sistema	Baja productividad
	1	Filtro hidráulico obstruido	Reducción de velocidad
	2	Aceite hidráulico degradado	Respuesta lenta
E	**3**	Aire en el sistema hidráulico	Movimiento irregular
	4	Bomba hidráulica desgastada	Baja presión y caudal
	5	Válvulas de control defectuosas	Operación lenta
F	**1**	Fatiga del material	Riesgo de falla estructural
	2	Sobrecarga operativa	Deformación o ruptura

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
	3	Defecto de soldadura	Inicio de grietas
	4	Impactos durante operación	Daño estructural
	5	Corrosión del material	Pérdida de resistencia
	1	Falla en estabilizadores	Operación insegura
	2	Fugas en cilindros de estabilizadores	Pérdida de estabilidad
G	**3**	Terreno inadecuado	Riesgo de volcamiento
	4	Uso incorrecto del equipo	Desbalance
	5	Desgaste en zapatas de apoyo	Menor adherencia

Nota. Elaboración propia.

Tabla 119

Efecto de Fallas del Sistema de Combustible-Retroexcavadora

		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
A	**1**	Saturación por partículas	Restricción de flujo, pérdida de potencia
	2	Presencia de agua en el combustible	Combustión deficiente, fallas del motor
	3	Falta de reemplazo oportuno	Bajo rendimiento, posible parada del equipo
	4	Filtro de baja eficiencia	Paso de contaminantes, daño en inyectores
B	**1**	Ingreso de agua (condensación/tanque)	Fallas de combustión, pérdida de potencia
	2	Partículas sólidas	Desgaste en bomba e inyectores
	3	Combustible fuera de especificación	Bajo rendimiento, aumento de consumo
	4	Tanque contaminado	Contaminación continua del sistema
	5	Falta de drenaje de agua	Daño progresivo, parada del equipo
C	**1**	Desgaste interno de componentes	Baja presión, pérdida de potencia
	2	Contaminación del combustible	Daño interno, falla prematura
	3	Obstrucción en succión	Interrupción de suministro, parada del motor
D	**1**	Mangueras agrietadas o envejecidas	Pérdida de combustible, riesgo operativo
	2	Conexiones flojas	Fugas y entrada de aire
	3	Sellos deteriorados	Pérdida de presión del sistema
	4	Vibración del equipo	Fugas progresivas
	5	Instalación incorrecta	Fugas recurrentes, baja confiabilidad
E	**1**	Suministro insuficiente de combustible	Pérdida de potencia
	2	Inyectores obstruidos	Combustión incompleta
	3	Baja presión de combustible	Operación ineficiente
	4	Combustible contaminado	Alto consumo, baja eficiencia

Nota. Elaboración propia.

4.8. Paso 7: Evaluar el Riesgo de los Activos

En este paso se evalúa el riesgo de los activos críticos para determinar su nivel de criticidad y priorizar los modos de falla. El riesgo se calcula mediante la severidad (S), ocurrencia (O) y detectabilidad (D), obteniendo el Número de Prioridad de Riesgo, este análisis permite jerarquizar los modos de falla y establecer criterios para la toma de decisiones, orientando la definición de estrategias de mantenimiento basadas en el riesgo.

Tabla 120

Evaluación de Riesgos del Sistema de Combustible-Camión Grúa

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	**1**	Ingreso de partículas sólidas al tanque	5	7	5	175	Alto
	2	Ingreso de agua por condensación	6	2	2	24	Menor
	3	Combustible de mala calidad	5	5	4	100	Alto
	4	Diseño deficiente del sistema de filtrado	2	6	4	48	Medio
B	**1**	Filtro de combustible obstruido	5	8	3	120	Alto
	2	Líneas de combustible bloqueadas	5	4	8	160	Alto
	3	Válvula de paso defectuosa	8	4	7	224	Muy alto
	4	Instalación incorrecta del filtro	2	8	3	48	Medio
C	**1**	Desgaste interno de la bomba	8	4	9	288	Crítico
	2	Falla eléctrica en la bomba	4	3	5	60	Medio
	3	Contaminación interna	5	4	7	140	Alto
D	**1**	Rotura de mangueras	8	6	6	288	Crítico
	2	Fisura en tanque	8	4	8	256	Crítico
	3	Conexiones flojas	2	4	5	40	Medio
	4	Sellos deteriorados	5	3	8	120	Alto
E	**1**	Condensación en tanque	6	2	2	24	Menor
	2	Ingreso de agua en abastecimiento	5	5	5	125	Alto
	3	Separador de agua defectuoso	5	6	4	120	Alto
	4	Falta de drenaje del sistema	6	2	2	24	Menor

Nota. Elaboración propia.

Tabla 121

Evaluación de Riesgos del Sistema de Escape-Camión Grúa

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	**1**	Rotura del tubo	7	4	6	168	Alto
	2	Fisuras en uniones	5	5	5	125	Alto
	3	Abrazaderas sueltas	3	2	2	12	Menor
B	**1**	Silenciador dañado	4	5	4	80	Alto
	2	Desajuste del sistema	2	4	3	24	Menor
	3	Soportes defectuosos	5	4	5	100	Alto
	4	Diseño deficiente	3	3	7	63	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 122

Evaluación de Riesgos del Sistema de Refrigeración-Camión Grúa

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	**1**	Rotura de mangueras	8	5	4	160	Alto
	2	Fisura en radiador	8	4	5	160	Alto
	3	Depósito dañado	8	4	4	128	Alto
	4	Abrazaderas flojas	3	2	2	12	Menor
B	**1**	Termostato defectuoso	4	5	4	80	Alto
	2	Bomba dañada	6	4	5	120	Alto
	3	Sensor defectuoso	3	5	6	90	Alto
	4	Ventilador defectuoso	5	4	5	100	Alto
C	**1**	Bajo nivel de refrigerante	8	2	2	32	Medio
	2	Radiador obstruido	6	5	5	150	Alto
	3	Falla de ventilación	8	3	6	144	Alto
	4	Refrigerante inadecuado	4	4	6	96	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 123

Evaluación de Riesgos del Sistema de Freno -Camión Grúa

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	**1**	Desgaste de zapatas	8	6	7	336	Muy crítico
	2	Tambores defectuosos	6	4	5	120	Alto
	3	Contaminación con aceite	5	4	3	60	Medio
	4	Ajuste incorrecto	3	4	3	36	Medio
B	**1**	Mangueras deterioradas	6	5	4	120	Alto
	2	Conexiones defectuosas	4	2	2	16	Menor
	3	Válvulas con fugas	5	4	5	100	Alto
	4	Tanque fisurado	7	3	6	126	Alto
C	**1**	Compresor dañado	7	4	5	140	Alto
	2	Falta de lubricación	3	2	6	36	Medio
D	**1**	Uso prolongado	4	6	3	72	Alto
	2	Material inadecuado	5	4	5	100	Alto
	3	Sobrecarga	6	4	5	120	Alto
	4	Falta de mantenimiento	5	5	6	150	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 124

Evaluación de Riesgos del Sistema Eléctrico-Camión Grúa

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	**1**	Interrupción del suministro	6	4	4	96	Alto
	2	Fusible averiado	2	5	4	40	Medio
	3	Relé defectuoso	4	5	4	80	Alto
	4	Alternador defectuoso	6	4	5	120	Alto
B	**1**	Cortocircuito	7	3	6	126	Alto
	2	Circuito abierto	6	5	4	120	Alto
	3	Cable deteriorado	6	4	4	96	Alto
	4	Conexión floja	3	2	2	12	Menor
C	**1**	Residuos acumulados	2	9	1	18	Menor
	2	Falta de mantenimiento	4	5	5	100	Alto
	3	Conexión deficiente	4	5	4	80	Alto
D	**1**	Fin de vida útil	4	3	4	48	Medio
	2	Alternador defectuoso	6	2	8	96	Alto
	3	Consumo parasitario	4	5	6	120	Alto
	4	Uso sin recarga	3	2	2	12	Menor

Nota. Elaboración propia.

Tabla 125

Evaluación de Riesgos del Sistema de Grúa-Camión Grúa

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	**1**	Rotura de mangueras	7	5	5	175	Alto
	2	Sellos deteriorados	8	4	5	160	Alto
	3	Conexiones flojas	4	7	6	168	Alto
	4	Fisuras en cilindros	8	2	6	96	Alto
B	**1**	Fatiga del material	8	3	10	240	Muy alto
	2	Sobrepresión	7	4	7	196	Muy alto
	3	Instalación incorrecta	4	5	4	80	Alto
	4	Material inadecuado	5	5	5	125	Alto
C	**1**	Desgaste de bomba	8	2	9	144	Alto
	2	Contaminación del aceite	5	6	5	150	Alto
	3	Filtro obstruido	4	6	4	96	Alto
	4	Aire en el sistema	5	5	5	125	Alto
D	**1**	Fuga en cilindros	8	2	7	112	Alto
	2	Mal posicionamiento	4	9	4	144	Alto
	3	Diseño insuficiente	7	3	8	168	Alto

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
E	1	Aire en sistema	5	5	5	125	Alto
	2	Bajo nivel de aceite	4	2	2	16	Menor
	3	Pérdida de señal control remoto	5	9	3	135	Alto
F	1	Pérdida de señal	5	10	1	50	Medio
	2	Batería descargada	6	6	4	144	Alto
	3	Botones o joystick defectuosos	8	3	6	144	Alto
	4	Fallo en receptor de la grúa	8	4	5	160	Alto
	5	Daño en cableado interno	8	6	6	288	Crítico
	6	Desconfiguración del sistema	5	9	3	135	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 126

Evaluación de Riesgos del Sistema de Admisión-Montacargas

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	1	Filtro de aire saturado por polvo	4	9	2	72	Alto
	2	Intervalo de mantenimiento inadecuado	5	6	5	150	Alto
	3	Instalación incorrecta del filtro	4	9	2	72	Alto
B	1	Filtro de aire dañado	4	9	2	72	Alto
	2	Mantenimiento deficiente	5	6	5	150	Alto
	3	Operación en ambiente altamente polvoriento	6	9	2	108	Alto
C	1	Instalación incorrecta de componentes	3	9	2	54	Medio
	2	Abrazaderas flojas	2	8	2	32	Medio
	3	Diseño deficiente de conexiones	5	4	7	140	Alto
D	1	Filtro de aire obstruido	4	9	2	72	Alto
	2	Ductos deformados	4	9	2	72	Alto
	3	Instalación incorrecta del sistema	4	9	2	72	Alto
	4	Acumulación de contaminantes	5	8	2	80	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 127

Evaluación de Riesgos del Sistema de Frenos-Montacargas

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	1	Desgaste de pastillas/zapatas	8	8	4	256	Crítico
	2	Contaminación de superficies de fricción	4	9	3	108	Alto
	3	Uso inadecuado del freno	8	7	7	392	Muy crítico
	4	Diseño insuficiente para carga de trabajo	8	8	4	256	Crítico
B	1	Fugas en líneas hidráulicas	8	4	6	192	Muy alto
	2	Aire en el sistema hidráulico	4	7	6	168	Alto
	3	Mantenimiento inadecuado	8	6	5	240	Muy alto
C	1	Desgaste del mecanismo	6	3	5	90	Alto
	2	Desajuste del sistema	6	3	4	72	Alto
	3	Ruptura de cables o actuadores	8	3	3	72	Alto
	4	Uso indebido del freno de estacionamiento	8	7	5	280	Crítico
	5	Diseño débil del sistema	8	6	5	240	Muy alto
D	1	Aire en el circuito hidráulico	9	3	6	162	Alto
	2	Fluido de frenos degradado	8	8	2	128	Alto
	3	Obstrucción en líneas hidráulicas	6	8	6	288	Crítico
E	1	Uso continuo en condiciones severas	5	8	6	240	Muy alto
	2	Material de baja calidad	6	4	7	168	Alto
	3	Falta de inspección periódica	8	2	4	64	Alto
	4	Sobrecarga del equipo	8	6	4	192	Muy alto
	5	Contaminación con polvo/mineral	4	8	4	128	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 128

Evaluación de Riesgos del Sistema de Carga-Montacargas

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	**1**	Nivel bajo de aceite hidráulico	5	8	4	160	Alto
	2	Fugas en sist. hidráulico -desgaste de sellos	8	2	4	64	Alto
	3	Sobrecarga del equipo fuera de capacidad nominal	8	6	6	288	Crítico
B	**1**	Desgaste de cadenas de elevación	8	2	1	16	Menor
	2	Falta de lubricación en mástil	8	2	3	48	Medio
	3	Mala distribución de carga por operación incorrecta	5	9	2	90	Alto
C	**1**	Acumulación de suciedad en guías	8	9	1	72	Alto
	2	Falta de lubricación en guías	8	9	1	72	Alto
	3	Desgaste de polea del mástil	8	7	5	280	Crítico
D	**1**	Acumulación de residuos en guías	5	8	3	120	Alto
	2	Desgaste de poleas	8	7	5	280	Crítico
	3	Falta de mantenimiento preventivo	5	8	3	120	Alto
E	**1**	Uso continuo en operación severa	5	8	6	240	Muy alto
	2	Lubricación inadecuada	5	8	3	120	Alto
	3	Contaminación por polvo abrasivo	4	9	1	36	Medio

Nota. Elaboración propia.

Tabla 129

Evaluación de Riesgos del Sistema de Lubricación-Montacargas

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	**1**	Bajo nivel de aceite	1	10	2	20	Menor
	2	Fugas en sistema de lubricación	6	8	3	144	Alto
	3	Falta de reposición de lubricante	4	8	3	96	Alto
B	**1**	Ingreso de partículas (polvo/mineral)	4	9	4	144	Alto
	2	Contaminación con agua	4	9	4	144	Alto
	3	Filtro de aceite obstruido o dañado	2	9	4	72	Alto
	4	Manejo inadecuado del lubricante	4	7	4	112	Alto
	5	Diseño deficiente del sistema de filtrado	4	5	4	80	Alto
C	**1**	Degradación térmica del aceite	4	7	4	112	Alto
	2	Selección incorrecta de lubricante	4	7	4	112	Alto
D	**1**	Falta de lubricación	1	10	2	20	Menor
	2	Contaminación del lubricante	5	9	4	180	Alto
	3	Frecuencia de mantenimiento inadecuada	5	9	4	180	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 130

Evaluación de Riesgos del Sistema de Airea A/C-Montacargas

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	**1**	Compresor defectuoso o averiado	8	3	8	192	Muy alto
	2	Fuga de refrigerante	4	6	5	120	Alto
B	**1**	Filtro de cabina obstruido	4	8	4	128	Alto
	2	Condensador sucio	5	8	6	240	Muy alto
	3	Mantenimiento inadecuado	6	6	6	216	Muy alto
	4	Filtro de baja calidad	4	8	4	128	Alto
C	**1**	Filtro saturado	4	9	3	108	Alto
	2	Error en operación del sistema	1	8	3	24	Menor

Nota. Elaboración propia.

Tabla 131

Evaluación de Riesgos del Sistema de Combustible-Montacargas

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	**1**	Filtro de combustible obstruido	4	8	4	128	Alto
	2	Bomba de combustible defectuosa	8	2	8	128	Alto
	3	Nivel bajo de combustible	3	9	1	27	Menor
B	**1**	Ingreso de partículas (polvo/sedimentos)	4	8	4	128	Alto
	2	Abastecimiento de combustible errado	8	4	4	128	Alto
	3	Filtro de combustible dañado	4	5	4	80	Alto
	4	Filtro inadecuado	4	8	4	128	Alto
C	**1**	Inyectores obstruidos	8	4	7	224	Muy alto
	2	Contaminación del sistema	6	8	6	288	Crítico
D	**1**	Aire en el sistema de combustible	8	6	5	240	Muy alto
	2	Obstrucción total del sistema	9	6	5	270	Crítico
E	**1**	Condensación en tanque	8	7	6	336	Muy crítico
	2	Mala calidad de combustible	7	6	6	252	Muy alto
	3	Falta de drenaje del separador	3	9	1	27	Menor
	4	Filtro separador defectuoso	6	7	6	252	Muy alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 132

Evaluación de Riesgos del Sistema de Transmisión-Montacargas

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	**1**	Nivel bajo de aceite de transmisión	7	6	4	168	Alto
	2	Falta de mantenimiento	5	9	4	180	Alto
B	**1**	Placa de embrague pegada o se arrastra	8	2	6	96	Alto
	2	Pistón de embrague dañado	8	3	7	168	Alto
C	**1**	Mal funcionamiento de válvula de control	5	3	9	135	Alto
	2	Uso de aceite inapropiado	5	7	5	175	Alto
	3	Filtro de aceite obstruido	4	9	4	144	Alto
D	**1**	Deterioro de sellos	6	7	6	252	Muy alto
	2	Instalación incorrecta	6	5	6	180	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 133

Evaluación de Riesgos del Sistema Eléctrico-Montacargas

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	**1**	Batería descargada	5	7	4	140	Alto
	2	Terminales sulfatados o flojos	2	7	3	42	Medio
	3	Cableado dañado o cortado	5	4	2	40	Medio
	4	Error en desconexión de batería	2	5	3	30	Menor
	5	Diseño deficiente de baterías	4	3	3	36	Medio
B	**1**	Alternador defectuoso	8	4	5	160	Alto
	2	Correa del alternador desgastada o rota	8	4	5	160	Alto
	3	Falta de mantenimiento	6	6	6	216	Muy alto
	4	Diseño inadecuado del sistema de carga	4	4	4	64	Alto
C	**1**	Motor de arranque defectuoso	8	3	6	144	Alto
	2	Solenoide de arranque dañado	8	3	6	144	Alto
	3	Error de operación	3	7	4	84	Alto
	4	Diseño deficiente del circuito de arranque	4	8	4	128	Alto
D	**1**	Cámara de retroceso defectuosa	8	7	2	112	Alto
	2	Cámara de retroceso sucia	1	10	1	10	Menor
	3	Cableado de cámara dañado	8	8	3	192	Muy alto
	4	Mal uso o desconexión del sistema	8	7	2	112	Alto
	5	Diseño malo del sistema de monitoreo	2	7	4	56	Medio
E	**1**	Lámparas quemadas	3	9	2	54	Medio
	2	Fusibles de iluminación dañados	3	9	2	54	Medio
	3	Cableado defectuoso	8	7	3	168	Alto
	4	Operación sin inspección previa	1	10	1	10	Menor

Nota. Elaboración propia.

Tabla 134

Evaluación de Riesgos del Sistema de Carrocería- Combis

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	1	Acumulación de humedad, barro y polvo en zonas críticas	3	9	1	27	Menor
	2	Falta de aplicación de recubrimiento anticorrosivo	5	8	4	160	Alto
	3	Daño previo en pintura que deja metal expuesto	4	8	4	128	Alto
	4	Lavado inadecuado (no eliminación de sales)	3	9	1	27	Menor
	5	Diseño con zonas de retención de agua	3	9	2	54	Medio
B	1	Deformación por tránsito en trocha irregular	3	9	4	108	Alto
	2	Impactos leves (piedras, maniobras)	2	9	3	54	Medio
	3	Bisagras desgastadas	3	9	4	108	Alto
C	1	Ingreso de polvo que genera abrasión	1	9	3	27	Menor
	2	Falta de lubricación	1	9	3	27	Menor
	3	Desalineación de puerta	4	8	3	96	Alto
	4	Rotura de manijas por uso brusco	6	7	4	168	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 135

Evaluación de Riesgos del Sistema de Dirección- Combis

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	1	Bajo nivel de fluido hidráulico	3	7	2	42	Medio
	2	Bomba de dirección defectuosa	6	7	2	84	Alto
	3	Uso de fluido incorrecto	6	7	2	84	Alto
	4	Contaminación del fluido (polvo/partículas)	6	7	2	84	Alto
B	1	Alineamiento de la dirección	4	8	3	96	Alto
	2	Presión incorrecta en neumáticos	2	7	2	28	Menor
	3	Desgaste irregular de neumáticos	3	7	3	63	Alto
	4	Holguras en suspensión/dirección	4	7	4	112	Alto
	5	Impactos en trocha (golpes)	5	9	4	180	Alto
C	1	Desgaste de terminales de dirección	5	7	4	140	Alto
	2	Desgaste de cremallera	8	7	4	224	Muy alto
	3	Desgaste de rótulas	5	7	4	140	Alto
	4	Falta de lubricación	4	7	4	112	Alto
	5	Montaje incorrecto de componentes	4	7	3	84	Alto
D	1	Mangueras deterioradas o fisuradas	6	7	4	168	Alto
	2	Sellos desgastados	4	7	6	168	Alto
	3	Vibraciones constantes	4	8	5	160	Alto
	4	Instalación incorrecta	5	7	4	140	Alto
E	1	Bomba defectuosa	8	3	6	144	Alto
	2	Cremallera defectuosa	8	4	6	192	Muy alto
	3	Bieleta defectuosa	8	4	6	192	Muy alto
	4	Mala selección de elemento	8	5	3	120	Alto
	5	Insuficiente cantidad de aceite hidráulico de dirección	4	7	3	84	Alto
	6	Mala operación del vehículo	5	7	4	140	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 136

Evaluación de Riesgos del Sistema de Suspensión- Combis

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	1	Operación continua en trocha (vibración constante)	5	9	5	225	Muy alto
	2	Contaminación por polvo y barro	2	9	1	18	Menor
	3	Sobrecarga del vehículo	5	9	4	180	Alto
	4	Uso prolongado sin reemplazo	5	9	4	180	Alto
	5	Amortiguadores de baja calidad	5	9	4	180	Alto
B	1	Desgaste de bujes por vibración	8	4	6	192	Muy alto
	2	Falta de lubricación	3	7	4	84	Alto
	3	Ingreso de polvo y agua	2	9	1	18	Menor
	4	Instalación incorrecta	5	7	3	105	Alto
	5	Material inadecuado	5	9	4	180	Alto
C	1	Amortiguadores deteriorados	5	5	5	125	Alto
	2	Resortes fatigados	5	6	4	120	Alto
	3	Selección incorrecta de componentes	4	6	4	96	Alto
	4	Presión incorrecta en neumáticos	2	7	2	28	Menor
D	1	Desgaste general del sistema de suspensión	6	7	4	168	Alto
	2	Sobrecarga o mala distribución de carga	5	9	4	180	Alto
	3	Operación en terreno irregular	3	8	4	96	Alto
E	1	Bujes desgastados	8	4	6	192	Muy alto
	2	Bieletas sueltas o dañadas	8	4	6	192	Muy alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 137

Evaluación de Riesgos del Sistema de Freno- Combis

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	1	Desgaste excesivo de pastillas/zapatas	7	8	3	168	Alto
	2	Presencia de aire en el sistema	4	7	2	56	Medio
	3	Fugas en circuito hidráulico	7	9	4	252	Muy alto
	4	Discos o tambores desgastados	7	7	6	294	Crítico
	5	Contaminación del sistema (polvo/aceite)	3	10	1	30	Menor
	6	Sobrecarga del vehículo	6	9	3	162	Alto
	7	Uso continuo en pendientes (mina)	7	10	3	210	Muy alto
B	1	Fugas en líneas o mangueras	7	7	3	147	Alto
	2	Desgaste de pastillas (mayor consumo de fluido)	6	8	3	144	Alto
	3	Falta de inspección	2	8	2	32	Medio
	4	Evaporación por sobrecalentamiento	5	8	3	120	Alto
	5	Mantenimiento deficiente	6	9	4	216	Muy alto
C	1	Uso intensivo en rutas mineras	7	7	6	294	Crítico
	2	Presencia de polvo abrasivo	3	10	1	30	Menor
	3	Mala calidad del material	5	8	3	120	Alto
	4	Sobrecarga del vehículo	6	9	3	162	Alto
	5	Mala conducción (frenado brusco)	7	10	3	210	Muy alto
D	1	Uso continuo de frenos en bajadas	7	7	6	294	Crítico
	2	Sobrecarga del vehículo	6	9	3	162	Alto
	5	Conducción agresiva	8	7	5	280	Crítico
F	1	La ruptura del cable del freno de estacionamiento	5	5	3	75	Alto
	2	Mala regulación del sistema	3	7	3	63	Alto
	3	Mecanismo trabado por suciedad	4	6	4	96	Alto
	4	Uso incorrecto (mal accionamiento)	5	8	4	160	Alto
G	1	Discos deformados	5	6	3	90	Alto
	2	Desgaste irregular de pastillas	4	7	4	112	Alto
	3	Montaje incorrecto de componentes	3	7	3	63	Alto
H	1	Fuga de vacío en sistema	8	6	6	288	Crítico
	2	Daño en diafragma del booster	8	6	6	288	Crítico
	3	Instalación incorrecta	4	7	3	84	Alto
	4	Falta de mantenimiento	5	6	3	90	Alto
	5	Defecto de fabricación	5	6	3	90	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 138

Evaluación de Riesgos del Sistema de Eléctrico- Combis

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	1	Motor de arranque defectuoso	8	3	6	144	Alto
	2	Solenoide dañado	8	3	6	144	Alto
	3	Batería sin carga	4	7	2	56	Medio
	4	Conexiones flojas o sulfatadas	4	7	4	112	Alto
	5	Interruptor de encendido defectuoso	8	3	6	144	Alto
B	1	Vida útil agotada	4	4	4	64	Alto
	2	Fallo del alternador (no carga)	5	3	7	105	Alto
	3	Bornes sulfatados	3	8	1	24	Menor
	4	Parasitaje eléctrico (consumos ocultos)	6	7	4	168	Alto
C	1	Bombillas quemadas	3	9	6	162	Alto
	2	Fusibles dañados	3	9	6	162	Alto
	3	Cableado deteriorado	5	7	6	210	Muy alto
	4	Interruptores defectuosos	3	8	1	24	Menor
	5	Conectores sulfatados	3	8	1	24	Menor
	6	Instalación incorrecta	5	8	2	80	Alto
D	1	Conectores flojos	3	9	3	81	Alto
	2	Sulfatación por humedad	3	8	1	24	Menor
	4	Cableado dañado	5	7	6	210	Muy alto
	5	Mala instalación eléctrica	5	8	2	80	Alto
	6	Diseño deficiente del sistema	5	7	4	140	Alto
E	1	Contaminación por polvo	2	7	1	14	Menor
	2	Fallo interno del sensor	4	5	7	140	Alto
	3	Daño por humedad	4	5	7	140	Alto
	4	Diseño sensible a condiciones severas	3	5	6	90	Alto
F	1	Desgaste de escobillas	5	4	7	140	Alto
	2	Correa floja o rota	4	6	6	144	Alto
	3	Ingreso de polvo al alternador	3	7	4	84	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 139

Evaluación de Riesgos del Sistema de Neumáticos- Combis

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	1	Desalineación de ruedas	4	8	3	96	Alto
	2	Desbalanceo de neumáticos	4	8	3	96	Alto
	3	Presión incorrecta en neumáticos	2	7	2	28	Menor
	4	Suspensión en mal estado	5	6	6	180	Alto
	5	Rotación de neumáticos inadecuada	3	7	6	126	Alto
	6	Sobrecarga del vehículo	3	9	6	162	Alto
B	1	Falta de control periódico	2	7	2	28	Menor
	2	Fugas en válvulas	2	7	2	28	Menor
	3	Pinchaduras pequeñas	3	9	6	162	Alto
	4	Error en calibración de presión	2	7	2	28	Menor
	5	Instrumentos de medición defectuosos	2	10	2	40	Medio
C	1	Impacto con piedras	8	7	5	280	Crítico
	2	Sobrecarga del vehículo	3	9	6	162	Alto
	3	Neumáticos no adecuados para mina	4	7	6	168	Alto
	4	Baja presión (mayor deformación)	2	7	2	28	Menor
D	1	Desgaste de la banda de rodadura	4	7	6	168	Alto
	2	Presión incorrecta	2	7	2	28	Menor
	3	Terreno húmedo/barro	6	9	2	108	Alto
	4	Sobrecarga	3	9	6	162	Alto
	5	Neumáticos no adecuados	4	7	6	168	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 140

Evaluación de Riesgos del Sistema de Refrigeración- Combis

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	1	Bajo nivel de refrigerante	3	10	1	30	Menor
	2	Radiador obstruido por polvo	3	10	1	30	Menor
	3	Falla de termostato	6	5	7	210	Muy alto
	4	Falla de bomba de agua	6	5	7	210	Muy alto
	5	Fugas en el sistema	5	7	4	140	Alto
	6	Ventilador defectuoso	2	3	4	24	Menor
B	1	Fugas en mangueras	6	7	6	252	Muy alto
	2	Fugas en radiador	6	7	4	168	Alto
	3	Fugas en bomba de agua	6	5	7	210	Muy alto
	4	Evaporación por sobrecalentamiento	5	7	4	140	Alto
	5	Falta de inspección	2	3	4	24	Menor
	6	Mal llenado del sistema	2	3	4	24	Menor
C	1	Acumulación de polvo (mina)	3	10	1	30	Menor
	2	Operación en ambientes polvorientos	2	3	4	24	Menor
	3	Aletas dañadas	4	7	6	168	Alto
	4	Protección inadecuada del radiador	2	7	6	84	Alto
D	1	Termostato trabado cerrado	6	5	7	210	Muy alto
	2	Uso de repuestos de baja calidad	5	7	4	140	Alto
	3	Fatiga del componente	4	7	6	168	Alto
E	1	Uso refrigerante inadecuado	8	7	4	224	Muy alto
	2	Falta de cambio de refrigerante	5	6	6	180	Alto
	4	Contaminación del sistema	8	7	4	224	Muy alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 141

Evaluación de Riesgos del Sistema de Lubricación- Camionetas

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	1	Desgaste de anillos de pistón	8	4	6	192	Muy alto
	2	Desgaste de guías de válvula	8	4	6	192	Muy alto
	3	Fuga en retenes de válvulas	8	4	6	192	Muy alto
	4	Sobrellenado de aceite	4	7	3	84	Alto
B	1	Filtro de aceite saturado	5	6	4	120	Alto
	2	Contaminación por polvo	5	5	5	125	Alto
	3	Uso de aceite inadecuado	6	5	5	150	Alto
	4	Ingreso de partículas metálicas	7	5	6	210	Muy alto
C	1	Quema de aceite en cámara	6	6	4	144	Alto
	2	Fallo en sellos de válvulas	6	6	6	216	Muy alto
	3	Desgaste de cilindros	7	6	6	252	Muy alto
D	1	Fuga en tapa de cárter	6	5	6	180	Alto
	2	Fuga en junta del cárter	6	5	5	150	Alto
	3	Fuga en retenes del cigüeñal	8	4	6	192	Muy alto
	4	Fuga en filtro de aceite mal ajustado	5	5	5	125	Alto
	5	Tapón de drenaje flojo o dañado	6	2	2	24	Menor
E	1	Intervalos prolongados de cambio	6	6	5	180	Alto
	2	Sobrecalentamiento del motor	3	9	1	27	Menor
	3	Contaminación por combustible	6	5	6	180	Alto
	4	Mezcla con agua	7	4	6	168	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 142

Evaluación de Riesgos del Sistema de Admisión- Camionetas

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
	1	Filtro de aire obstruido por polvo	3	9	1	27	Menor
	2	Sensor MAF sucio o defectuoso	6	5	5	150	Alto
A	**3**	Fugas en mangueras de admisión	6	4	5	120	Alto
	4	Turbo compresor desgastado	6	5	5	150	Alto
	5	Intercooler obstruido o dañado	6	4	6	144	Alto
	1	Filtro de aire saturado	6	6	4	144	Alto
B	**2**	Sensor MAF contaminado	6	5	5	150	Alto
	3	Fallo en turbo (baja presión)	7	4	5	140	Alto
	1	Sensor MAF defectuoso	6	5	6	180	Alto
C	**2**	Filtro de aire obstruido	6	6	4	144	Alto
	3	Turbo ineficiente	7	5	5	175	Alto
	1	Filtro de aire saturado por polvo	3	9	1	27	Menor
D	**2**	Conductos de aire obstruidos	3	9	2	54	Medio
	3	Caja de filtro mal sellada	3	9	2	54	Medio
	1	Fugas en líneas del turbo	8	6	4	192	Muy alto
E	**2**	Intercooler fisurado	8	6	4	192	Muy alto
	3	Turbo ineficiente	7	5	5	175	Alto
	1	Sensor MAF defectuoso	6	5	6	180	Alto
F	**2**	Filtro de aire obstruido	3	9	1	27	Menor
	3	Fallo en turbo (baja presión)	7	4	5	140	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 143

Evaluación de Riesgos del Sistema de Dirección- Camionetas

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
	1	Bajo nivel de fluido de dirección hidráulica	5	4	1	20	Menor
A	**2**	Bomba de dirección defectuosa	6	4	5	120	Alto
	3	Falla en la cremallera de dirección	6	4	6	144	Alto
	4	Correa de dirección electro asistida rota	8	3	6	144	Alto
	1	Desalineamiento de ruedas	5	8	3	120	Alto
B	**2**	Desgaste de terminales de dirección	8	4	6	192	Muy alto
	3	Bieletas desgastadas o dañadas	8	4	6	192	Muy alto
	4	Holgura en sistema de suspensión	8	7	4	224	Muy alto
	1	Desalineación	5	8	3	120	Alto
C	**2**	Presión desigual en neumáticos	3	8	1	24	Menor
	3	Desgaste irregular de neumáticos	3	8	1	24	Menor
	4	Freno arrastrando en una rueda	5	8	4	160	Alto
	1	Falta de lubricación en componentes	6	7	4	168	Alto
D	**2**	Desgaste en cremallera	6	6	6	216	Muy alto
	3	Bujes deteriorados	6	7	6	252	Muy alto
	4	Terminales sueltos	6	7	6	252	Muy alto
	1	Desbalanceo de ruedas	5	8	3	120	Alto
E	**2**	Desalineación	5	8	3	120	Alto
	3	Daño en neumáticos	6	9	1	54	Medio
	4	Holguras en dirección	6	7	6	252	Muy alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 144

Evaluación de Riesgos del Sistema de Suspensión- Camionetas

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	**1**	Amortiguadores desgastados	8	6	6	288	Crítico
	2	Fugas de aceite en amortiguador	8	6	6	288	Crítico
	3	Fatiga de muelles	8	6	6	288	Crítico
	4	Sobrecarga constante	5	9	2	90	Alto
B	**1**	Bujes desgastados	8	6	4	192	Muy alto
	2	Bieletas dañadas o dobladas	8	6	6	288	Crítico
	3	Holguras en suspensión	4	7	4	112	Alto
	4	Soportes sueltos	4	6	4	96	Alto
C	**1**	Amortiguadores desgastados	8	6	6	288	Crítico
	2	Fallo en barra estabilizadora	2	4	3	24	Menor
	3	Desalineación	5	8	3	120	Alto
D	**1**	Amortiguadores desgastados	8	6	6	288	Crítico
	2	Desbalanceo de ruedas	5	8	3	120	Alto
	3	Daño en rodamientos de rueda	8	5	6	240	Muy alto
E	**1**	Desalineación	5	8	3	120	Alto
	2	Amortiguadores desgastados	8	6	6	288	Crítico
	3	Presión desigual en neumáticos	3	8	1	24	Menor
	4	Fallas en suspensión (bujes, bieletas)	4	9	3	108	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 145

Evaluación de Riesgos del Sistema de Frenos- Camionetas

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	**1**	Pastillas de freno desgastadas	5	8	4	160	Alto
	2	Bajo nivel de líquido de frenos	5	8	3	120	Alto
	3	Aire en el sistema hidráulico	5	8	4	160	Alto
	4	Fugas en líneas de freno	8	8	4	256	Crítico
	5	Desgaste excesivo de pastillas	4	8	3	96	Alto
	6	Discos desgastados	4	7	4	112	Alto
	7	Contaminación de pastillas (aceite/polvo)	4	9	2	72	Alto
	8	Sobrecarga del vehículo	4	10	3	120	Alto
B	**1**	Discos alabeados	6	6	6	216	Muy alto
	2	Desgaste irregular de discos	5	6	6	180	Alto
	3	Montaje incorrecto de discos	5	9	4	180	Alto
	4	Holguras en sistema de frenos	5	9	3	135	Alto
C	**1**	Cristalización de pastillas	5	8	6	240	Muy alto
	2	Desgaste de pastillas	5	8	6	240	Muy alto
	3	Presencia de polvo o suciedad	3	10	3	90	Alto
	4	Falta de lubricación en componentes	3	7	4	84	Alto
D	**1**	Desajuste del freno de mano	5	7	1	35	Medio
	2	La ruptura del cable del freno de estacionamiento	5	4	6	120	Alto
	3	Desgaste de zapatas internas	5	8	4	160	Alto
	4	Mecanismo interno defectuoso	5	4	6	120	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 146

Evaluación de Riesgos del Sistema de Neumáticos- Camionetas

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	1	Desbalanceo de neumáticos	4	8	3	96	Alto
	2	Desgaste irregular	3	8	2	48	Medio
	3	Daño en neumático	3	8	2	48	Medio
B	1	Desalineación de ruedas	4	8	3	96	Alto
	2	Desbalanceo de neumáticos	4	8	3	96	Alto
	3	Presión incorrecta en neumáticos	2	7	2	28	Menor
	4	Suspensión en mal estado	5	6	6	180	Alto
	5	Rotación de neumáticos inadecuada	3	7	6	126	Alto
	6	Sobrecarga del vehículo	3	9	6	162	Alto
C	1	Falta de control periódico	2	7	2	28	Menor
	2	Fugas en válvulas	2	7	2	28	Menor
	3	Pinchaduras pequeñas	3	9	6	162	Alto
	4	Error en calibración de presión	2	7	2	28	Menor
	5	Instrumentos de medición defectuosos	2	10	2	40	Medio
D	1	Impacto con piedras	8	7	5	280	Crítico
	2	Sobrecarga del vehículo	3	9	6	162	Alto
	3	Neumáticos no adecuados para mina	4	7	6	168	Alto
	4	Baja presión (mayor deformación)	2	7	2	28	Menor
E	1	Desgaste de la banda de rodadura	4	7	6	168	Alto
	2	Presión incorrecta	2	7	2	28	Menor
	3	Terreno húmedo/barro	6	9	2	108	Alto
	4	Sobrecarga	3	9	6	162	Alto
	5	Neumáticos no adecuados	4	7	6	168	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 147

Evaluación de Riesgos del Sistema de Estructura-Retroexcavadora

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	1	Sobrecarga del equipo	8	2	2	32	Medio
	2	Fatiga por operación cíclica	7	6	5	210	Muy alto
	3	Impactos en operación (trocha/material)	6	6	5	180	Alto
	4	Defecto de fabricación o soldadura	6	3	6	108	Alto
	5	Falta de inspección estructural	7	4	7	196	Muy alto
B	1	Sobrecarga del equipo	6	9	2	108	Alto
	2	Impactos severos	8	6	6	288	Crítico
	3	Uso inadecuado del equipo	8	9	6	432	Muy crítico
	4	Diseño estructural deficiente	8	6	4	192	Muy alto
C	1	Ciclos repetitivos de carga	8	7	4	224	Muy alto
	2	Sobrecarga continua	6	9	2	108	Alto
	3	Diseño estructural deficiente	8	6	4	192	Muy alto
D	1	Exposición a ambiente salino/húmedo	4	7	1	28	Menor
	2	Falta de protección anticorrosiva	4	7	2	56	Medio
	3	Acumulación de suciedad	4	7	2	56	Medio
	4	Falta de inspección	3	10	1	30	Menor
E	1	Sobrecarga estructural	6	9	2	108	Alto
	2	Falta de inspección de soldadura	8	5	4	160	Alto
	3	Corrosión en unión soldada	5	5	5	125	Alto
F	1	Falta de torque adecuado	3	7	4	84	Alto
	2	Fatiga del perno	3	7	4	84	Alto
	3	Corrosión en pernos	3	7	4	84	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 148

Evaluación de Riesgos del Sistema Hidráulico-Retroexcavadora

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	1	Fuga de aceite hidráulico	8	7	6	336	Muy crítico
	2	Aflojamiento de conexiones hidráulicas	5	9	4	180	Alto
	3	Daño en mangueras por impacto externo	8	6	6	288	Crítico
	4	Instalación incorrecta de componentes hidráulicos	5	7	3	105	Alto
	5	Defecto de material en componentes hidráulicos	4	7	4	112	Alto
	6	Desgaste de bomba hidráulica	8	4	6	192	Muy alto
	7	Falla en válvulas hidráulicas	8	4	6	192	Muy alto
	8	Presencia de aire en el sistema hidráulico	4	9	3	108	Alto
	9	Filtro hidráulico obstruido	4	9	3	108	Alto
B	1	Desgaste interno de la bomba	8	3	6	144	Alto
	2	Contaminación del fluido hidráulico	5	7	6	210	Muy alto
	3	Falta de aceite hidráulico	3	8	1	24	Menor
	4	Sobrecarga del sistema hidráulico	8	3	6	144	Alto
	5	Defecto de fabricación de la bomba	5	7	3	105	Alto
C	1	Ingreso de polvo o partículas	3	9	1	27	Menor
	2	Filtro de aceite obstruido o deficiente	5	9	4	180	Alto
	3	Uso de aceite inadecuado	5	7	4	140	Alto
	4	Ingreso de agua al sistema	4	7	4	112	Alto
D	1	Bajo nivel de aceite	3	8	1	24	Menor
	2	Exceso de trabajo continuo	3	10	3	90	Alto
	3	Radiador/enfriador obstruido	3	9	2	54	Medio
	4	Aceite degradado	5	9	4	180	Alto
	5	Diseño deficiente del sistema	3	3	7	63	Alto
E	1	Desgaste interno de válvulas	6	2	2	24	Menor
	2	Contaminación del fluido hidráulico	7	5	5	175	Alto
	3	Mala calibración de válvulas	6	4	5	120	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 149

Evaluación de Riesgos del Sistema de Freno-Retroexcavadora

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	1	Desgaste de discos de freno multidisco en baño de aceite	8	3	6	144	Alto
	2	Sobrecalentamiento del sistema de frenos hidráulicos	5	7	6	210	Muy alto
	3	Contaminación del aceite del sistema de frenos	5	7	6	210	Muy alto
	4	Desajuste del sistema de frenos	5	7	4	140	Alto
B	1	Fugas en líneas o conexiones hidráulicas	8	7	4	224	Muy alto
	2	Falta de inspección operativa	3	10	1	30	Menor
	3	Sobrecalentamiento del sistema	6	9	3	162	Alto
	4	Gestión inadecuada del sistema	5	10	3	150	Alto
	5	Uso de aceite inadecuado	5	7	3	105	Alto
C	1	Desgaste normal por operación	8	7	4	224	Muy alto
	2	Contaminación del aceite con partículas abrasivas	9	6	3	162	Alto
	3	Defecto de material en componentes de freno	8	3	5	120	Alto
	4	Sobrecarga operativa del equipo	9	5	4	180	Alto
	5	Falta de control operativo	9	4	5	180	Alto
D	1	Deterioro de mangueras hidráulicas	6	5	1	30	Menor
	2	Desgaste de sellos hidráulicos	6	7	6	252	Muy alto
	3	Aflojamiento de conexiones hidráulicas	5	9	2	90	Alto
	4	Daños en líneas por vibración	5	9	4	180	Alto
	5	Instalación incorrecta de componentes	3	9	3	81	Alto
E	1	Desgaste del mecanismo	8	3	5	120	Alto
	2	Ajuste incorrecto	5	7	4	140	Alto
	3	Falla mecánica interna	8	3	4	96	Alto

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
	1	Ingreso de aire por fugas en líneas o conexiones	5	7	4	140	Alto
	2	Bajo nivel de aceite en el sistema	3	5	2	30	Menor
F	**3**	Mantenimiento inadecuado (purga incorrecta)	5	7	4	140	Alto
	4	Fallas en sellos hidráulicos	8	7	4	224	Muy alto
	5	Instalación incorrecta de componentes	5	7	2	70	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 150

Evaluación de Riesgos del Sistema de Carga-Retroexcavadora

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
	1	Desgaste de dientes por operación	5	9	3	135	Alto
	2	Abrasión por material duro	5	8	4	160	Alto
A	**3**	Uso en condiciones severas	4	7	5	140	Alto
	4	Falta de reemplazo oportuno	6	6	6	216	Muy alto
	5	Material inadecuado del cucharón	6	4	6	144	Alto
	1	Desgaste por fricción	5	7	4	140	Alto
	2	Falta de lubricación	6	7	4	168	Alto
B	**3**	Contaminación por polvo	5	6	5	150	Alto
	4	Falta de control del sistema	7	5	6	210	Muy alto
	5	Material de baja calidad	6	4	6	144	Alto
	1	Desgaste de sellos	6	7	4	168	Alto
	2	Contaminación del fluido	7	5	6	210	Muy alto
C	**3**	Sobrecarga del sistema	8	5	6	240	Muy alto
	4	Gestión inadecuada del sistema	6	5	5	150	Alto
	5	Defecto de fabricación	6	3	7	126	Alto
	1	Baja presión hidráulica	7	6	5	210	Muy alto
	2	Desgaste de componentes hidráulicos	6	6	5	180	Alto
D	**3**	Sobrecarga del equipo	7	5	6	210	Muy alto
	4	Ajuste incorrecto del sistema	5	5	5	125	Alto
	5	Diseño ineficiente del sistema	5	3	7	105	Alto
	1	Filtro hidráulico obstruido	5	7	3	105	Alto
	2	Aceite hidráulico degradado	5	6	4	120	Alto
E	**3**	Aire en el sistema hidráulico	6	5	6	180	Alto
	4	Bomba hidráulica desgastada	7	5	6	210	Muy alto
	5	Válvulas de control defectuosas	7	4	7	196	Muy alto
	1	Fatiga del material	8	4	7	224	Muy alto
	2	Sobrecarga operativa	8	5	6	240	Muy alto
F	**3**	Defecto de soldadura	7	3	7	147	Alto
	4	Impactos durante operación	7	5	6	210	Muy alto
	5	Corrosión del material	6	4	6	144	Alto
	1	Falla en estabilizadores	9	4	6	216	Muy alto
	2	Fugas en cilindros de estabilizadores	8	5	5	200	Muy alto
G	**3**	Terreno inadecuado	9	5	6	270	Crítico
	4	Uso incorrecto del equipo	7	5	5	175	Alto
	5	Desgaste en zapatas de apoyo	6	4	5	120	Alto

Nota. Elaboración propia.

Tabla 151

Evaluación de Riesgos del Sistema de Combustible-Retroexcavadora

		MODO DE FALLA	S	O	D	RPN	NIVEL
A	**1**	Saturación por partículas	5	9	4	180	Alto
	2	Presencia de agua en el combustible	3	9	1	27	Menor
	3	Falta de reemplazo oportuno	5	9	4	180	Alto
	4	Filtro de baja eficiencia	3	8	4	96	Alto
B	**1**	Ingreso de agua (condensación/tanque)	3	9	1	27	Menor
	2	Partículas sólidas	5	6	4	120	Alto
	3	Combustible fuera de especificación	3	9	4	108	Alto
	4	Tanque contaminado	8	7	4	224	Muy alto
	5	Falta de drenaje de agua	3	9	3	81	Alto
C	**1**	Desgaste interno de componentes	8	3	6	144	Alto
	2	Contaminación del combustible	5	7	4	140	Alto
	3	Obstrucción en succión	6	5	4	120	Alto
D	**1**	Mangueras agrietadas o envejecidas	8	6	3	144	Alto
	2	Conexiones flojas	5	8	4	160	Alto
	3	Sellos deteriorados	8	7	4	224	Muy alto
	4	Vibración del equipo	3	6	4	72	Alto
	5	Instalación incorrecta	4	6	3	72	Alto
E	**1**	Suministro insuficiente de combustible	5	9	3	135	Alto
	2	Inyectores obstruidos	5	3	6	90	Alto
	3	Baja presión de combustible	6	4	6	144	Alto
	4	Combustible contaminado	6	9	4	216	Muy alto

Nota. Elaboración propia.

4.9. Paso 8: Establecer la Estrategia de Mantenimiento

En este paso se establecen las estrategias de mantenimiento para los activos críticos de la asociación de empresas, en función de los niveles de riesgo previamente evaluados. Las acciones de mantenimiento se definen de acuerdo con el nivel de riesgo de cada modo de falla, considerando la aplicación de mantenimiento correctivo, preventivo, autónomo y proactivo, priorizando aquellos activos con mayor impacto en la operación.

Este enfoque permite optimizar la gestión del mantenimiento, mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los activos, y reducir los riesgos asociados a las fallas.

Tabla 152

Estrategia de Mant. del Sistema de Combustible-Camión Grúa

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	**1**	Inspección y limpieza del tanque	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Drenaje agua del filtro separador	Semanal	Operador	Autónomo
	3	Control de calidad del combustible	250 h	Supervisor	Proactivo
	4	Mejora el elem. del sistema de filtrado	Anual	Supervisor	Proactivo
B	**1**	Cambio de filtro de combustible	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Inspección del estado de líneas de combustible	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Reparación o reemplazo	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	4	Capacitación en instalación	Anual	Supervisor	Proactivo
C	**1**	Reparación o reemplazo	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	2	Revisión sistema eléctrico	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Limpieza sistema combustible	1000 h	Mantenimiento	Preventivo
D	**1**	Reemplazo inmediato de mangueras	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	2	Reparación de tanque de combustible	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	3	Ajuste de conexiones e informar	Semanal	Operador	Autónomo
	4	Reemplazo de sellos	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
E	**1**	Drenaje de sistema e informar	Semanal	Operador	Autónomo
	2	Control de suministro	Continuo	Supervisor	Proactivo
	3	Inspección de la calidad de filtros	Continuo	Supervisor	Proactivo
	4	Ejecutar drenaje rutinario	Semanal	Operador	Autónomo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 153

Estrategia de Mant. del Sistema de Escape-Camión Grúa

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	**1**	Inspec. y reemplazo del tubo de escape	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	2	Inspección y sellado de uniones	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	3	Ajuste de abrazaderas e informar anomalías	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
B	**1**	Inspección y reemplazo de silenciador	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	2	Ajuste y alineación básica e informar	250 h	Operador	Autónomo
	3	Inspección y reemplazo de soportes	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	4	Mejora del diseño del sistema de escape	1 año	Supervisor	Proactivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 154

Estrategia de Mant. del Sistema de Refrigeración-Camión Grúa

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	**1**	Reemplazo de mangueras	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	2	Reparación o reemplazo	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	3	Reparación o reemplazo	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	4	Ajuste de abrazaderas e informar fugas	Semanal	Operador	Autónomo
B	**1**	Reemplazo de termostato	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	2	Inspección y reemplazo de bomba de agua	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	3	Verificación y calibración del sensor	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	4	Inspección y mant. del ventilador	500 h	Mantenimiento	Preventivo
C	**1**	Verificación de nivel y reposición e informar anomalías	Semanal	Operador	Autónomo
	2	Limpieza interna del radiador	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Inspección del sistema de ventilación	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	4	Control de calidad y cambio de refrigerante	1000 h	Mantenimiento	Proactivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 155

Estrategia de Mant. del Sistema de Freno -Camión Grúa

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Inspección y reemplazo de zapatas	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	2	Inspeccionar condiciones de los tambores de freno	3 meses	Mantenimiento	Proactivo
	3	Limpieza del sistema de frenos	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	4	Ajuste y calibración del sistema	500 h	Mantenimiento	Preventivo
B	1	Reemplazo de mangueras neumáticas	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	2	Ajuste de conexiones neumáticas e informar fugas	Semanal	Operador	Autónomo
	3	Reemplazo de válvulas	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	4	Inspección estructural del tanque	1000 h	Mantenimiento	Preventivo
C	1	Mantenimiento o cambio del compresor	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	2	Lubricación del sistema neumático	250 h	Mantenimiento	Preventivo
D	1	Capacitación de operadores	1 año	Supervisor	Proactivo
	2	Control de calidad de repuestos	1 año	Supervisor	Proactivo
	3	Control operativo de carga	Permanente	Supervisor	Proactivo
	4	Cumplimiento del plan de mantenimiento	Permanente	Supervisor	Proactivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 156

Estrategia de Mant. del Sistema Eléctrico-Camión Grúa

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Inspección del sistema eléctrico general	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Revisión y reemplazo de fusibles	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	3	Inspección y reemplazo de relés	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	4	Inspección y mantenimiento del alternador	500 h	Mantenimiento	Preventivo
B	1	Inspección del cableado eléctrico	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Verificación de continuidad eléctrica	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Reemplazo de cables deteriorados	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	4	informar anomalías	Semanal	Operador	Autónomo
C	1	Limpieza de terminales e informar	Semanal	Operador	Autónomo
	2	Programar inspecciones	Semanal	Supervisor	Proactivo
	3	Ajuste y verificación técnica de conexiones	250 h	Mantenimiento	Preventivo
D	1	Reemplazo de batería	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	2	Diagnóstico del sistema de carga	1000 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Evaluación de consumo eléctrico	6 meses	Mantenimiento	Preventivo
	4	Control de carga y recarga de batería	Permanente	Operador	Autónomo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 157

Estrategia de Mant. del Sistema de Grúa-Camión Grúa

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Inspección y reemplazo de mangueras hidráulicas	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	2	Inspección / Reemplazo de sellos hidráulicos	1000 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Ajuste de conexiones hidráulicas e informar	Mensual	Mantenimiento	Preventivo
	4	Inspección / mat. estructural de cilindros hidráulicos	6 meses	Mantenimiento	Preventivo
B	1	Programar inspección de la pluma	1 año	Supervisor	Proactivo
	2	Inspeccionar y reemplazar mangueras	Inmediato	Mantenimiento	Correctivo
	3	Programar capacitación al área de mantenimiento	1 año	Supervisor	Proactivo
	4	Codificación de los componentes del equipo	1 año	Supervisor	Proactivo
C	1	Inspección y mantenimiento de bomba hidráulica	2 años	Mantenimiento	Preventivo
	2	Análisis y cambio de aceite	1000 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Reemplazo de filtro hidráulico	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	4	Purga del sistema hidráulico	250 h	Mantenimiento	Preventivo
D	1	Inspección y reparación de estabilizadores	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Programar capacitación al operador	1 año	Supervisor	Proactivo
	3	Seleccionar activo según requerimiento	Permanente	Supervisor	Proactivo
E	1	Purga del sistema hidráulico	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Verificación de nivel de aceite e informar	Semanal	Operador	Autónomo
	3	Control de carga y reemplazo de batería	Diario	Operador	Autónomo
F	1	Verificación de señal y estado de antena	Diario	Operador	Proactivo
	2	Control de carga y reemplazo de batería	Diario / Condición	Operador / Mantenimiento	Autónomo / Correctivo
	3	Inspección funcional del control y limpieza	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	4	Diagnóstico del sistema receptor	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	5	Inspección interna del control y conexiones	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	6	Reconfiguración y calibración del sistema	Condición	Mantenimiento	Correctivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 158

Estrategia de Mant. del Sistema de Admisión-Montacargas

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Inspección y limpieza/cambio de filtro de aire	Diario / 250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Control del cumplimiento del plan de mantenimiento	Mensual	Supervisor	Proactivo
	3	Capacitación de personal	Anual	Supervisor	Proactivo
B	1	Inspección y reemplazo de filtro dañado	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Supervisión del mantenimiento ejecutado	Mensual	Supervisor	Proactivo
	3	Gestionar stock en almacén	Permanente	Supervisor	Proactivo
C	1	Verificación de montaje correcto	Cada intervención	Mantenimiento	Proactivo
	2	Ajuste de abrazaderas	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Mejora de conexiones del sistema	Único	Mantenimiento	Proactivo
D	1	Limpieza/reemplazo de filtro	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Corrección de ductos deformados	500 h	Mantenimiento	Correctivo
	3	Verificación de instalación del sistema	Cada intervención	Mantenimiento	Proactivo
	4	Lavado del área de motor	250 h	Mantenimiento	Preventivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 159

Estrategia de Mant. del Sistema de Frenos-Montacargas

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Inspección y reemplazo de pastillas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Limpieza de superficies de fricción	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Capacitación en uso correcto del freno	Anual	Supervisor	Proactivo
	4	Codificación de los componentes del equipo	Anual	Supervisor	Proactivo
B	1	Inspección de fugas hidráulicas	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Purga del sistema hidráulico	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Control del mantenimiento del sistema	Semestral	Supervisor	Proactivo
C	1	Inspección del mecanismo	6 meses	Mantenimiento	Preventivo
	2	Ajuste del sistema	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Reemplazo de cables/actuadores	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	4	Capacitación de uso correcto	Anual	Supervisor	Proactivo
	5	Codificación de los componentes del equipo	Anual	Supervisor	Proactivo
D	1	Purga del sistema hidráulico	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Cambio de fluido de frenos	1000 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Limpieza de líneas hidráulicas	1000 h	Mantenimiento	Preventivo
E	1	Capacitación al personal para adecuada operación	Bimestral	Supervisor	Proactivo
	2	Uso de materiales certificados	Permanente	Mantenimiento	Proactivo
	3	Inspección periódica de frenos	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	4	Capacitación al personal para adecuada operación	Bimestral	Supervisor	Proactivo
	5	Limpieza por polvo/mineral	250 h	Mantenimiento	Preventivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 160

Estrategia de Mant. del Sistema de Carga-Montacargas

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Control y reposición de aceite	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Inspección y cambio de sellos	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Control de carga nominal	Permanente	Supervisor	Proactivo
B	1	Inspección del estado de cadenas	Semanal	Operador	Autónomo
	2	Inspección, cambio de grasa de cadenas	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Capacitación en distribución de carga	Bimestral	Supervisor	Proactivo
C	1	Limpieza de guías y cambio de grasa	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Limpieza de guías y cambio de grasa	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Cambio de polea del mástil	Condición	Mantenimiento	Correctivo
D	1	Limpieza de guías y cambio de grasa	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Cambio de polea del mástil	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Control del plan de mantenimiento	Permanente	Supervisor	Proactivo
E	1	Solicitud de horómetro para preparación de Mant.	Semanal	Supervisor	Proactivo
	2	Limpieza y engrase nuevo	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Lavado del activo	250 h	Mantenimiento	Preventivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 161

Estrategia de Mant. del Sistema de Lubricación-Montacargas

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	**1**	Verificación de nivel de aceite	Diario	Operador	Autónomo
	2	Inspección de fugas	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Solicitar informe de intervención	Permanente	Supervisor	Proactivo
B	**1**	Capacitación del área de mantenimiento	Anual	Supervisor	Proactivo
	2	Codificación de los repuestos según modelo del equipo	Anual	Supervisor	Proactivo
	3	Reemplazo de filtro de aceite	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	4	Revisión de aceite recomendado por el fabricante	Permanente	Supervisor	Proactivo
	5	Codificación de los repuestos según modelo del equipo	Permanente	Supervisor	Proactivo
C	**1**	Revisión de aceite recomendado por el fabricante	Permanente	Supervisor	Proactivo
	2	Revisión de aceite recomendado por el fabricante	Permanente	Supervisor	Proactivo
D	**1**	Verificación de nivel de aceite	Diario	Operador	Autónomo
	2	Cambio de aceite de motor	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Solicitud de horómetro para preparación de Mant.	Semanal	Supervisor	Proactivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 162

Estrategia de Mant. del Sistema de Airea A/C-Montacargas

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	**1**	Inspección y reemplazo de componente	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Detección y reparación de fugas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
B	**1**	Reemplazo de filtro de cabina	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Limpieza de condensador	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Control del mantenimiento programado	250 h	Supervisor	Proactivo
	4	Codificación de los repuestos	Permanente	Supervisor	Proactivo
C	**1**	Reemplazo de filtros	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Capacitación en uso del sistema	Anual	Supervisor	Proactivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 163

Estrategia de Mant. del Sistema de Combustible-Montacargas

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	**1**	Reemplazo de filtro de combustible	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Inspección y reemplazo de bomba de combustible	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Control de nivel de combustible	Diario	Operador	Autónomo
B	**1**	Análisis de calidad de combustible (muestreo)	500 h	Mantenimiento	Predictivo
	2	Limpieza del sistema de combustible	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Reemplazo de filtro	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	4	Codificación de los repuestos según modelo del equipo	Anual	Supervisor	Proactivo
C	**1**	Limpieza/calibración de inyectores	Anual	Mantenimiento	Preventivo
	2	Codificación de los repuestos	Anual	Supervisor	Proactivo
D	**1**	Purga del sistema de combustible	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Verificación de obstrucciones	250 h	Mantenimiento	Preventivo
E	**1**	Limpieza del tanque de combustible	Anual	Mantenimiento	Preventivo
	2	Designación de estación de abastecimiento	Permanente	Supervisor	Proactivo
	3	Drenaje de separador	Semanal	Operador	Autónomo
	4	Codificación de los repuestos	Anual	Supervisor	Proactivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 164

Estrategia de Mant. del Sistema de Transmisión-Montacargas

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	**1**	Control de nivel de aceite	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Cambio de aceite de transmisión	1000 h	Mantenimiento	Preventivo
B	**1**	Reemplazo de plaza de embrague	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Inspeccionar y reemplazar	Condición	Mantenimiento	Correctivo
C	**1**	Control de funcionamiento de bobina / reemplazar	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Controlar y cambiar aceite	Anual	Supervisor	Proactivo
	3	Control y reemplazo de filtro	1000 h	Mantenimiento	Preventivo
D	**1**	Inspección de sellos	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Verificación de instalación	Cada intervención	Mantenimiento	Preventivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 165

Estrategia de Mant. del Sistema Eléctrico-Montacargas

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	**1**	Recarga de batería según lo requiera o reemplazar	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Limpieza y ajuste de terminales	Semanal	Operador	Autónomo
	3	Inspección y reemplazo de cableado	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	4	Indicación de proceso de desconexión	Condición	Supervisor	Proactivo
	5	Codificación de los repuestos según modelo del equipo	Anual	Supervisor	Proactivo
B	**1**	Inspección y prueba de alternador	2000 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Reemplazar correa del alternador	2000 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Mantenimiento programado del sistema	Programado	Mantenimiento	Preventivo
	4	Codificación de los repuestos según modelo del equipo	Anual	Supervisor	Proactivo
C	**1**	Inspección limpieza de motor de arranque	3000 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Inspección limpieza solenoide / reemplazo	3000 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Capacitación en arranque correcto	Anual	Supervisor	Proactivo
	4	Codificación de los repuestos según modelo del equipo	Anual	Supervisor	Proactivo
D	**1**	Verificación de cámara de retroceso	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Limpieza de cámara, Checklist preoperacional	Diario	Operador	Autónomo
	3	Reemplazo de cables dañados	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	4	Capacitación del personal de mantenimiento	Anual	Supervisor	Proactivo
	5	Codificación de los repuestos según modelo del equipo	Anual	Supervisor	Proactivo
E	**1**	Inspección de lámparas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Reemplazo de lámparas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Revisión de fusibles de iluminación	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	4	Checklist preoperacional obligatorio	Diario	Operador	Autónomo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 166

Estrategia de Mant. del Sistema de Carrocería- Combis

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Lavado completo de la unidad	Semanal	Operador	Autónomo
	2	Aplicación de recubrimiento anticorrosivo	Semestral	Mantenimiento	Preventivo
	3	Reparación de pintura y protección superficial	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	4	Lavado completo de la unidad	Semanal	Operador	Autónomo
	5	Evaluación de drenajes estructurales	Condición	Supervisor	Proactivo
B	1	Inspeccionar y ajustar según corresponda	5000 km	Mantenimiento	Preventivo
	2	Revisión de daños por impactos, informar y solicitar Mant. Según requiera	Semanal	Operador	Autónomo
	3	Limpieza, lubricación y ajuste de bisagras según corresponda	5000 km	Mantenimiento	Preventivo
C	1	Limpieza o lavado de unidad	Semanal	Operador	Autónomo
	2	Lubricación de mecanismos	5000 km	Operador	Autónomo
	3	Ajuste de puertas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	4	Inspección, mantenimiento o reemplazo de manijas	Condición	Mantenimiento	Correctivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 167

Estrategia de Mant. del Sistema de Dirección- Combis

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Control de nivel de fluido, check List	Diario	Operador	Autónomo
	2	Inspección de bomba de dirección	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	3	Uso de fluido correcto según fabricante	Continuo	Supervisor	Proactivo
	4	Cambio de fluido hidráulico	40,000 km	Mantenimiento	Preventivo
B	1	Alineación de ruedas	10, 000 Km	Mantenimiento	Preventivo
	2	Control de presión de neumáticos, check list diario	Diario	Operador	Autónomo
	3	Rotación de neumáticos	Condición	Mantenimiento	Preventivo
	4	Inspección de suspensión y dirección	10, 000 Km	Mantenimiento	Preventivo
	5	Capacitación, manejo defensivo	anual	Supervisor	Proactivo
C	1	Cambio de terminales de dirección	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Inspección, mantenimiento o cambio de cremallera	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Reemplazo de rótulas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	4	Lubricación de componentes	20,000 km	Mantenimiento	Correctivo
	5	Capacitación del personal, procedimiento de mantenimiento	Anual	Supervisor	Proactivo
D	1	Cambio de mangueras hidráulicas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Reemplazo de sellos	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Inspección de posibles fugas, reemplazo requiera	5000 km	Mantenimiento	Preventivo
	4	Capacitación del personal, procedimiento de mantenimiento	Anual	Supervisor	Proactivo
E	1	Inspeccionar y reemplazar	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Reparación o reemplazo de componente según sea necesario (Duración de 20 años o 250 000 Km)	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Solicitar inspección o reemplazo del componente según sea necesario	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	4	Codificación de los repuestos	Anual	Supervisor	Proactivo
	5	Inspección y llenado de líquido según sea necesario	Diario	Operador	Preventivo
	6	Capacitación al personal	Anual	Supervisor	Proactivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 168

Estrategia de Mant. del Sistema de Suspensión- Combis

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	inspección de suspensión	5000 km	Mantenimiento	Preventivo
	2	Limpieza o lavado de componentes	Semanal	Operador	Autónomo
	3	Capacitación de personal, manejo defensivo	Anual	Supervisor	Proactivo
	4	Reemplazo de amortiguadores	Según condición	Mantenimiento	Correctivo
	5	Control de calidad de repuestos	Compra	Supervisor	Proactivo
B	1	Solicitar inspección o reemplazo del componente según sea necesario	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Inspección y lubricación de componentes	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	3	Limpieza o lavado de componentes	Semanal	Operador	Autónomo
	4	Capacitación de personal, procedimiento de trabajo	Anual	Supervisor	Proactivo
	5	Control de calidad de repuestos	Compra	Supervisor	Proactivo
C	1	Inspección de amortiguadores	Cada 5000 km	Mantenimiento	Preventivo
	2	Reemplazo de resortes	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Codificación de los repuestos según modelo del equipo	Permanente	Supervisor	Proactivo
	4	Control de presión de neumáticos, check list diario	Diario	Operador	Autónomo
D	1	Inspección y reemplazo de componente	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Capacitación del personal	Anual	Supervisor	Proactivo
	3	Control de operación en terreno crítico	Continuo	Operador	Autónomo
E	1	Solicitar inspección o reemplazo del componente según sea necesario ya sea bujes o bieleta	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Solicitar inspección o reemplazo del componente según sea necesario	Condición	Mantenimiento	Correctivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 169

Estrategia de Mant. del Sistema de Freno- Combis

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Reemplazo de zapatas o pastilla de freno	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Purgado del sistema de frenos en caso requiera	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	3	Inspección y reparación de fugas según corresponda	5000 km	Mantenimiento	Preventivo
	4	Reemplazo de discos/tambores	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	5	Lavado completo de la unidad	Semanal	Operador	Autónomo
	6	Control de carga del vehículo	Permanente	Supervisor / operador	Proactivo
	7	Capacitación del personal, manejo defensivo	Anual	Supervisor	Proactivo
B	1	Inspección, reparación del sistema de frenos, cañerías, fugas	Cada 5000 km	Operador	Preventivo
	2	check list diario, solicitar inspección de estado zapatas y pastillas	Cada 5000 km	Operador	Autónomo
	3	Inspección de nivel de fluido, check list diario	Diario	Operador	Autónomo
	4	Codificación de los repuestos según modelo del equipo	Permanente	Supervisor	Proactivo
	5	Cambio liquido de freno	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
C	1	Reemplazo de zapatas o pastilla de freno	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Lavado completo de la unidad	Semanal	Operador	Autónomo
	3	Verificación de calidad del repuesto	Compra	Supervisor	Proactivo
	4	Control de carga del vehículo	Permanente	Supervisor / operador	Proactivo
	5	Capacitación del personal, manejo defensivo	Anual	Supervisor	Proactivo
D	1	Capacitación del personal, manejo defensivo	Anual	Supervisor	Proactivo
	2	Capacitación del personal, manejo defensivo	Anual	Supervisor	Proactivo
	5	Capacitación del personal, manejo defensivo	Anual	Supervisor	Proactivo
F	1	Reemplazo de cable de freno de estacionamiento	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Ajuste del sistema de freno de mano	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Limpieza del mecanismo	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	4	Capacitación de uso correcto	Anual	Supervisor	Proactivo
G	1	Rectificado o cambio de discos	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Inspección de pastillas	5000 km	Mantenimiento	Preventivo
	3	Control de montaje	Post mantenimiento	Supervisor / Mantenimiento	Proactivo
H	1	Reparación de sistema de vacío	condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Reemplazo de booster	condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Verificación de instalación	Post mantenimiento	Supervisor / Mantenimiento	Proactivo
	4	Mantenimiento del sistema	Cada 10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	5	Control de calidad de fabricación	Compra	Supervisor	Proactivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 170

Estrategia de Mant. del Sistema de Eléctrico- Combis

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Inspeccionar, mantenimiento o reemplazo de arrancador	condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Inspeccionar, mantenimiento o reemplazo de arrancador	condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Solicitar recarga de batería, check list de la unidad	Diario	Operador	Autónomo
	4	Limpieza de conexiones, check list de la unidad	5000 km	Mantenimiento	Preventivo
	5	Inspeccionar, mantenimiento o reemplazo	condición	Mantenimiento	Correctivo
B	1	Reemplazo de batería	condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Revisión de alternador	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	3	Limpieza de bornes	Semanal	Operador	Autónomo
	4	Detección de Parasitaje, revisar cableado, fusibles y relés	condición	Mantenimiento	Correctivo
C	1	Cambio de bombillas	condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Revisión de fusibles	condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Inspección, reemplazo de cableado	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	4	Solicitar cambio, informar según requerimiento	Diario	Operador	Autónomo
	5	Limpieza de conectores	Semanal	Operador	Autónomo
	6	Control de instalación	Post mantenimiento	Supervisor / Mantenimiento	Proactivo
D	1	Ajuste de conectores	5000 km	Mantenimiento	Preventivo
	2	Limpieza de conectores	Semanal	Operador	Autónomo
	4	Inspección, reemplazo de cableado	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
	5	Control de instalación	Post mantenimiento	Supervisor / Mantenimiento	Proactivo
	6	Codificación de los repuestos según modelo del equipo	Permanente	Supervisor	Proactivo
	1	Limpieza de sensores	Semanal	Operador	Autónomo
	2	Reemplazo de sensor	condición	Mantenimiento	Correctivo
E	**3**	Inspeccionar y Protección contra humedad según sea necesario	5000 km	Mantenimiento	Preventivo
	4	Evaluación de alternativa mejorada	condición	Supervisor	Proactivo
F	**1**	Revisión, mantenimiento o reemplazo de alternador	Según condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Reemplazo de correa	80,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	3	Limpieza de alternador	5000 km	Mantenimiento	Preventivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 171

Estrategia de Mant. del Sistema de Neumáticos- Combis

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
	1	Alineación de ruedas	10, 000 Km	Mantenimiento	Preventivo
	2	Balanceo de neumáticos	10, 000 Km	Mantenimiento	Preventivo
	3	Control de presión de neumáticos, check list diario	Diario	Operador	Autónomo
A	**4**	Inspección, reemplazo de suspensión	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	5	Inspección de desgaste, cambio de neumáticos	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	6	Control de carga	Continuo	Supervisor / Operador	Proactivo
	1	Control de presión de neumáticos, check list diario	Diario	Operador	Autónomo
	2	Revisión de válvulas, check list de pre utilización	Diario	Operador	Autónomo
B	**3**	Informar, cambio de neumáticos de repuesto, parchado de neumático	condición	Mantenimiento	Correctivo
	4	Inspección de presión, check list de pre utilización	Diario	Operador	Autónomo
	5	Certificación de calidad de instrumentos	Compra	Supervisor	Proactivo
	1	Capacitación del personal, manejo defensivo	Anual	Supervisor	Proactivo
C	**2**	Control de carga	Continuo	Supervisor / Operador	Proactivo
	3	Selección de neumáticos adecuados	Supervisión	Supervisor	Proactivo
	4	Control de presión de neumáticos, check list diario	Diario	Operador	Autónomo
	1	Cambio de neumáticos	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Inspección de presión, check list de pre utilización	Diario	Operador	Autónomo
D	**3**	Capacitación del personal, manejo defensivo	Anual	Supervisor	Proactivo
	4	Control de carga	Continuo	Supervisor / Operador	Proactivo
	5	Selección de neumáticos	Condición	Supervisor	Proactivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 172

Estrategia de Mant. del Sistema de Refrigeración- Combis

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Inspección y aumentar nivel de refrigerante, check list diario	Diario	Operador	Autónomo
	2	Lavado completo de la unidad	Semanal	Operador	Autónomo
	3	Reemplazo de termostato	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	4	Cambio de bomba de agua	80,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	5	Detección y reparación de fugas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	6	Inspección, check list de pre utilización	Diario	Operador	Autónomo
B	1	Inspección y reemplazo de mangueras	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Inspección, mantenimiento o reemplazo de radiador	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Cambio de bomba de agua	80,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	4	Codificación de los repuestos	Permanente	Supervisor	Proactivo
	5	Inspección, check list de pre utilización	Diario	Operador	Autónomo
	6	Inspección, check list de pre utilización, aumento de refrigerante	Diario	Operador	Autónomo
C	1	Lavado completo de la unidad	Semanal	Operador	Autónomo
	2	Inspección, check list de pre utilización	Diario	Operador	Autónomo
	3	Reparación/reemplazo de radiador	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	4	Mejora de protección del radiador según corresponda	Condición	Supervisor	Proactivo
D	1	Reemplazo de termostato	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Codificación de los repuestos	Permanente	Supervisor	Proactivo
	3	Reemplazo de termostato	80,000 km	Mantenimiento	Preventivo
E	1	Codificación de los repuestos	Permanente	Supervisor	Proactivo
	2	Cambio de refrigerante	80,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	4	Limpieza de radiador	80,000 km	Mantenimiento	Preventivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 173

Estrategia de Mant. del Sistema de Lubricación- Camionetas

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Análisis de compresión del motor, reemplazar componentes	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Análisis de compresión del motor, reemplazar componentes	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Análisis de compresión del motor, reemplazar componentes	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	4	Verificación de nivel de aceite e informar, check list, drenaje del exceso de aceite	Diario	Operador	Autónomo
B	1	Cambio de filtro de aceite	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	2	Inspección y cambio anticipado	5,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	3	Verificación de especificación	Cada cambio	Supervisor	Proactivo
	4	Análisis de aceite	30,000 km	Mantenimiento	Proactivo
C	1	Monitoreo de consumo e informar	Semanal	Supervisor	Proactivo
	2	Análisis de compresión del motor, reemplazar componentes	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Análisis de compresión del motor, reemplazar componentes	Condición	Mantenimiento	Correctivo
D	1	Inspección y ajuste de pernos	Semanal	Mantenimiento	Preventivo
	2	Reemplazo de junta	6 meses	Mantenimiento	Correctivo
	3	Inspección de retenes	Mensual	Mantenimiento	Preventivo
	4	Verificación de torque	Cada cambio	Mantenimiento	Preventivo
	5	Verificación de ajuste e informar	Diario	Operador	Autónomo
E	1	Ajuste del plan de mantenimiento	Permanente	Supervisor	Proactivo
	2	Monitoreo de temperatura e informar	Diario	Operador	Autónomo
	3	Análisis de aceite	2 meses	Mantenimiento	Proactivo
	4	Inspección visual	Semanal	Mantenimiento	Preventivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 174

Estrategia de Mant. del Sistema de Admisión- Camionetas

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Inspección y limpieza de filtro de aire e informar	Diario	Operador	Autónomo
	2	Limpieza / diagnóstico de sensor MAF	Mensual	Mantenimiento	Preventivo
	3	Inspección de mangueras y ajuste	Quincenal	Mantenimiento	Preventivo
	4	Inspección de turbo, limpieza	anual	Mantenimiento	Preventivo
	5	Limpieza o inspección de Intercooler	semanal	Mantenimiento	Preventivo
B	1	Cambio de filtro de aire	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	2	Limpieza de sensor MAF	Mensual	Mantenimiento	Preventivo
	3	Diagnóstico de presión turbo	Condición	Mantenimiento	Correctivo
C	1	Diagnóstico con scanner (lectura de flujo de aire), limpieza del sensor MAF, revisión de conexiones eléctricas, cambio de filtro de aire	10,000 km	Mantenimiento	Proactivo
	2	Limpieza de filtro, cambio de filtro según condiciones	5,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	3	Inspección de turbo	anual	Mantenimiento	Preventivo
D	1	Limpieza de filtro e informar / reemplazo	Diario /10,000 km	Operador	Autónomo
	2	Limpieza de ductos al cambio de filtro de aire	Cada cambio	Mantenimiento	Preventivo
	3	Inspección de sellos al cambio de filtro de aire	Cada cambio	Mantenimiento	Preventivo
E	1	Lavado del equipo, inspección de líneas turbo	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	2	Lavado del equipo, inspección de Intercooler	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	3	Inspección de turbo	anual	Mantenimiento	Preventivo
F	1	Diagnóstico con scanner (lectura de flujo de aire), limpieza del sensor MAF, revisión de conexiones eléctricas, cambio de filtro de aire	10,000 km	Mantenimiento	Proactivo
	2	Limpieza de filtro e informar / reemplazo	Diario /10,000 km	Operador	Autónomo
	3	Diagnóstico de presión turbo	Condición	Mantenimiento	Correctivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 175

Estrategia de Mant. del Sistema de Dirección- Camionetas

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Aumentar y verificar nivel de fluido e informar, check list	Diario	Operador	Autónomo
	2	Verificación del nivel de fluido, Purga del sistema, reemplazo de la bomba de dirección	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Inspección, reemplazo según condición	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	4	Inspección y reemplazo de correa de dirección	Condición	Mantenimiento	Correctivo
B	1	Alineación de ruedas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Inspección y reemplazo de terminales	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Inspección y reemplazo de bieletas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	4	Inspección, reemplazo según condición	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
C	1	Alineación de ruedas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Control de presión e informar, check list	Diario	Operador	Autónomo
	3	check list, informar estado de los neumáticos	Condición	Operador	Autónomo
	4	Inspección y limpieza sistema de frenos	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
D	1	Lubricación de terminales de dirección, bieletas	20,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	2	Inspección, reemplazo según condición	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Reemplazo de bujes	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	4	Reemplazo de terminales	Condición	Mantenimiento	Correctivo
E	1	Balanceo de ruedas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Alineación de ruedas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	check list, Inspección de neumáticos, informar	Diario	Operador	Autónomo
	4	Reemplazo componentes	Condición	Mantenimiento	Correctivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 176

Estrategia de Mant. del Sistema de Suspensión- Camionetas

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Informar, inspección y reemplazo de amortiguadores	Condición	Operador / Mantenimiento	Correctivo
	2	Informar, inspección y reemplazo de amortiguadores	Condición	Operador / Mantenimiento	Correctivo
	3	Inspección de muelles, Revisión de grietas o fisuras, Reemplazo de muelles/ballestas según sea necesario	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	4	Control de carga operativa	Permanente	Supervisor	Proactivo
B	1	Reemplazo de bujes	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Inspección de bieletas	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	3	Inspección general	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	4	Reapriete de componentes	20,000 km	Mantenimiento	Preventivo
C	1	Informar, inspección y reemplazo de amortiguadores	Condición	Operador / Mantenimiento	Correctivo
	2	Inspección de barra estabilizadora	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	3	Alineación	Condición	Mantenimiento	Correctivo
D	1	Informar, inspección y reemplazo de amortiguadores	Condición	Operador / Mantenimiento	Correctivo
	2	Balanceo de ruedas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Inspección, reemplazo de rodamientos	Condición	Mantenimiento	Correctivo
E	1	Alineación	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Informar, inspección y reemplazo de amortiguadores	Condición	Operador / Mantenimiento	Correctivo
	3	Control de presión e informar, check list	Diario	Operador	Autónomo
	4	Inspección completa	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 177

Estrategia de Mant. del Sistema de Frenos- Camionetas

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Inspección y cambio de pastillas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Verificación de nivel de líquido	Diario	Operador	Autónomo
	3	Purgado del sistema	3 meses	Mantenimiento	Preventivo
	4	Inspección y reparación de líneas	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	5	Verificación de calidad de las patillas	comprar	Supervisor	Proactivo
	6	Inspección y cambio de discos	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	7	Limpieza de sistema de frenos	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	8	Control de carga operativa	Permanente	Supervisor	Proactivo
B	1	Rectificado o reemplazo de discos	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Inspección de discos	Mensual	Mantenimiento	Preventivo
	3	Verificación de montaje	Cada intervención	Mantenimiento	Proactivo
	4	Inspección general	Semanal	Mantenimiento	Preventivo
C	1	Reemplazo de pastillas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Revisión de pastillas o reemplazo según requiera	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Limpieza de sistema de frenos	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
	4	Lubricación de componentes	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo
D	1	Informar y solicitar regulación	Condición	Operador / Mantenimiento	Preventivo
	2	Reemplazo de cable de freno de estacionamiento	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Reemplazo de zapatas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	4	Revisión completa del sistema	10,000 km	Mantenimiento	Preventivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 178

Estrategia de Mant. del Sistema de Neumáticos- Camionetas

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Balanceo de neumáticos	10, 000 Km	Mantenimiento	Preventivo
	2	Inspección de desgaste	Semanal	operador	Proactivo
	3	Reporte y reemplazo del neumático	Según condición	Operador / Mantenimiento	Correctivo
B	1	Alineación de ruedas	10, 000 Km	Mantenimiento	Preventivo
	2	Balanceo de neumáticos	10, 000 Km	Mantenimiento	Preventivo
	3	Control de presión de neumáticos, check list diario	Diario	Operador	Autónomo
	4	Inspección, reemplazo de suspensión	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	5	Inspección de desgaste, cambio de neumáticos	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	6	Control de carga	Continuo	Supervisor / Operador	Proactivo
C	1	Control de presión de neumáticos, check list diario	Diario	Operador	Autónomo
	2	Revisión de válvulas, check list de pre utilización	Diario	Operador	Autónomo
	3	Informar, cambio de neumáticos de repuesto, parchado de neumático	condición	Mantenimiento	Correctivo
	4	Inspección de presión, check list de pre utilización	Diario	Operador	Autónomo
	5	Certificación de calidad de instrumentos	Compra	Supervisor	Proactivo
D	1	Capacitación del personal, manejo defensivo	Anual	Supervisor	Proactivo
	2	Control de carga	Continuo	Supervisor / Operador	Proactivo
	3	Selección de neumáticos adecuados	Supervisión	Supervisor	Proactivo
	4	Control de presión de neumáticos, check list diario	Diario	Operador	Autónomo
E	1	Cambio de neumáticos	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Inspección de presión, check list de pre utilización	Diario	Operador	Autónomo
	3	Capacitación del personal, manejo defensivo	Anual	Supervisor	Proactivo
	4	Control de carga	Continuo	Supervisor / Operador	Proactivo
	5	Selección de neumáticos	Condición	Supervisor	Proactivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 179

Estrategia de Mant. del Sistema de Estructura-Retroexcavadora

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Verificar operación dentro de límites e informar	8 h	Operador	Autónomo
	2	Inspección visual de fisuras	Semanal	Supervisor	Preventivo
	3	Inspección por impactos	Semanal	Supervisor	Preventivo
	4	Evaluación END	250 h	Mantenimiento	Predictivo
	5	Inspección estructural detallada	250 h	Mantenimiento	Preventivo
B	1	Capacitación al operador, control de carga	Anual	Supervisor	Proactivo
	2	Reparación, alineamiento	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Capacitación del personal, uso correcto del equipo	Anual	Supervisor	Proactivo
	4	Solicitar certificado de calidad de componentes	Compra	Supervisor	Proactivo
C	1	Inspección reparación de grietas visibles	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Capacitación al operador, control de carga	Anual	Supervisor	Proactivo
	3	Solicitar certificado de calidad de componentes	Compra	Supervisor	Proactivo
D	1	Limpieza e informar condiciones	Semanal	Operador	Autónomo
	2	Protección anticorrosiva Undercoating	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Lavado completo del equipo	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	4	Check list, Inspección estructural	Diario	Operador	Autónomo
E	1	Capacitación al operador, control de carga	Anual	Supervisor	Proactivo
	2	END	250 h	Mantenimiento	Predictivo
	3	Reparación y pintado del área afectada	Condición	Mantenimiento	Correctivo
F	1	Inspección y ajuste de pernos según requiera	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Inspección y reemplazo de pernos	250 h	Mantenimiento	Correctivo
	3	Check list, Inspección, limpieza de pernos con corrosión	Mensual	Operador/ Mantenimiento	Preventivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 180

Estrategia de Mant. del Sistema Hidráulico-Retroexcavadora

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Inspección de fugas en sistema hidráulico	Diario	Operador	Proactivo
	2	Inspección y ajuste de conexiones hidráulicas	Diario	Operador / Mantenimiento	Proactivo
	3	Inspección visual de mangueras	Diario	Operador	Proactivo
	4	Verificación de correcta instalación	Condición	Mantenimiento	Proactivo
	5	Control calidad componentes, Inspección de antes de la instalación	Compra	Supervisor	Proactivo
	6	Medición de presión del sistema hidráulico	1000 h	Mantenimiento	Predictivo
	7	Prueba de funcionamiento de válvulas	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	8	Purga del sistema hidráulico	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	9	Reemplazo de filtro hidráulico	250 h	Mantenimiento	Preventivo
B	1	Análisis de aceite hidráulico	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Cambio de filtro hidráulico	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Verificación de nivel de aceite	Diario	Operador	Autónomo
	4	Verificación de presión del sistema	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	5	Inspección inicial y control de calidad	Al instalar	Supervisor	Proactivo
C	1	Inspección y limpieza de respiraderos/filtros de aire	Semanal	Operador	Autónomo
	2	Reemplazo de filtro hidráulico	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Verificación de especificación del aceite	250 h	Supervisor	Proactivo
	4	Inspección del estado del aceite (presencia de agua)	250 h	Mantenimiento	Proactivo
D	1	Verificación de nivel de aceite	Diario	Operador	Autónomo
	2	Control carga y operación	Permanente	Supervisor/ operador	Proactivo
	3	Limpieza del radiador/enfriador	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	4	Cambio de aceite hidráulico	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	5	Evaluación técnica y mejora del sistema	Condición	Supervisor	Proactivo
E	1	Reemplazo o reparación de válvulas hidráulicas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Reemplazo de filtro hidráulico	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Calibración y ajuste de válvulas	Condición	Mantenimiento	Proactivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 181

Estrategia de Mant. del Sistema de Freno-Retroexcavadora

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
A	1	Reemplazo de componentes internos de freno	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	2	Inspección del sistema y verificación de temperatura/aceite	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Cambio de aceite y filtrado del sistema	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	4	Calibración y ajuste del sistema de frenos	250 h	Mantenimiento	Proactivo
B	1	Inspección de fugas en líneas y conexiones	Diario	Operador / Mantenimiento	Proactivo
	2	Verificación de niveles por el operador	Diario	Operador	Autónomo
	3	Inspección de temperatura del sistema	Diario	Operador	Autónomo
	4	Control y registro del mantenimiento	Permanente	Supervisor	Proactivo
	5	Verificación de especificación del aceite	Permanente	Supervisor	Proactivo
C	1	Inspección del sistema de frenos	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Cambio de aceite y filtrado	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Inspección de calidad de componentes	Compra	Supervisor	Proactivo
	4	Control de condiciones de operación	Diario	Operador	Autónomo
	5	Supervisión y control de operación	Permanente	Supervisor	Proactivo
D	1	Inspección visual de mangueras hidráulicas	Diario	Operador	Proactivo
	2	Reemplazo de sellos hidráulicos	condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Verificación y ajuste de conexiones	Diario	Operador	Proactivo
	4	Inspección de líneas, soportes y fijaciones	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	5	Verificación de instalación según especificaciones	250 h	Mantenimiento	Proactivo
E	1	Reemplazo de discos/componentes de freno	condición	Mantenimiento	Correctivo

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
	2	Ajuste del freno de estacionamiento	condición	Mantenimiento	Correctivo
	3	Inspección funcional del sistema de freno de estacionamiento	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	1	Inspección de fugas en líneas	Diario	Operador	Proactivo
	2	Verificación de nivel de aceite, check list	Diario	Operador	Autónomo
F	**3**	Purga del sistema hidráulico de frenos	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	4	Reemplazo de sellos	condición	Mantenimiento	Correctivo
	5	Verificación de instalación	250 h	Mantenimiento	Preventivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 182

Estrategia de Mant. del Sistema de Carga-Retroexcavadora

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
	1	Verificar desgaste y fijación de dientes, reemplazar si supera límite permitido	Diario / Condición	Operador / Mantenimiento	Autónomo / Correctivo
	2	Supervisar condiciones de trabajo	Diario	Operador	Proactivo
A	**3**	Inspeccionar estructura del cucharón (fisuras, deformaciones)	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	4	Programar cambio de dientes y bordes según desgaste	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	5	Verificar especificación del material del cucharón/repuestos instalados	500 h	Mantenimiento	Proactivo
	1	Medir holguras en articulaciones y verificar alineación	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Lubricar pasadores y bujes según puntos de engrase	Diario	Operador	Autónomo
B	**3**	Limpiar zonas de articulación para evitar ingreso de polvo	Diario	Operador	Proactivo
	4	Evaluar desgaste y programar reemplazo de componentes	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	5	Verificar calidad y procedencia de repuestos instalados	500 h	Mantenimiento	Proactivo
	1	Inspeccionar fugas en cilindros y estado de vástagos	Diario	Operador	Proactivo
	2	Realizar análisis de aceite hidráulico y verificar contaminación	500 h	Mantenimiento	Predictivo
C	**3**	Controlar operación evitando sobreesfuerzos del equipo	Diario	Operador	Proactivo
	4	Verificar funcionamiento general del sistema hidráulico	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	5	Evaluar desempeño del cilindro y reemplazar si presenta fallas	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	1	Medir presión del sistema hidráulico con instrumentos calibrados	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Inspeccionar bomba, válvulas y componentes del sistema	250 h	Mantenimiento	Preventivo
D	**3**	Supervisar operación para evitar cargas superiores a capacidad	Diario	Operador	Proactivo
	4	Verificar y ajustar parámetros del sistema hidráulico	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	5	Evaluar desempeño y proponer mejoras técnicas	Condición	Ingeniería	Proactivo
	1	Reemplazar filtro hidráulico según plan de mantenimiento	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Cambiar aceite hidráulico según especificación del fabricante	500 h	Mantenimiento	Preventivo
E	**3**	Realizar purga del sistema hidráulico eliminando aire atrapado	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	4	Evaluar caudal y presión de la bomba hidráulica	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	5	Verificar funcionamiento y limpieza de válvulas de control	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	1	Inspeccionar visualmente presencia de grietas en estructura	250 h	Mantenimiento	Preventivo
F	**2**	Controlar operación dentro de límites de diseño	Diario	Operador	Proactivo
	3	Realizar ensayos no destructivos (líquidos penetrantes)	1000 h	Mantenimiento	Predictivo
	4	Inspeccionar zonas críticas después de impactos	250 h	Mantenimiento	Preventivo

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
	5	Limpiar y proteger superficies metálicas expuestas	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	1	Verificar funcionamiento y extensión de estabilizadores	Diario	Operador	Autónomo
	2	Inspeccionar fugas en cilindros de estabilización	Diario	Operador	Proactivo
G	3	Evaluar condiciones del terreno antes de operar	Diario	Operador	Proactivo
	4	Capacitar al operador en procedimientos seguros	Mensual	Mantenimiento	Proactivo
	5	Inspeccionar estado de zapatas y superficie de apoyo	250 h	Mantenimiento	Preventivo

Nota. Elaboración propia.

Tabla 183

Estrategia de Mant. del Sistema de Combustible-Retroexcavadora

		TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	EJECUTOR	TIPO MANT.
	1	Reemplazar filtro de combustible	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	2	Drenar agua del separador de combustible	Diario	Operador	Autónomo
A	3	Reemplazar filtro de combustible	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	4	Verificar especificación y calidad del filtro instalado	500 h	Mantenimiento	Proactivo
	1	Drenar tanque y separador de agua periódicamente	Diario	Operador	Autónomo
	2	Realizar filtrado o cambio de combustible contaminado	Condición	Mantenimiento	Correctivo
B	3	Abastecimiento en lugares confiables	Permanente	Operador/ Supervisor	Proactivo
	4	Limpiar tanque de combustible	1000 h	Mantenimiento	Preventivo
	5	Capacitación de operador, check list	Anual	Supervisor	Proactivo
	1	Evaluar presión y caudal de la bomba	1000 h	Mantenimiento	Preventivo
C	2	Verificar limpieza del sistema de combustible	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	3	Revisar líneas y limpiar sistema de alimentación	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	1	Inspeccionar estado de mangueras y reemplazar si es necesario	Diario / Condición	Operador / Mantenimiento	Autónomo / Correctivo
	2	Verificar y ajustar conexiones del sistema	Diario	Operador	Proactivo
D	3	Reemplazar sellos defectuosos	Condición	Mantenimiento	Correctivo
	4	Inspeccionar fijaciones y soportes de líneas	250 h	Mantenimiento	Preventivo
	5	Verificar montaje de líneas según especificaciones	250 h	Mantenimiento	Proactivo
	1	Verificar flujo de combustible hacia el motor	250 h	Mantenimiento	Preventivo
E	2	Realizar limpieza o calibración de inyectores	1000 h	Mantenimiento	Predictivo
	3	Medir presión del sistema de combustible	500 h	Mantenimiento	Preventivo
	4	Controlar calidad del combustible	Diario	Operador	Proactivo

Nota. Elaboración propia.

4.10. Paso 9: Presentación de Resultados

4.10.1. Segundo análisis del historial de fallas de activos críticos

En esta etapa se registra el historial de fallas desde marzo-agosto del año 2025, permitiendo obtener datos para poder realizar el segundo análisis.

Tabla 184

1er.Historial de fallas – Camión Grúa Freightliner 1-2-4-CGF-01

CAMIÓN GRUA FREIGHTLINER 1-2-4-CGF-01				
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):				**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Lubricación	10	Cambio de aceite y filtro de aceite	2
2	Admisión	12	Cambio de filtro de aire	1
3	Combustible	13	Cambio de filtro de combustible y separador de agua	1
4	Estructura	83	Aplicación de undercoating	8
5	Neumáticos	131	Parchado de neumático	4
6	Grúa	155	Engrase de pluma y estabilizadores	8
7	Estructura	235	Reparación de puerta lateral de tolva	6
8	Eléctrico	315	Neblineros inferiores no encienden	2
9	Frenos	435	Inspección de sistemas de freno	8
10	Eléctrico	745	Pértiga en mal estado	8
11	Grúa	769	Engrase de pluma y estabilizadores	6
12	Grúa	775	Cambio de gancho de izaje	2
13	Refrigeración	777	Recarga de líquido refrigerante	1
14	Estructura	877	Reparación de parachoques posterior	48
15	Lubricación	2763	Cambio de aceite y filtro de aceite	2
16	Admisión	2765	Cambio de filtro de aire	1
17	Combustible	2766	Cambio de filtro de combustible y separador de agua	1
18	Estructura	4090	Aplicación de undercoating	8
19	Motor	4114	Limpieza de motor	4
20	Escape	4214	Cambio de tubo de escape	48
21	Suspensión	4262	Inspección y limpieza de suspensión	8
22	Dirección	4302	Engrase de terminales, rótulas y pivotes	4
23	Transmisión	4306	Engrase de cruceta	2

Nota. Elaboración propia.

Tabla 185

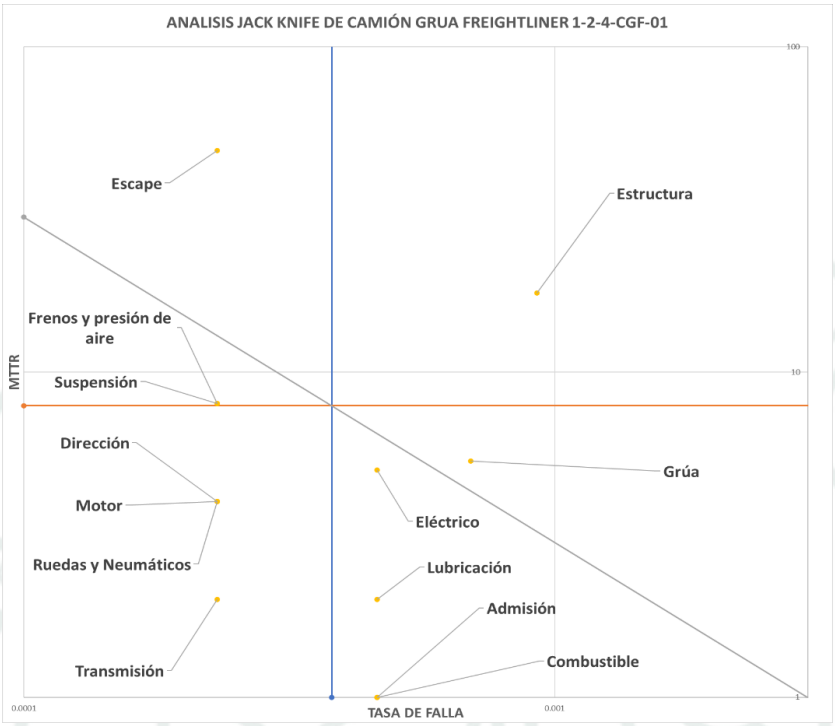
1er.Base de Datos del Diagrama Jack knife – 1-3-5-CGS-01

CAMIÓN GRUA FREIGHTLINER 1-2-4-CGF-01					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Estructura	5285	4	17.50	0.000925926	1.62%
Motor	4114	1	4.00	0.000231481	0.09%
Admisión	2777	2	1.00	0.000462963	0.05%
Combustible	2779	2	1.00	0.000462963	0.05%
Escape	4214	1	48.00	0.000231481	1.11%
Lubricación	2773	2	2.00	0.000462963	0.09%
Refrigeración	777	1	0.50	0.000231481	0.01%
Frenos y presión de aire	435	1	8.00	0.000231481	0.19%
Suspensión	4262	1	8.00	0.000231481	0.19%
Dirección	4302	1	4.00	0.000231481	0.09%
Eléctrico	1060	2	5.00	0.000462963	0.23%
Transmisión	4306	1	2.00	0.000231481	0.05%
Ruedas y Neumáticos	131	1	4.00	0.000231481	0.09%
Grúa	1699	3	5.33	0.000694444	0.37%

Nota. Elaboración propia.

Figura 74

1er.Diagr. de Jack knife- Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-01



Nota. Elaboración propia.

Tabla 186

1er.Historial de fallas – Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-01

CAMIÓN GRUA SCANIA 1-3-5-CGS-01				
	HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025) :			**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Frenos	60	Inspección de sistema de frenos	12
2	Estructura	180	Pintado de tolva	192
3	Eléctrico	182	Instalación de neblineros superiores	8
4	Grúa	332	Engrase de pluma de grúa	8
5	Neumáticos	862	Parchado de neumático delantero derecho	5
6	Lubricación	864	Cambio de aceite y filtro de aceite	3
7	Admisión	867	Cambio de filtro de aire primario, secundario	1
8	Combustible	868	Cambio de filtro de combustible y separador	1
9	Estructura	958	Aplicación de undercoating	24
10	Grúa	1508	Cambio de filtro hidráulico, retorno, aire	2
11	Grúa	1510	Cambio de aceite hidráulico	3
12	Grúa	2010	Bloqueo de grúa	8
13	Motor	2410	Limpieza de motor	2
14	Eléctrico	2910	Peinado de cables eléctricos extras	14
15	Combustible	3510	Limpieza del tanque de combustible	120
16	Suspensión	4160	Inspección de suspensión	8
17	Escape	4168	Inspección de tubo de escape	2
18	Eléctrico	4298	Focos laterales quemados	4
19	Refrigeración	4302	Aumento del nivel de líquido refrigerante	2
20	Dirección	4304	Fuga de aceite hidráulico en la junta de la porta servodirección	48
21	Transmisión	4314	Inspección y engrase de crucetas	6

Nota. Elaboración propia.

Tabla 187

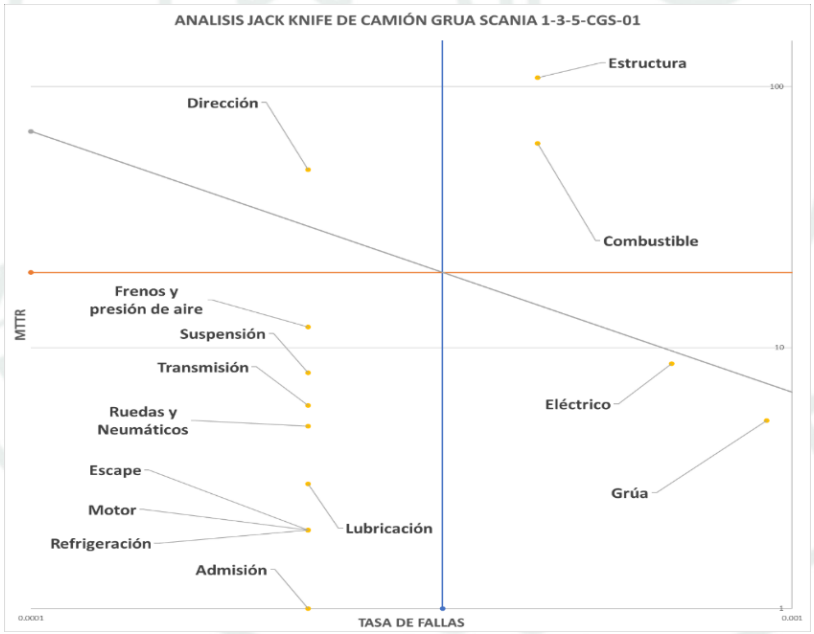
1er.Base de Datos del Diagrama Jack knife – 1-3-5-CGS-01

CAMIÓN GRUA FREIGHTLINER 1-2-2-CGF-02					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Estructura	1138	2	108.0	0.000462963	5.00%
Motor	2410	1	2.0	0.000231481	0.05%
Admisión	867	1	1.0	0.000231481	0.02%
Combustible	4378	2	60.5	0.000462963	2.80%
Escape	4168	1	2.0	0.000231481	0.05%
Lubricación	864	1	3.0	0.000231481	0.07%
Refrigeración	4302	1	2.0	0.000231481	0.05%
Frenos y presión de aire	60	1	12.0	0.000231481	0.28%
Suspensión	4160	1	8.0	0.000231481	0.19%
Dirección	4304	1	48.0	0.000231481	1.11%
Eléctrico	7390	3	8.7	0.000694444	0.60%
Transmisión	4314	1	6.0	0.000231481	0.14%
Ruedas y Neumáticos	862	1	5.0	0.000231481	0.12%
Grúa	5360	4	5.3	0.000925926	0.49%

Nota. Elaboración propia.

Figura 75

1er.Diagr. de Jack knife- Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-01



Nota. Elaboración propia.

Tabla 188

1er.Historial de fallas – Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-02

CAMIÓN GRUA SCANIA 1-3-5-CGS-02				
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):				**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Estructura	15	Aplicación de undercoating	8
2	Eléctrico	56	Pértiga en mal estado	4
3	Grúa	60	Engrase de grúa	6
4	Lubricación	62	Cambio de aceite y filtro de aceite	2
5	Admisión	64	Cambio de filtro de aire	1
6	Combustible	65	Cambio de filtro de combustible y separador	1
7	Frenos	66	Zapatas cristalizadas	24
8	Grúa	186	Bajo nivel del aceite hidráulico	1
9	Eléctrico	187	Botón corta corriente defectuoso	6
10	Dirección	450	Inspección de bieletas	4
11	Transmisión	454	Engrase de crucetas	3
12	Neumáticos	655	Cambio de neumáticos delanteros	4
13	Grúa	2289	Inspección de estabilizadores	4
14	Escape	2293	Ajuste de tubo de escape	5
15	Grúa	2643	Cambio de filtro hidráulico, retorno, aire	1
16	Grúa	2644	Cambio de aceite hidráulico	2
17	Lubricación	2646	Cambio de aceite y filtro de aceite	2
18	Admisión	2648	Cambio de filtro de aire	1
19	Combustible	2649	Cambio de filtro de combustible y separador de agua	1
20	Motor	3649	Fuga de aceite tapón de Carter	2
21	Grúa	3651	Engrase de grúa	8
22	Grúa	4101	Fuga de aceite hidráulico por tapa de tanque	3
23	Grúa	4203	Engrase de grúa	8
24	Refrigeración	4211	Aumento de líquido refrigerante	3
25	Grúa	4291	Ajuste de cañería metálica	8
26	Frenos	4299	Cambio de zapatas	12
27	Suspensión	4311	Inspección de suspensión	5
28	Frenos	4316	Ajuste de frenos delanteros tambor	8

Nota. Elaboración propia.

Tabla 189

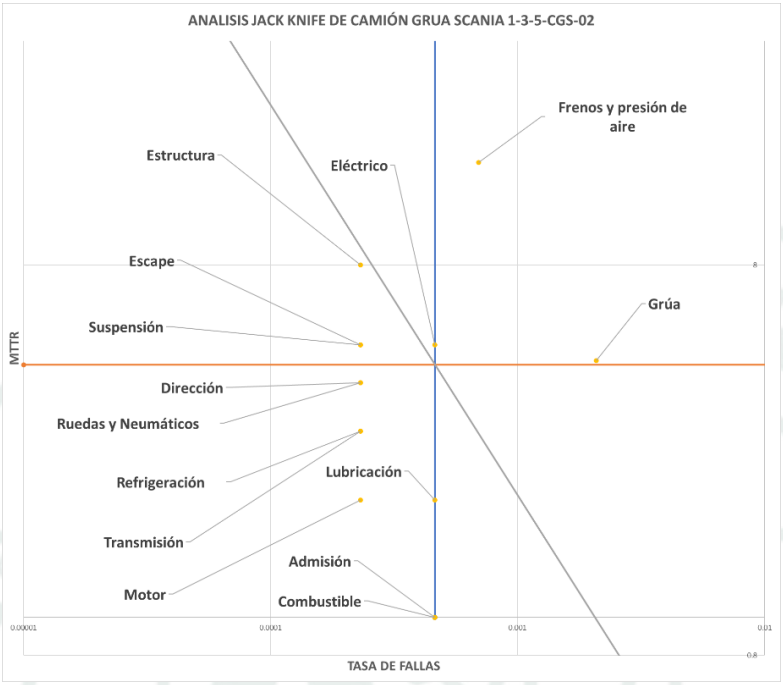
1er.Base de Datos del Diagrama Jack knife – 1-3-5-CGS-02

CAMIÓN GRUA SCANIA 1-3-5-CGS-02					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Estructura	15	1	8.0	0.000231481	0.19%
Motor	3649	1	2.0	0.000231481	0.05%
Admisión	2712	2	1.0	0.000462963	0.05%
Combustible	2714	2	1.0	0.000462963	0.05%
Escape	2293	1	5.0	0.000231481	0.12%
Lubricación	2708	2	2.0	0.000462963	0.09%
Refrigeración	4211	1	3.0	0.000231481	0.07%
Frenos	8681	3	14.7	0.000694444	1.02%
Suspensión	4311	1	5.0	0.000231481	0.12%
Dirección	450	1	4.0	0.000231481	0.09%
Eléctrico	243	2	5.0	0.000462963	0.23%
Transmisión	454	1	3.0	0.000231481	0.07%
Ruedas y Neumáticos	655	1	4.0	0.000231481	0.09%
Grúa	24068	9	4.6	0.002083333	0.95%

Nota. Elaboración propia.

Figura 76

1er.Diagr. de Jack knife- Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-02



Nota. Elaboración propia.

Tabla 190

1er.Historial de fallas – Montacargas 1-3-5-MOK-01

MONTACARGAS 1-3-5-MOK-01				
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):				**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Lubricación	50	Cambio de aceite y filtro de aceite	2
2	Admisión	52	Cambio del filtro de aire	1
3	Combustible	53	Cambio del filtro de combustible	1
4	Carga	77	Engrase de árbol de elevación	3
5	Carga	79	Limpieza de mástil	4
6	Carga	81	Engrase de mástil	2
7	Eléctrico	83	Inspección de componentes eléctricos	2
8	Frenos	193	Cambio De aceite de freno	3
9	Transmisión	196	Cambio de aceite de transmisión	3
10	Lubricación	403	Cambio de aceite y filtro de aceite	3
11	Admisión	405	Cambio del filtro de aire	1
12	Combustible	406	Cambio del filtro de combustible	1
13	Motor	407	Limpieza de motor	1
14	Arranque	2307	Inspección del arrancador	2
15	Eléctrico	2427	Focos de freno quemados	1
16	Neumáticos	2987	Parchado de neumáticos	3
17	Refrigeración	3107	Aumento del líquido de refrigeración	1
18	Frenos	3357	Ajuste del pedal de freno	2
19	Estructura	3587	Pintado de montacargas	120
20	Combustible	4068	Drenaje del separador de agua	1
21	Admisión	4069	Limpieza del filtro de aire	1
22	Refrigeración	4119	Limpieza del radiador	1
23	Refrigeración	4229	Radiador roto	48
24	Neumáticos	4253	Cambio de neumáticos	3

Nota. Elaboración propia.

Tabla 191

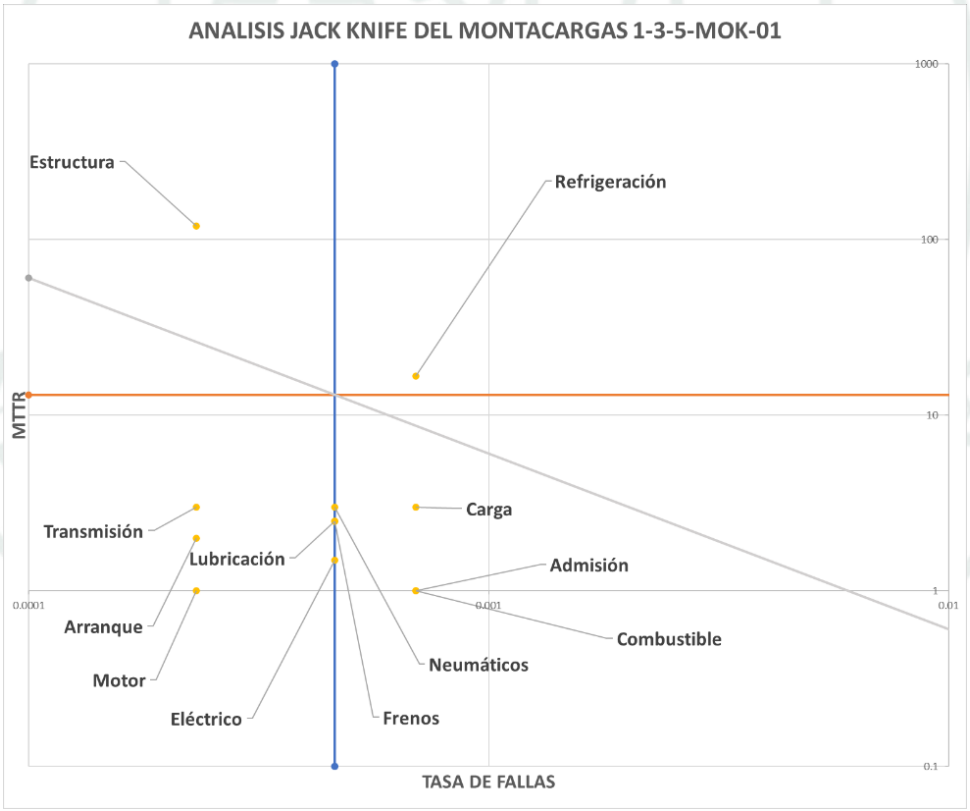
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Montacargas 1-3-5-MOK-01

MONTACARGAS 1-3-5-MOK-01					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Estructura	3587	1	120	0.000231481	2.78%
Motor	407	1	1	0.000231481	0.02%
Lubricación	453	2	3	0.000462963	0.12%
Combustible	4527	3	1	0.000694444	0.07%
Refrigeración	11455	3	17	0.000694444	1.16%
Admisión	4526	3	1	0.000694444	0.07%
Transmisión	196	1	3	0.000231481	0.07%
Arranque	2307	1	2	0.000231481	0.05%
Eléctrico	2510	2	2	0.000462963	0.07%
Neumáticos	7240	2	3	0.000462963	0.14%
Frenos	3550	2	3	0.000462963	0.12%
Carga	237	3	3	0.000694444	0.21%

Nota. Elaboración propia.

Figura 77

Diagrama de Jack knife- Montacargas 1-3-5-MOK-01



Nota. Elaboración propia.

Tabla 192

1er.Historial de fallas – Montacargas 1-3-5-MOE-01

MONTACARGAS 1-3-5-MOE-01				
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):				**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Lubricación	12	Cambio de aceite y de filtro de aceite	3
2	Admisión	13	Cambio de filtro de aire pri. y sec.	1
3	Combustible	15	Cambio de filtro de combustible separador de agua	2
4	Aire A/C	16	Cambio filtro aire acondicionado	1
5	Carga	20	Limpieza de mástil y engrase	4
6	Frenos	24	Aumento del líquido de freno	1
7	Lubricación	1492	Cambio de aceite y de filtro de aceite	3
8	Admisión	1495	Cambio de filtro de aire pri. y sec.	1
9	Carga	1496	Limpieza de mástil y engrase	4
10	Combustible	1500	Cambio de filtro de combustible separador de agua	2
11	Aire A/C	1502	Cambio filtro aire acondicionado	1
12	Eléctrico	1503	Focos de freno quemados	1
13	Eléctrico	1504	Cámara de retroceso inoperativa	48
14	Combustible	1624	Falla en suministro de combustible	1
15	Refrigeración	1625	Aumento de refrigerante	1
16	Lubricación	3082	Cambio de aceite y de filtro de aceite	2
17	Admisión	3084	Cambio de filtro de aire primario y sec	1
18	Combustible	3085	Cambio de filtro de combustible	2
19	Transmisión	3087	Cambio de aceite diferencial	2
20	Transmisión	3089	Cambio aceite y filtro transmisión	2
21	Hidráulico	3091	Cambio de aceite hidráulico	1
22	Hidráulico	3092	Cambio de filtro de retorno hidráulico	1
23	Frenos	3093	Cambio de aceite de freno	1
24	Carga	3094	Limpieza de mástil	3
25	Carga	3097	Engrase de mástil	2
26	Estructura	3099	Pulverizado de montacargas	1
27	Motor	3100	Limpieza de motor	1
28	Neumáticos	4210	Parchado de neumáticos	8
29	Refrigeración	4258	Aumento de refrigerante	1
30	Admisión	4259	Limpieza del filtro de aire	1

Nota. Elaboración propia.

Tabla 193

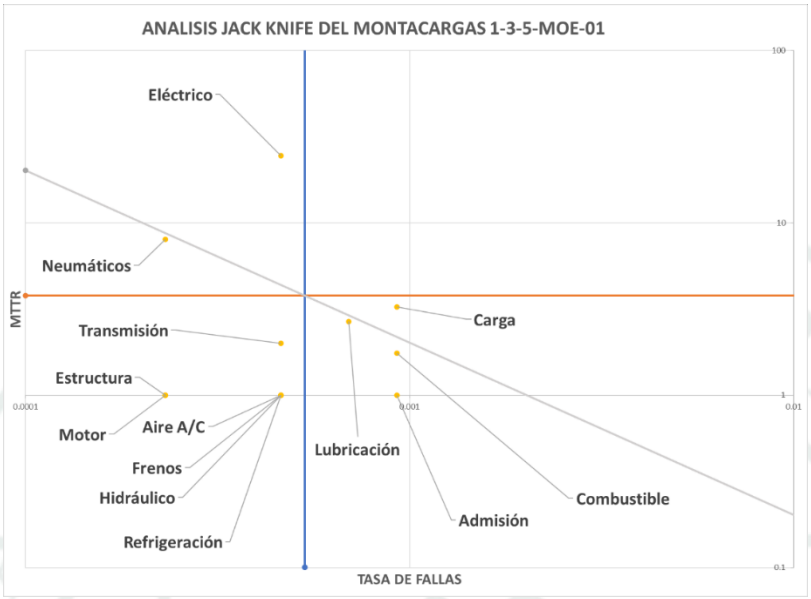
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Montacargas 1-3-5-MOE-01

MONTACARGAS 1-3-5-MOE-01					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Estructura	3099	1	1	0.000231481	0.02%
Motor	3100	1	1	0.000231481	0.02%
Lubricación	4586	3	3	0.000694444	0.19%
Combustible	6224	4	2	0.000925926	0.16%
Refrigeración	5883	2	1	0.000462963	0.05%
Admisión	8851	4	1	0.000925926	0.09%
Transmisión	6176	2	2	0.000462963	0.09%
Eléctrico	3007	2	25	0.000462963	1.13%
Neumáticos	4210	1	8	0.000231481	0.19%
Frenos	3117	2	1	0.000462963	0.05%
Hidráulico	6183	2	1	0.000462963	0.05%
Carga	7707	4	3	0.000925926	0.30%
Aire A/C	1518	2	1	0.000462963	0.05%

Nota. Elaboración propia.

Figura 78

Diagrama de Jack knife- Montacargas 1-3-5-MOE-01



Nota. Elaboración propia.

Tabla 194

1er.Historial de fallas – Montacargas 1-3-5-MOE-02

MONTACARGAS 1-3-5-MOE-02				
	HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):			**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Combustible	120	Cambio separador de agua	1
2	Aire A/C	121	Cambio filtro aire acondicionado	1
3	Lubricación	122	Cambio de aceite y filtro de aceite motor	2
4	Admisión	124	Cambio de filtro de aire primario y sec.	1
5	Combustible	125	Cambio de filtro de combustible separador de agua	1
6	Transmisión	1410	Cambio de aceite diferencial	3
7	Transmisión	1413	Cambio aceite y de filtro de transmisión	3
8	Carga	1416	Engrase de árbol de elevación	2
9	Refrigeración	1418	Aumento de líquido refrigerante	1
10	Estructura	1419	Pulverizado de montacargas	1
11	Combustible	1420	Cambio separador de agua	1
12	Aire A/C	1421	Cambio filtro aire acondicionado	1
13	Lubricación	1422	Cambio de aceite y filtro de aceite motor	2
14	Admisión	1424	Cambio de filtro de aire primario y sec.	1
15	Combustible	2624	Filtro de combustible obstruido	1
16	Combustible	2844	Falla en suministro de combustible	2
17	Aire A/C	3194	Cambio filtro aire acondicionado	1
18	Frenos	3195	Cambio De aceite de freno	3
19	Motor	3198	Limpieza de motor	1
20	Eléctrico	3898	Focos de freno quemados	1
21	Eléctrico	3899	Falla en interruptor de encendido (chapa)	4
22	Frenos	4289	Desgaste de pastillas de freno	8
23	Combustible	4297	Falla en suministro de combustible	1
24	Refrigeración	4298	Aumento del líquido de refrigeración	1
25	Admisión	4299	Limpieza del filtro de aire	1

Nota. Elaboración propia.

Tabla 195

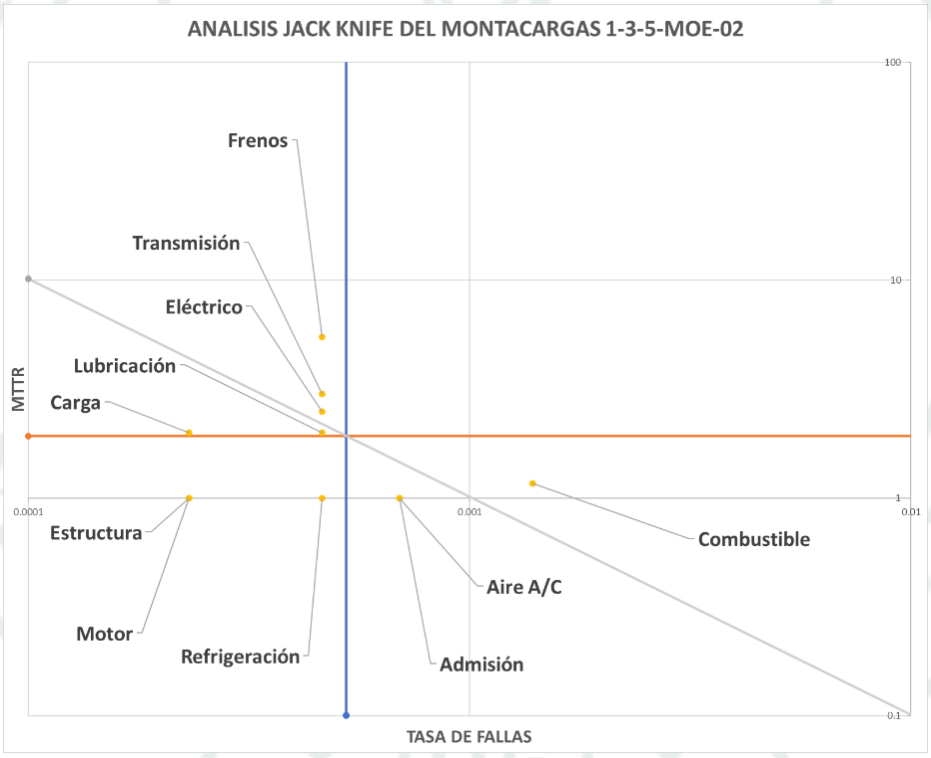
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Montacargas 1-3-5-MOE-02

MONTACARGAS 1-3-5-MOE-02					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Estructura	1419	1	1	0.00023148	0.02%
Motor	3198	1	1	0.00023148	0.02%
Lubricación	1544	2	2	0.00046296	0.09%
Combustible	11430	6	1	0.00138889	0.16%
Refrigeración	5716	2	1	0.00046296	0.05%
Admisión	5847	3	1	0.00069444	0.07%
Transmisión	2823	2	3	0.00046296	0.14%
Eléctrico	7797	2	3	0.00046296	0.12%
Frenos	7484	2	6	0.00046296	0.25%
Carga	1416	1	2	0.00023148	0.05%
Aire A/C	4736	3	1	0.00069444	0.07%

Nota. Elaboración propia.

Figura 79

Diagrama de Jack knife- Montacargas 1-3-5-MOE-02



Nota. Elaboración propia.

Tabla 196

1er.Historial de fallas – Minibús 1-3-5-MIB-01

MINIBUS RENAULT MASTER 1-3-5-MIB-01				
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):				**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Motor	10	Inspección del arrancador	24
2	Carrocería	12	Manija de puerta pasajeros rota	4
3	Frenos	36	Rectificación de discos de frenos	6
4	Carrocería	586	Aplicación de undercoating	8
5	Eléctrico	1186	Alarma de retroceso no funciona	4
6	Eléctrico	1190	Focos laterales no encienden	2
7	Lubricación	1470	Cambio de aceite y filtro de aceite	3
8	Admisión	1473	Cambio del filtro de aire	1
9	Combustible	1474	Cambio del filtro de combustible	1
10	Neumáticos	1534	Cambio de neumáticos	2
11	Refrigeración	1536	Bajo nivel de líquido refrigerante	2
12	Frenos	1556	Perdida de frenado	4
13	Neumáticos	1604	Alineamiento y balanceo de neumáticos	2
14	Admisión	1606	Limpieza de filtro de aire	2
15	Carrocería	1696	Aplicación de undercoating	8
16	Eléctrico	1704	Pértiga defectuosa	3
17	Motor	1707	Limpieza de motor	3
18	Lubricación	3450	Cambio de aceite y filtro de aceite	3
19	Admisión	3453	Cambio del filtro de aire	1
20	Combustible	3454	Cambio del filtro de combustible	1
21	Lubricación	3904	Bajo nivel de aceite	1
22	Frenos	4304	Cambio de pastillas de freno	4
23	Frenos	4308	Purga de sistema de frenos	1
24	Suspensión	4309	Inspección de suspensión	3
25	Transmisión	4312	Engrase de polieres	4
26	Dirección	4316	Lubricación de cremallera	4

Nota. Elaboración propia.

Tabla 197

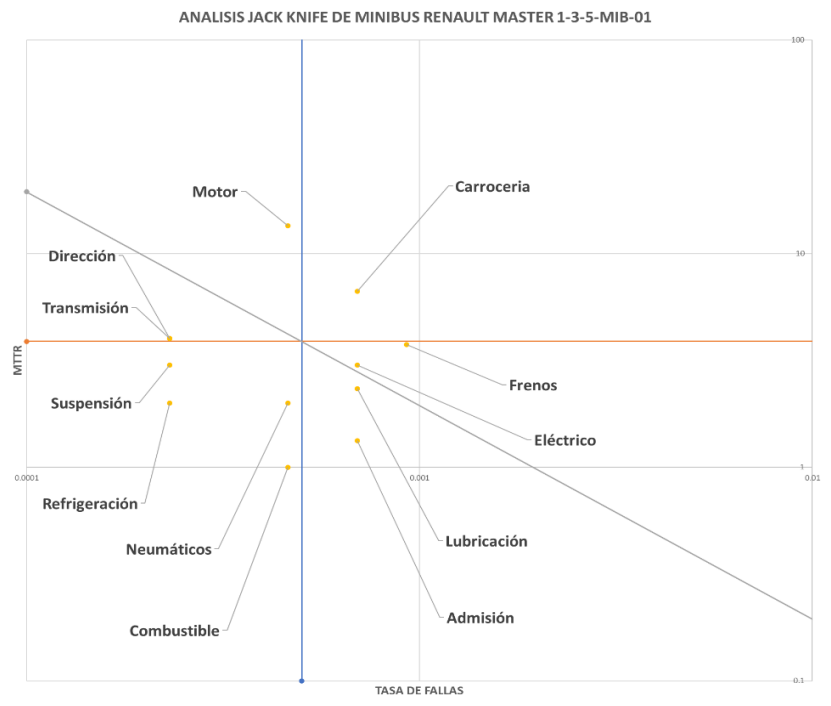
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Minibús 1-3-5-MIB-01

MINIBUS RENAULT MASTER 1-3-5-MIB-01					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Carrocería	2294	3	6.67	0.000694444	0%
Motor	1717	2	13.50	0.000462963	1%
Refrigeración	1536	1	2.00	0.000231481	0%
Combustible	4928	2	1.00	0.000462963	0%
Lubricación	8824	3	2.33	0.000694444	0%
Admisión	6532	3	1.33	0.000694444	0%
Dirección	4316	1	4.00	0.000231481	0%
Transmisión	4312	1	4.00	0.000231481	0%
Suspensión	4309	1	3.00	0.000231481	0%
Frenos	10204	4	3.75	0.000925926	0%
Neumáticos	3138	2	2.00	0.000462963	0%
Eléctrico	4080	3	3.00	0.000694444	0%

Nota. Elaboración propia.

Figura 80

Diagrama de Jack knife- Minibús 1-3-5-MIB-01



Nota. Elaboración propia.

Tabla 198

1er.Historial de fallas – Minibús 1-4-2-MIB-03

MINIBUS RENAULT MASTER 1-4-2-MIB-03				
	HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):			**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Lubricación	15	Cambio de aceite	2
2	Lubricación	17	Cambio de filtro de aceite	1
3	Admisión	18	Cambio de filtro de aire	1
4	Combustible	19	Cambio de filtro de combustible	2
5	Admisión	139	Filtro de aire saturado por polvo	2
6	Refrigeración	599	Radiador obstruido por polvo	4
7	Frenos	749	Pastillas de freno cristalizadas	8
8	Motor	773	Limpieza de motor	2
9	Neumáticos	893	Cambio de neumáticos	8
10	Neumáticos	901	Alineamiento y balanceo	2
11	Lubricación	1960	Cambio de aceite	2
12	Lubricación	1962	Cambio de filtro de aceite	1
13	Admisión	1963	Cambio de filtro de aire	1
14	Combustible	1964	Cambio de filtro de combustible	1
15	Frenos	3564	Desgaste de pastillas	4
16	Frenos	3568	Purga de sistema de frenos	1
17	Suspensión	3968	Rotura de bieleta	24
18	Transmisión	4028	Rotura de capuchones de palieres	6
19	Transmisión	4034	Engrase de palieres	2
20	Dirección	4229	Fuga de aceite hidráulico por manguera	48
21	Eléctrico	4277	Focos laterales no encienden	2
22	Carrocería	4311	Aplicación de undercoating	8

Nota. Elaboración propia.

Tabla 199

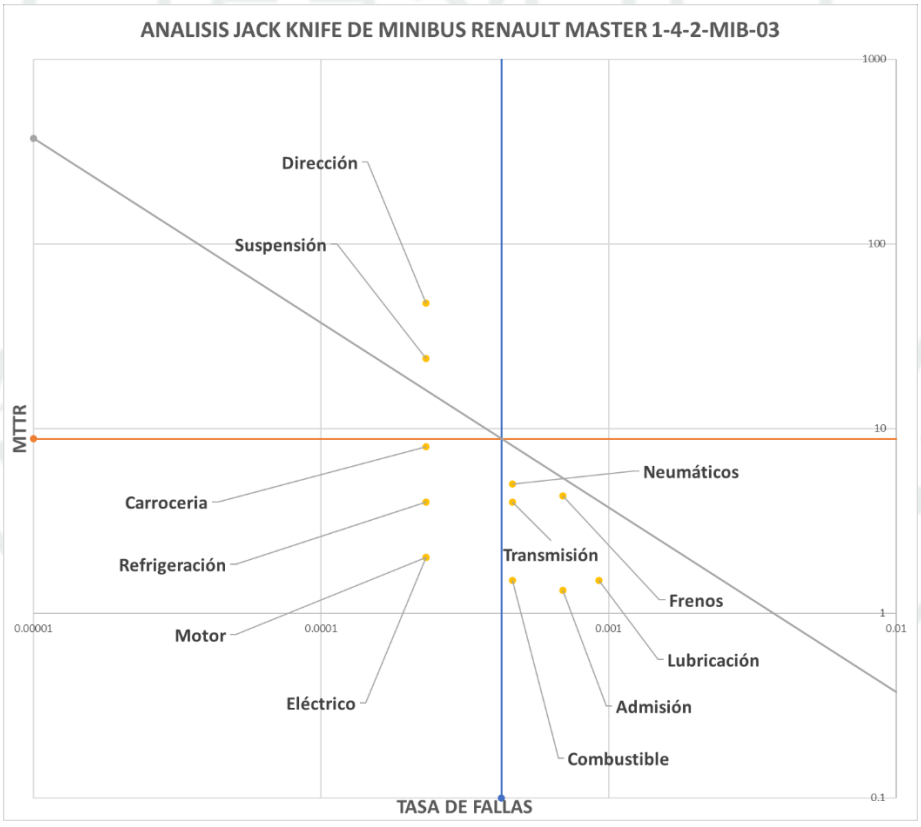
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Minibús 1-4-2-MIB-03

MINIBUS RENAULT MASTER 1-4-2-MIB-03					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Carrocería	4311	1	8	0.000231481	0.19%
Motor	773	1	2	0.000231481	0.05%
Refrigeración	599	1	4	0.000231481	0.09%
Combustible	1983	2	2	0.000462963	0.07%
Lubricación	3954	4	2	0.000925926	0.14%
Admisión	2120	3	1	0.000694444	0.09%
Dirección	4229	1	48	0.000231481	1.11%
Transmisión	8062	2	4	0.000462963	0.19%
Suspensión	3968	1	24	0.000231481	0.56%
Frenos	7881	3	4	0.000694444	0.30%
Neumáticos	1794	2	5	0.000462963	0.23%
Eléctrico	4277	1	2	0.000231481	0.05%

Nota. Elaboración propia.

Figura 81

Diagrama de Jack knife- Montacargas Minibús 1-4-2-MIB-03



Nota. Elaboración propia.

Tabla 200

1er.Historial de fallas – Minibús 1-5-3-MIB-04

MINIBUS RENAULT MASTER 1-5-3-MIB-04				
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):				**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Refrigeración	30	Radiador parcialmente obstruido	3
2	Refrigeración	33	Falla de termostato	24
3	Frenos	36	Pastillas de freno Desgastadas	4
4	Frenos	40	Rectificación de discos	4
5	Motor	44	Limpieza de motor	2
6	Refrigeración	46	Bajo nivel de refrigerante	1
7	Carrocería	118	Aplicación de undercoating	8
8	Lubricación	196	Cambio de aceite y filtro de aceite	2
9	Admisión	198	Cambio del filtro de aire	1
10	Combustible	199	Cambio del filtro de combustible	1
11	Admisión	200	Cambio de filtro de A/C	1
12	Frenos	280	Desgaste de pastillas	6
13	Frenos	286	Purga de sistema de frenos	1
14	Lubricación	2146	Cambio de aceite y filtro de aceite	2
15	Admisión	2148	Cambio del filtro de aire	1
16	Combustible	2149	Cambio del filtro de combustible	1
17	Neumáticos	3099	Cambio de neumáticos	2
18	Transmisión	3179	Desgaste de embrague	48
19	Frenos	3429	Pastillas de freno cristalizados	4
20	Frenos	3433	Disco de freno roto	2
21	Lubricación	3783	Cambio de aceite y de filtro de aceite	2
22	Dirección	3785	Lubricación de cremallera	4
23	Frenos	3886	Pastillas de freno cristalizados	4
24	Neumáticos	4136	Cambio de neumáticos	8
25	Eléctrico	4144	Focos laterales no enciende y pértiga	6
26	Suspensión	4152	Inspección de suspensión	3
27	Carrocería	4267	Desajuste de puertas	2
28	Neumáticos	4315	Corte lateral por piedras	2

Nota. Elaboración propia.

Tabla 201

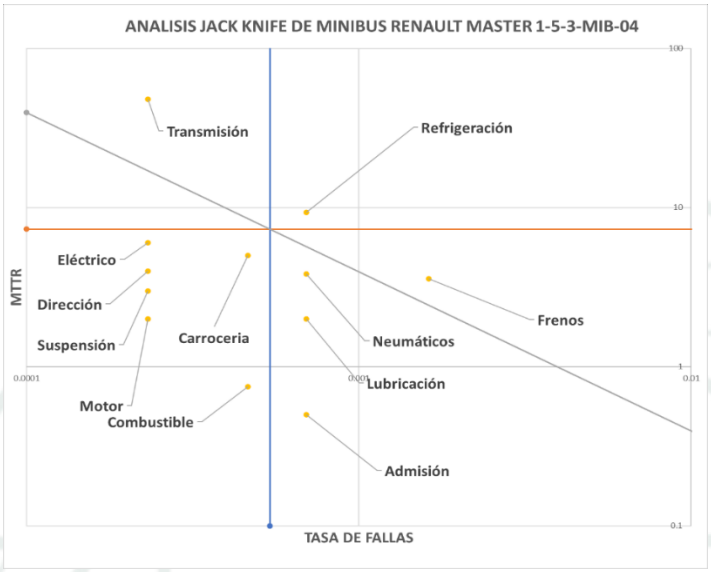
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Minibús 1-5-3-MIB-04

MINIBUS RENAULT MASTER 1-5-3-MIB-04					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):				**4320 Hr**	
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Carrocería	4385	2	5	0.000462963	0.23%
Motor	44	1	2	0.000231481	0.05%
Refrigeración	109	3	9	0.000694444	0.65%
Combustible	2347	2	1	0.000462963	0.03%
Lubricación	6124.5	3	2	0.000694444	0.14%
Admisión	2545.5	3	1	0.000694444	0.03%
Dirección	3784.5	1	4	0.000231481	0.09%
Transmisión	3178.5	1	48	0.000231481	1.11%
Suspensión	4152	1	3	0.000231481	0.07%
Frenos	11388	7	4	0.00162037	0.58%
Neumáticos	11549.5	3	4	0.000694444	0.27%
Eléctrico	4144	1	6	0.000231481	0.14%

Nota. Elaboración propia.

Figura 82

Diagrama de Jack knife- Montacargas Minibús 1-5-3-MIB-04



Nota. Elaboración propia.

Tabla 202

1er.Historial de fallas – Combi 1-3-5-COC-01

COMBI CUSTER HYUNDAI COUNTY 1-3-5-COC-01				
	HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):			**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Lubricación	8	Cambio de aceite y filtro de aceite	2
2	Admisión	10	Cambio del filtro de aire	1
3	Combustible	11	Cambio del filtro de combustible	1
4	Eléctrico	120	Fallo en el sistema de iluminación lateral	2
5	Eléctrico	122	Mal funcionamiento de la pértiga luminosa	4
6	Eléctrico	222	Sulfatación en los terminales de la batería	2
7	Frenos	342	Inspección de válvula mariposa	1
8	Suspensión	343	Inspección de suspensión	3
9	Carrocería	535	Aplicación de undercoating	8
10	Neumáticos	655	Sustitución de neumáticos por desgaste	2
11	Neumáticos	657	Balanceo	3
12	Lubricación	1891	Cambio de aceite y filtro de aceite	2
13	Admisión	1893	Cambio del filtro de aire	1
14	Combustible	1894	Cambio del filtro de combustible	1
15	Carrocería	2850	Pintado de techo	72
16	Frenos	3044	Reemplazo de zapatas del sistema de frenos	8
17	Eléctrico	3542	Corrosión en terminales eléctricos de batería	5
18	Carrocería	3792	Restauración del parachoques posterior	48
19	Motor	3840	Daño estructural en el sistema de escape	8
20	Frenos	3888	Regulación de freno de estacionamiento	4
21	Transmisión	4038	Lubricación de los ejes de transmisión	8
22	Dirección	4046	Disminución del fluido en el sistema de dirección	2
23	Frenos	4196	Cristalización de zapatas de freno	8
24	Refrigeración	4268	Presencia de fisuras en el radiador	48
25	Carrocería	4316	Aplicación de undercoating	8
26	Refrigeración	4324	Bajo nivel de refrigerante	2
27	Admisión	4326	Filtro de aire obstruido	1

Nota. Elaboración propia.

Tabla 203

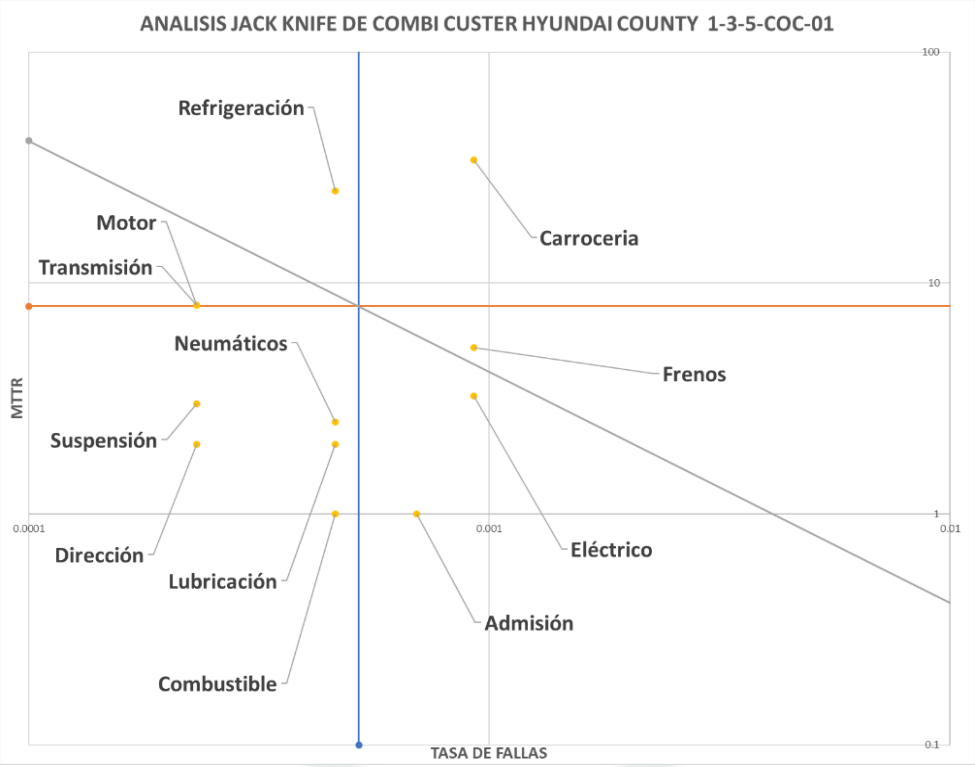
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Combi 1-3-5-COC-01

COMBI CUSTER HYUNDAI COUNTY 1-3-5-COC-01					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Carrocería	11493	4	34	0.000925926	3.15%
Motor	3840	1	8	0.000231481	0.19%
Refrigeración	8592	2	25	0.000462963	1.16%
Combustible	1905	2	1	0.000462963	0.05%
Lubricación	1899	2	2	0.000462963	0.09%
Admisión	6229	3	1	0.000694444	0.07%
Dirección	4046	1	2	0.000231481	0.05%
Transmisión	4038	1	8	0.000231481	0.19%
Suspensión	343	1	3	0.000231481	0.07%
Frenos	11470	4	5	0.000925926	0.49%
Neumáticos	1312	2	3	0.000462963	0.12%
Eléctrico	4006	4	3	0.000925926	0.30%

Nota. Elaboración propia.

Figura 83

Diagrama de Jack knife- Combi 1-3-5-COC-01



Nota. Elaboración propia.

Tabla 204

1er.Historial de fallas – Camioneta 1-3-5-CAF-01

CAMIONETA 1-1-5-CAF-01				
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):				**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Neumáticos	20	Rotación de neumáticos	2
2	Frenos	44	Inspección del sistema de freno	2
3	Frenos	46	Pastillas de freno desgastadas	3
4	Refrigeración	126	Bajo nivel de líquido refrigerante	2
5	Frenos	376	Bajo nivel de líquido de freno	2
6	Admisión	456	Limpieza de filtro de aire	2
7	Lubricación	886	Cambio de aceite y filtro de aceite	3
8	Admisión	889	Cambio del filtro de aire	1
9	Combustible	890	Cambio del filtro de combustible	1
10	Neumáticos	938	Parchado de neumático delantero derecho	2
11	Neumáticos	1058	Cambio de neumáticos	4
12	Dirección	1062	Alineamiento y balanceo	3
13	Estructura	1110	Aplicación de undercoating	8
14	Suspensión	1140	Inspección de suspensión	4
15	Frenos	1220	Ajuste del freno de mano	2
16	Lubricación	2840	Cambio de aceite y filtro de aceite	2
17	Admisión	2842	Cambio del filtro de aire	1
18	Combustible	2843	Cambio del filtro de combustible	1
19	Transmisión	3143	Inspección de palieres	4
20	Motor	3263	Pulverizado de motor	2
21	Eléctrico	3343	Faro trasero derecho roto	12
22	Eléctrico	3543	Reparación de pértiga	4
23	Eléctrico	3547	Instalación de base y Circulina	4
24	Admisión	3586	Filtro de aire saturado por polvo	1
25	Refrigeración	3686	Obstrucción de radiador	2
26	Suspensión	3886	Bieleta derecha doblada	8
27	Frenos	3976	Rectificación de discos	3
28	Frenos	3980	Cristalización de pastillas	2
29	Neumáticos	4080	Cortes por roca en neumáticos	4
30	Estructura	4260	Aplicación de undercoating	8

Nota. Elaboración propia.

Tabla 205

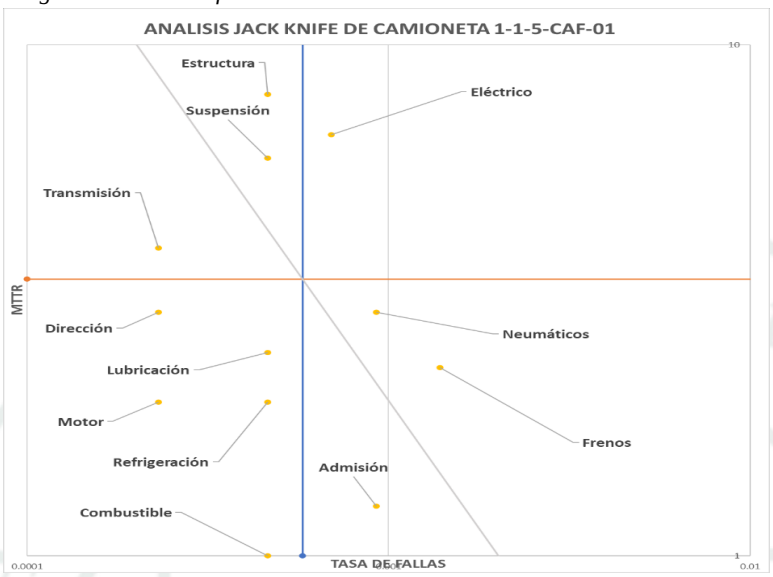
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Camioneta 1-3-5-CAF-01

CAMIONETA 1-1-5-CAF-01					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Estructura	5370	2	8	0.000462963	0.37%
Motor	3263	1	2	0.000231481	0.05%
Refrigeración	3812	2	2	0.000462963	0.09%
Combustible	3733	2	1	0.000462963	0.05%
Lubricación	3726	2	3	0.000462963	0.12%
Admisión	7773	4	1	0.000925926	0.12%
Dirección	1062	1	3	0.000231481	0.07%
Transmisión	3143	1	4	0.000231481	0.09%
Suspensión	5026	2	6	0.000462963	0.28%
Frenos	9642	6	2	0.001388889	0.32%
Neumáticos	6096	4	3	0.000925926	0.28%
Eléctrico	10433	3	7	0.000694444	0.46%

Nota. Elaboración propia.

Figura 84

Diagrama de Jack knife- Camioneta 1-3-5-CAF-01



Nota. Elaboración propia.

Tabla 206

1er.Historial de fallas – Camioneta 1-3-5-CAF-02

CAMIONETA 1-1-5-CAF-02				
	HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):			**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Lubricación	110	Cambio de aceite y filtro de aceite	2
2	Admisión	112	Cambio filtro de aire	1
3	Combustible	113	Cambio filtro combustible	1
4	Neumáticos	363	Rotación de neumáticos	2
5	Frenos	483	Inspección de frenos	2
6	Frenos	513	Pastillas desgastadas	4
7	Admisión	743	Filtro de aire saturado por polvo	1
8	Dirección	815	Desalineamiento	4
9	Lubricación	1963	Cambio de aceite y filtro de aceite	2
10	Admisión	1965	Cambio filtro de aire	1
11	Combustible	1966	Cambio filtro combustible	1
12	Neumáticos	2216	Parchado neumático	2
13	Frenos	2646	Cristalización de pastillas	4
14	Refrigeración	2694	Radiador obstruido	1
15	Neumáticos	2814	Corte por roca	2
16	Transmisión	2816	Inspección de diferencial	2
17	Frenos	2818	Bajo nivel líquido frenos	1
18	Eléctrico	3168	Fallo luces delanteras	1
19	Estructura	3268	puerta de tolva abollada	72
20	Motor	3316	Fuga de aceite	4
21	Neumáticos	3636	Desgaste irregular	2
22	Refrigeración	3638	Limpieza de radiador	2
23	Eléctrico	3988	faro posterior derecho roto	48
24	Frenos	4108	Discos alabeados	8
25	Estructura	4156	Aplicación de undercoating	8
26	Eléctrico	4180	Pértiga no enciende	2
27	Frenos	4276	Cristalización de pastillas	4
28	Suspensión	4280	Cambio de muelle	48

Nota. Elaboración propia.

Tabla 207

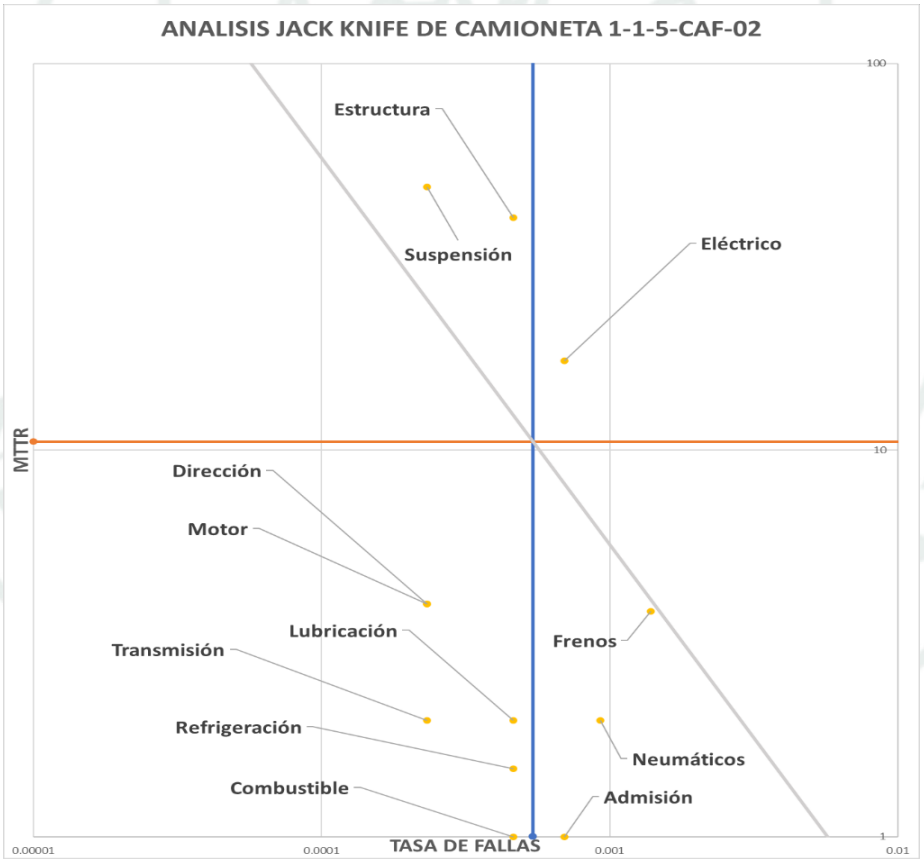
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife – Camioneta 1-3-5-CAF-02

CAMIONETA 1-1-5-CAF-02					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Estructura	7424	2	40	0.000462963	1.85%
Motor	3316	1	4	0.000231481	0.09%
Refrigeración	6332	2	2	0.000462963	0.07%
Combustible	2079	2	1	0.000462963	0.05%
Lubricación	2073	2	2	0.000462963	0.09%
Admisión	2820	3	1	0.000694444	0.07%
Dirección	815	1	4	0.000231481	0.09%
Transmisión	2816	1	2	0.000231481	0.05%
Suspensión	4280	1	48	0.000231481	1.11%
Frenos	14844	6	4	0.001388889	0.53%
Neumáticos	9029	4	2	0.000925926	0.19%
Eléctrico	11336	3	17	0.000694444	1.18%

Nota. Elaboración propia.

Figura 85

Diagrama de Jack knife- Camioneta 1-3-5-CAF-02



Nota. Elaboración propia.

Tabla 208

1er.Historial de fallas – Retroexcavadora 1-3-5-RET-01

RETROEXCAVADORA 1-3-5-RET-01				
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):				**4320 Hr**
ITEM	SISTEMA	HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	TTR (Hr)
1	Lubricación	220	Cambio aceite y filtro	2
2	Combustible	222	Cambio filtro de combustible	1
3	Combustible	223	Cambio de filtro separador de agua	1
4	Admisión	224	Cambio de filtros de aire	1
5	Motor	384	Radiador obstruido	2
6	Admisión	464	Filtro saturado	1
7	Eléctrico	514	Descarga de batería	2
8	Rodaje (neumáticos)	544	Parchado de neumático	4
9	Dirección	624	Juego en dirección	24
10	Frenos	654	Ajuste freno de mano	2
11	Estructural	854	Holgura en pasadores	48
12	Lubricación	2190	Cambio aceite y filtro	2
13	Combustible	2192	Cambio filtro de combustible	1
14	Combustible	2193	Cambio de filtro separador de agua	1
15	Admisión	2194	Cambio de filtros de aire	1
16	Hidráulico	2195	Cambio de filtro hidráulico	1
17	Hidráulico	3445	Inspección de fugas	4
18	Transmisión	3805	Fuga en diferencial, tapón	3
19	Hidráulico	3829	Fuga en manguera hidráulica	4
20	Motor	3949	Dificultad de arranque	2
21	Hidráulico	4059	Baja presión hidráulica	2
22	Motor	4179	Pérdida de potencia	1
23	Refrigeración	4299	Radiador obstruido	1

Nota. Elaboración propia.

Tabla 209

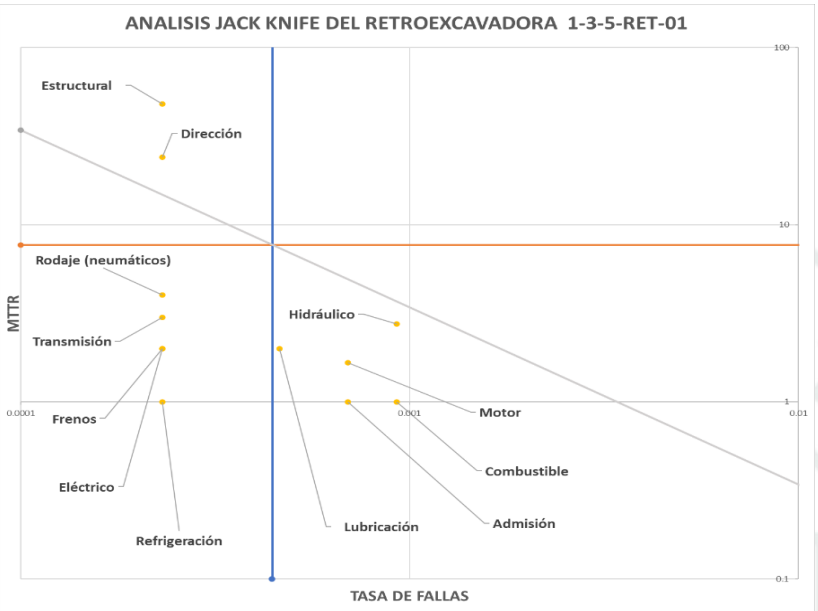
1er.Base de Datos Diagr. Jack knife–Retroexcavadora 1-3-5-RET-01

RETROEXCAVADORA 1-3-5-RET-01					
HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO (MARZO - AGOSTO DEL 2025):					**4320 Hr**
SISTEMAS	**HORAS DE FALLA DE OPERACIÓN**	**N° DE FALLAS**	**MTTR Hrs**	**TASA DE FALLA**	**INDISPONIBILIDAD %**
Hidráulico	13528	4	3	0.000925926	0.25%
Motor	8512	3	2	0.000694444	0.12%
Lubricación	2410	2	2	0.000462963	0.09%
Refrigeración	4299	1	1	0.000231481	0.02%
Combustible	4830	4	1	0.000925926	0.09%
Admisión	2882	3	1	0.000694444	0.07%
Eléctrico	514	1	2	0.000231481	0.05%
Neumáticos	544	1	4	0.000231481	0.09%
Dirección	624	1	24	0.000231481	0.56%
Frenos	654	1	2	0.000231481	0.05%
Estructural	854	1	48	0.000231481	1.11%
Transmisión	3805	1	3	0.000231481	0.07%

Nota. Elaboración propia.

Figura 86

Diagrama de Jack knife- Retroexcavadora 1-3-5-RET-01



Nota. Elaboración propia.

4.10.2. Segundo cálculo de los indicadores de mantenimiento

Una vez implementado el plan de mantenimiento, se efectuó una nueva evaluación del desempeño de los activos críticos utilizando la información registrada en el historial de fallas de cada equipo. Los resultados correspondientes a los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 210

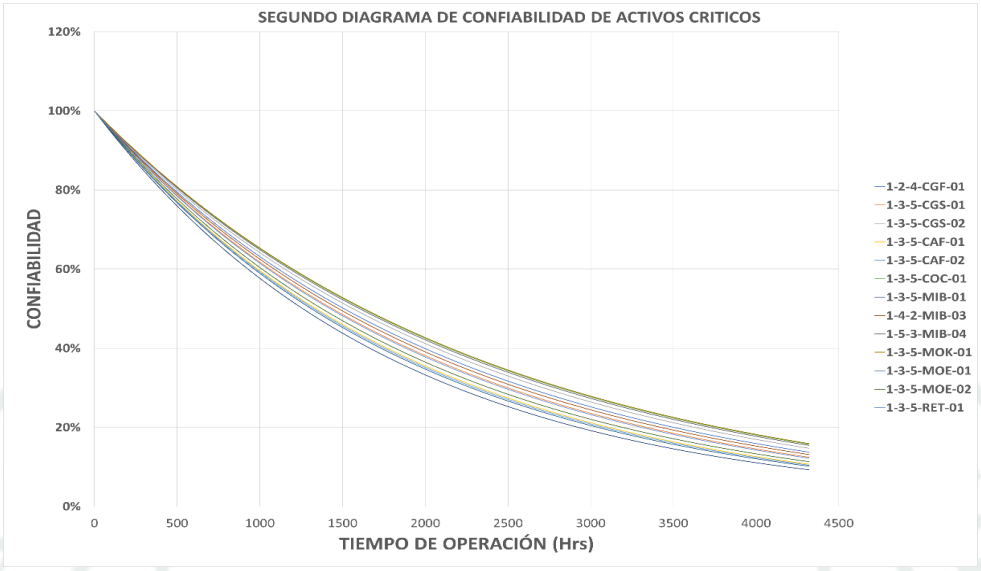
Indicadores de Mantenimiento de los activos críticos en 2025

CODIGO	T.O (Hrs)	MTTR (Hrs)	MTBF (Hrs)	TASA DE FALLA (λ)	TASA DE REPA. (μ)	DISP. (%)	MANT. (%) 8 Hrs	CONF. (%) 720 Hrs
1-2-4-CGF-01	4320	16.91	2176.69	0.0004594	0.0591442	99.23%	37.70%	71.84%
1-3-5-CGS-01	4320	60.52	2074.92	0.0004819	0.0165244	97.17%	12.38%	70.68%
1-3-5-CGS-02	4320	5.50	2254.67	0.0004435	0.1817076	99.76%	76.63%	72.66%
1-3-5-CAF-01	4320	2.92	1932.19	0.0005175	0.3428126	99.85%	93.56%	68.89%
1-3-5-CAF-02	4320	22.46	1913.24	0.0005227	0.0445177	98.84%	29.96%	68.64%
1-3-5-COC-01	4320	21.92	2336.73	0.0004279	0.0456262	99.07%	30.58%	73.48%
1-3-5-MIB-01	4320	5.76	1817.44	0.0005502	0.1737517	99.68%	75.09%	67.29%
1-4-2-MIB-03	4320	13.74	2128.92	0.0004697	0.0727613	99.36%	44.13%	71.31%
1-5-3-MIB-04	4320	12.41	2312.91	0.0004324	0.0805828	99.47%	47.52%	73.25%
1-3-5-MOK-01	4320	42.24	2349.75	0.0004256	0.0236728	98.23%	17.25%	73.61%
1-3-5-MOE-01	4320	14.91	1891.51	0.0005287	0.0670651	99.22%	41.52%	68.34%
1-3-5-MOE-02	4320	2.06	1984.13	0.0005040	0.4848348	99.90%	97.93%	69.57%
1-3-5-RET-01	4320	16.30	2055.46	0.0004865	0.0613576	99.21%	38.79%	70.45%

Nota. Elaboración propia.

Figura 87

Primer Diagrama de Confiabilidad de Activos Críticos



Nota. Elaboración propia.

4.11. Paso 10: Análisis de resultados

4.11.1. Mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad del 2024 y 2025.

Después de implementar el plan de mantenimiento basado en riesgos, se evaluó el desempeño de los activos críticos mediante el análisis del historial de fallas registrado. Con base en esta información, se calcularon los indicadores de mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad, cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 211

Disponibilidad, Mantenibilidad y Confiabilidad en 2024

INDICADORES DE MANTENIMIENTO DEL 2024				
CODIGO	**MTTR (Hrs)**	**MANTENIBILIDAD (%) 8 Hrs**	**DISPONIBILIDAD (%)**	**CONFIABILIDAD (%) 720 Hrs**
1-2-4-CGF-01	134.07	5.79%	92.96%	66.60%
1-3-5-CGS-01	141.37	5.50%	92.28%	65.32%
1-3-5-CGS-02	72.50	10.45%	96.18%	67.39%
1-3-5-CAF-01	60.05	12.47%	96.38%	63.72%
1-3-5-CAF-02	52.78	14.07%	96.44%	60.40%
1-3-5-COC-01	81.05	9.40%	95.88%	68.24%
1-3-5-MIB-01	74.53	10.18%	95.25%	61.80%
1-4-2-MIB-03	166.32	4.70%	91.20%	65.87%
1-5-3-MIB-04	93.64	8.19%	95.20%	67.85%
1-3-5-MOK-01	167.06	4.68%	91.80%	68.03%
1-3-5-MOE-01	53.55	13.88%	96.58%	62.09%
1-3-5-MOE-02	62.09	12.09%	96.08%	62.28%
1-3-5-RET-01	103.60	7.43%	93.43%	61.34%
PROMEDIO		9.14%	94.59%	64.69%

Nota. Elaboración propia.

Tabla 212

Disponibilidad, Mantenibilidad y Confiabilidad en 2025

INDICADORES DE MANTENIMIENTO DEL 2025				
CODIGO	**MTTR (Hrs)**	**MANTENIBILIDAD (%) 8 Hrs**	**DISPONIBILIDAD (%)**	**CONFIABILIDAD (%) 720 Hrs**
1-2-4-CGF-01	16.91	37.70%	99.23%	71.84%
1-3-5-CGS-01	60.52	12.38%	97.17%	70.68%
1-3-5-CGS-02	5.50	76.63%	99.76%	72.66%
1-3-5-CAF-01	2.92	93.56%	99.85%	68.89%
1-3-5-CAF-02	22.46	29.96%	98.84%	68.64%
1-3-5-COC-01	21.92	30.58%	99.07%	73.48%
1-3-5-MIB-01	5.76	75.09%	99.68%	67.29%
1-4-2-MIB-03	13.74	44.13%	99.36%	71.31%
1-5-3-MIB-04	12.41	47.52%	99.47%	73.25%
1-3-5-MOK-01	42.24	17.25%	98.23%	73.61%
1-3-5-MOE-01	14.91	41.52%	99.22%	68.34%
1-3-5-MOE-02	2.06	97.93%	99.90%	69.57%
1-3-5-RET-01	16.30	38.79%	99.21%	70.45%
PROMEDIO		49.46%	99.15%	70.77%

Nota. Elaboración propia.

4.11.2. Análisis de Costos y Riesgos del 2024 y 2025.

En los cuadros siguientes se presentan los costos de adquisición, operación y mantenimiento requeridos para el adecuado funcionamiento de los activos.

Tabla 213

Costos – Camión Grúa Freightliner 1-2-4-CGF-01

Costos de adquisición, operación y mantenimiento del Camión grúa CAN-913		
COSTOS		**VALOR (dólares americanos)**
Adquisición (CAPEX)	$	195,000.00
Costos OPEX anuales (vida útil 10 años)		
Sistema ADAS		2500.00
Kit Antiderrame		188.00
Botiquín		120.00
Extintor 9 Kg		190.00
Tacos Y Base de estabilizadores		850.00
Conos de seguridad y brazos extensores		620.00
Señalética		110.00
Linea de vida		320.00
Eslingas		430.00
Grilletes		140.00
Herramientas		230.00
Equipamiento de seguridad		450.00
Seguro TREK		1640.79
Mantenimiento de Fabricante Frieghtliner cada Año		3800.00
Mantenimiento Fabricante PM cada año		2200.00
Llantas cada año		3600.00
SOAT		50.00
Revisión técnica		48.00
Certificación de operatividad camión y grúa		1231.48
GPS		170.00
Total (10 Años)	**$**	**361,382.70**
Costo Anual	**$**	**36,138.27**
Costo Mensual	**$**	**3,011.52**

Nota. Elaboración propia.

Tabla 214

Ingreso por alquiler – Camión Grúa Freightliner 1-2-4-CGF-01

Ingreso por alquiler		
Parámetro		**Valor**
Costo de alquiler por hora (USD/h)	$	25.00
Horas de uso mensual (h)		240.00
Remuneración Total Mensual	$	6,000.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 215

Costos – Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-01

Costos de adquisición, operación y mantenimiento del camión grúa de 41 Tn		
COSTOS		**VALOR (dólares americanos)**
Adquisición (CAPEX)	**$**	**377,000.00**
Costos OPEX anuales (vida útil 10 años)		
Sistema ADAS		2500.00
Kit Antiderrame		188.00
Botiquín		120.00
Extintor 9 Kg		190.00
Tacos y Bases de estabilizadores		850.00
Conos de seguridad y brazos extensores		620.00
Señalética		110.00
Línea de vida		320.00
Eslingas		430.00
Grilletes		140.00
Herramientas		230.00
Radio satelital		450.00
Seguro TREK		1640.79
Mantenimiento de Fabricante Scania cada Año		4250.00
Mantenimiento Fabricante EFFER cada año		2360.00
Llantas cada año		3600.00
SOAT		50.00
Revisión técnica		48.00
Certificación de operatividad camión y grúa		2381.51
GPS		170.00
Total (10 Años)	**$**	**560,983.00**
Costo Anual	**$**	**56,098.30**
Costo Mensual	**$**	**4,674.86**

Nota. Elaboración propia.

Tabla 216

Ingreso por alquiler – Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-01

Ingreso por alquiler		
Parámetro		**Valor**
Costo de alquiler por hora (USD/h)	$	46.00
Horas de uso mensual (h)		240.00
Remuneración Total Mensual	$	11,040.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 217

Costos – Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-02

Costos de adquisición, operación y mantenimiento del Camión - Grúa de 31 Tn

COSTOS		VALOR (dólares americanos)
Adquisición (CAPEX)	$	310,000.00
Costos OPEX anuales (vida útil 10 años)		
Sistema ADAS		2500.00
Kit Antiderrame		188.00
Botiquín		120.00
Extintor 9 Kg		190.00
Tacos Y Base de estabilizadores		850.00
Conos de seguridad y brazos extensores		620.00
Señalética		110.00
Linea de vida		320.00
Eslingas		430.00
Grilletes		140.00
Herramientas		230.00
Equipamiento de seguridad		450.00
Seguro TREK		1640.79
Mantenimiento de Fabricante Scania cada Año		4250.00
Mantenimiento Fabricante EFFER cada año		2360.00
Llantas cada año		3600.00
SOAT		50.00
Revisión técnica		48.00
Certificación de operatividad camión y grúa		2381.51
GPS		170.00
Total (10 Años)	**$**	**493,983.00**
Costo Anual	**$**	**49,398.30**
Costo Mensual	**$**	**4,116.53**

Nota. Elaboración propia.

Tabla 218

Ingreso por alquiler – Camión Grúa Scania 1-3-5-CGS-02

Ingreso por alquiler

Parámetro		Valor
Costo de alquiler por hora (USD/h)	$	35.00
Horas de uso mensual (h)		240.00
Remuneración Total Mensual	$	8,400.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 219

Costos – Montacargas 1-3-5-MOK-01

Costos de adquisición, operación y mantenimiento del Montacargas 5tn

COSTOS		VALOR (dólares americanos)
Adquisición (CAPEX)	$	55,460.00
Costos OPEX anuales (vida útil 10 años)		
Kit Antiderrame		187
Botiquín		100
Extintor 9 Kg		40
Tacos		1000
Conos de seguridad y brazos extensores		600
Señalética		150
Eslingas		400
Grilletes		100
Herramientas		200
Equipamiento de seguridad		700
Seguro TREK		500
Llantas cada año		3700
Certificado de operatividad		150
Mantenimiento		1820
GPS		150
Total (10 Años)	**$**	**153,430.00**
Costo Anual	**$**	**15,343.00**
Costo Mensual	**$**	**1,278.58**

Nota. Elaboración propia.

Tabla 220

Ingreso por alquiler – Montacargas 1-3-5-MOK-01

Ingreso por alquiler

Parámetro		Valor
Costo de alquiler por hora (USD/h)	$	15.00
Horas de uso mensual (h)		240.00
Remuneración Total Mensual	$	3,600.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 221

Costos – Montacargas 1-3-5-MOE-01

Costos de adquisición, operación y mantenimiento del Montacargas 16 tn 2022

COSTOS	VALOR (dólares americanos)	
Adquisición (CAPEX)	$	177,000.00
Costos OPEX anuales (vida útil 10 años)		
Kit Antiderrame		187
Botiquín		100
Extintor 9 Kg		40
Tacos		1000
Conos de seguridad y brazos extensores		600
Señalética		150
Eslingas		400
Grilletes		100
Herramientas		200
Equipamiento de seguridad		700
Seguro TREK		500
Llantas cada año		3700
Certificado de operatividad		250
Mantenimiento		2,950.00
GPS		150
Total (10 Años)	**$**	**287,270.00**
Costo Anual	**$**	**28,727.00**
Costo Mensual	**$**	**2,393.92**

Nota. Elaboración propia.

Tabla 222

Ingreso por alquiler – Montacargas 1-3-5-MOE-01

Ingreso por alquiler

Parámetro		Valor
Costo de alquiler por hora (USD/h)	$	25.00
Horas de uso mensual (h)		240.00
Remuneración Total Mensual	$	6,000.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 223

Costos – Montacargas 1-3-5-MOE-02

Costos de adquisición, operación y mantenimiento del Montacargas 16 tn 2023

COSTOS		VALOR (dólares americanos)
Adquisición (CAPEX)	$	206,500.00
Costos OPEX anuales (vida útil 10 años)		
Kit Antiderrame		187
Botiquín		100
Extintor 9 Kg		40
Tacos		1000
Conos de seguridad y brazos extensores		600
Señalética		150
Eslingas		400
Grilletes		100
Herramientas		200
Equipamiento de seguridad		700
Seguro TREK		500
Llantas cada año		3700
Certificado de operatividad		250
Mantenimiento		2,950.00
GPS		150
Total (10 Años)	**$**	**316,770.00**
Costo Anual	**$**	**31,677.00**
Costo Mensual	**$**	**2,639.75**

Nota. Elaboración propia.

Tabla 224

Ingreso por alquiler – Montacargas 1-3-5-MOE-02

Ingreso por alquiler

Parámetro		Valor
Costo de alquiler por hora (USD/h)	$	25.00
Horas de uso mensual (h)		240.00
Remuneración total mensual	$	6,000.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 225

Costos – Minibús 1-3-5-MIB-01

Costos de adquisición, operación y mantenimiento de combi Renault Z7H-154

COSTOS		VALOR (dólares americanos)
Adquisición (CAPEX)	$	51,400.00
Costos OPEX anuales (vida útil 5 años)		
Sistema ADAS		2500
Kit Antiderrame		187
Botiquín		100
Extintor 6 Kg		40
Tacos		70
Conos de seguridad		40
Señalética		100
Herramientas		200
Equipamiento de seguridad		620
Mantenimiento de Fabricante cada Año		1,689
Llantas cada año		650
SOAT		120
Revisión técnica		45
GPS		150
Total (5 Años)	**$**	**73,956.40**
Costo Anual	**$**	**14,791.28**
Costo Mensual	**$**	**1,232.61**

Nota. Elaboración propia.

Tabla 226

Ingreso por alquiler – Minibús 1-3-5-MIB-01

Ingreso por alquiler

Parámetro		Valor
Costo de alquiler por día (USD/DIA)	$	83.00
Dias de uso		30.00
Remuneración total mensual	$	2,490.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 227

Costos – Minibús 1-4-2-MIB-03

Costos de adquisición, operación y mantenimiento de combi Renault VAA-290

COSTOS		VALOR (dólares americanos)
Adquisición (CAPEX)	$	41,490.00
Costos OPEX anuales (vida útil 5 años)		
Sistema ADAS		2500
Kit Antiderrame		187
Botiquín		100
Extintor 6 Kg		40
Tacos		1000
Conos de seguridad		40
Señalética		100
Herramientas		200
Equipamiento de seguridad		620
Mantenimiento de Fabricante cada Año		1,689
Llantas cada año		650
SOAT		120
Revisión técnica		45
GPS		150
Total (5 Años)	**$**	**68,696.40**
Costo Anual	**$**	**13,739.28**
Costo Mensual	**$**	**1,144.94**

Nota. Elaboración propia.

Tabla 228

Ingreso por alquiler – Minibús 1-4-2-MIB-03

Ingreso por alquiler

Parámetro		Valor
Costo de alquiler por día (USD/DIA)	$	83.00
Dias de uso		30.00
Remuneración total mensual	$	2,490.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 229

Costos – Minibús 1-5-3-MIB-04

Costos de adquisición, operación y mantenimiento de combi Renault Z7F-643

COSTOS		VALOR (dólares americanos)
Adquisición (CAPEX)	$	51,400.00
Costos OPEX anuales (vida útil 5 años)		
Sistema ADAS		2500
Kit Antiderrame		187
Botiquín		100
Extintor 6 Kg		40
Tacos		1000
Conos de seguridad		40
Señalética		100
Herramientas		200
Equipamiento de seguridad		620
Mantenimiento de Fabricante cada Año		1,689
Llantas cada año		650
SOAT		120
Revisión técnica		45
GPS		150
Total (5 Años)	**$**	**78,606.40**
Costo Anual	**$**	**15,721.28**
Costo Mensual	**$**	**1,310.11**

Nota. Elaboración propia.

Tabla 230

Ingreso por alquiler – Minibús 1-5-3-MIB-04

Ingreso por alquiler

Parámetro		Valor
Costo de alquiler por día (USD/DIA)	$	83.00
Dias de uso		30.00
Remuneración total mensual	$	2,490.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 231

Costos – Combi 1-3-5-COC-01

Costos de adquisición, operación y mantenimiento de combi Custer Z6X-004

COSTOS		VALOR (dólares americanos)
Adquisición (CAPEX)	$	71,790.00
Costos OPEX anuales (vida útil 5 años)		
Sistema ADAS		2500
Kit Antiderrame		187
Botiquín		100
Extintor 6 Kg		40
Tacos		70
Conos de seguridad		40
Señalética		100
Herramientas		200
Equipamiento de seguridad		650
Mantenimiento de Fabricante cada Año		2,563.93
Llantas cada año		700
SOAT		160.07
Revisión técnica		45
GPS		150
Total (5 Años)	**$**	**99,320.00**
Costo Anual	**$**	**19,864.00**
Costo Mensual	**$**	**1,655.33**

Nota. Elaboración propia.

Tabla 232

Ingreso por alquiler – Combi 1-3-5-COC-01

Ingreso por alquiler

Parámetro		Valor
Costo de alquiler por día (USD/DIA)	$	85.00
Dias de uso		30.00
Remuneración total mensual	$	2,550.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 233

Costos – Camioneta 1-3-5-CAF-01

Costos de adquisición, operación y mantenimiento de camioneta ford ranger V0V-905

COSTOS		VALOR (dólares americanos)
Adquisición (CAPEX)	$	30,755.00
Costos OPEX anuales (vida útil 5 años)		
Sistema ADAS		2500.00
Kit Antiderrame		187.00
Botiquín		100.00
Extintor 6 Kg		40.00
Tacos		70.00
Conos de seguridad		40.00
Señalética		100.00
Herramientas		200.00
Equipamiento de seguridad		620.00
Mantenimiento de Fabricante cada Año		2,197.78
Llantas cada año		800.00
SOAT		43.00
Revisión técnica		30.00
GPS		150.00
Total (5 Años)	**$**	**56,143.90**
Costo Anual	**$**	**11,228.78**
Costo Mensual	**$**	**935.73**

Nota. Elaboración propia.

Tabla 234

Ingreso por alquiler – Camioneta 1-3-5-CAF-01

Ingreso por alquiler

Parámetro		Valor
Costo de alquiler por día (USD/DIA)	$	53.00
Dias de uso		30.00
Remuneración total mensual	$	1,590.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 235

Costos – Camioneta 1-3-5-CAF-02

Costos de adquisición, operación y mantenimiento de camioneta ford ranger VAR-728

COSTOS	VALOR (dólares americanos)	
Adquisición (CAPEX)	$	32,128.00
Costos OPEX anuales (vida útil 5 años)		
Sistema ADAS		2500
Kit Antiderrame		187
Botiquín		100
Extintor 6 Kg		40
Tacos		70
Conos de seguridad		40
Señalética		100
Herramientas		200
Equipamiento de seguridad		620
Mantenimiento de Fabricante cada Año		2,197.78
Llantas cada año		800
SOAT		43
Revisión técnica		30
GPS		150
Total (5 Años)	**$**	**57,516.90**
Costo Anual	**$**	**11,503.38**
Costo Mensual	**$**	**958.62**

Nota. Elaboración propia.

Tabla 236

Ingreso por alquiler – Camioneta 1-3-5-CAF-02

Ingreso por alquiler

Parámetro	Valor	
Costo de alquiler por día (USD/DIA)	$	53.00
Dias de uso		30.00
Remuneración total mensual	$	1,590.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 237

Costos – Retroexcavadora 1-3-5-RET-01

Costos de adquisidor, operativos y de manteniendo Retroexcavadora

COSTOS		VALOR (dólares americanos)
Adquisición (CAPEX)	$	111,000.00
Costos OPEX anuales (vida útil 10 años)		
Kit Antiderrame		187
Botiquín		100
Extintor 9 Kg		40
Tacos		1000
Conos de seguridad y brazos extensores		600
Señalética		150
Eslingas		400
Grilletes		100
Herramientas		200
Equipamiento de seguridad		700
Seguro TREK		500
Llantas cada año		3700
Certificado de operatividad		120
Mantenimiento		2750
GPS		150
Total (10 Años)	**$**	**217,970.00**
Costo Anual	**$**	**21,797.00**
Costo Mensual	**$**	**1,816.42**

Nota. Elaboración propia.

Tabla 238

Ingreso por alquiler – Retroexcavadora 1-3-5-RET-01

Ingreso por alquiler

Parámetro		Valor
Costo de alquiler por hora (USD/h)	$	75.00
Horas de uso mensual (h)		240.00
Remuneración total mensual	$	18,000.00

Nota. Elaboración propia.

En la siguiente tabla se presenta el análisis del riesgo económico mensual de los activos de la asociación para los años 2024 y 2025, donde se puede observar la reducción obtenida luego de la aplicación del plan de mantenimiento basado en riesgo.

Para este análisis, se tomó en cuenta el costo mensual de cada activo y su respectiva probabilidad de falla, la cual fue determinada previamente a partir del estudio de confiabilidad. Cabe mencionar que la probabilidad de falla corresponde al complemento de la confiabilidad, lo que permite estimar de manera más realista el impacto económico asociado a la posible indisponibilidad de los equipos.

El riesgo económico mensual fue calculado multiplicando el costo mensual del activo por su probabilidad de falla, tanto para la condición inicial del año 2024 como para la condición posterior a la mejora con el año 2025.

Al comparar ambos escenarios, se evidencia una disminución en el riesgo económico mensual de los activos, lo que se traduce en un ahorro económico para la asociación. Este resultado refleja que la implementación del plan de mantenimiento ha contribuido a reducir la probabilidad de falla y, en consecuencia, las pérdidas económicas asociadas a la indisponibilidad de los equipos.

Tabla 239

Costo de Riesgo y ahorro económico de la asociación

CODIGO	COSTOS MENSUAL	2024		2025		AHORRO MENSUAL	AHORRO ANUAL
		F(t)	RIESGO MENSUAL	F(t)	RIESGO MENSUAL		
1-2-4-CGF-01	$ 9,011.52	33.40%	$ 3,009.79	28.16%	$ 2,537.96	$ 471.83	$ 5,661.99
1-3-5-CGS-01	$ 15,714.86	34.68%	$ 5,450.53	29.32%	$ 4,607.53	$ 843.00	$ 10,116.04
1-3-5-CGS-02	$ 12,516.53	32.61%	$ 4,082.22	27.34%	$ 3,421.64	$ 660.58	$ 7,926.97
1-3-5-CAF-01	$ 2,525.73	36.28%	$ 916.43	31.11%	$ 785.71	$ 130.72	$ 1,568.65
1-3-5-CAF-02	$ 2,548.62	39.60%	$ 1,009.21	31.36%	$ 799.30	$ 209.91	$ 2,518.96
1-3-5-COC-01	$ 4,205.33	31.76%	$ 1,335.60	26.52%	$ 1,115.15	$ 220.45	$ 2,645.44
1-3-5-MIB-01	$ 3,722.61	38.20%	$ 1,421.98	32.71%	$ 1,217.67	$ 204.30	$ 2,451.65
1-4-2-MIB-03	$ 3,634.94	34.13%	$ 1,240.58	28.69%	$ 1,043.03	$ 197.55	$ 2,370.61
1-5-3-MIB-04	$ 3,800.11	32.15%	$ 1,221.64	26.75%	$ 1,016.54	$ 205.10	$ 2,461.21
1-3-5-MOK-01	$ 4,878.58	31.97%	$ 1,559.69	26.39%	$ 1,287.55	$ 272.13	$ 3,265.58
1-3-5-MOE-01	$ 8,393.92	37.91%	$ 3,181.76	31.66%	$ 2,657.36	$ 524.39	$ 6,292.72
1-3-5-MOE-02	$ 8,639.75	37.72%	$ 3,259.12	30.43%	$ 2,629.33	$ 629.79	$ 7,557.47
1-3-5-RET-01	$ 19,816.42	38.66%	$ 7,661.49	29.55%	$ 5,856.02	$ 1,805.48	$ 21,665.71
					AHORRO TOTAL ANUAL		$ 76,503.00

Nota. Elaboración propia.

4.12. Contrastación de Hipótesis

4.12.1. Contrastación de Hipótesis General.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el desarrollo de la presente investigación, la hipótesis general queda aceptada, debido a que la implementación del plan de mantenimiento basado en el riesgo permitió mejorar la gestión de mantenimiento mediante la identificación de los activos críticos durante los periodos 2024 y 2025.

Los resultados obtenidos evidenciaron un incremento de 40.32% en la mantenibilidad, 4.56% en la disponibilidad y 6.08% en la confiabilidad, demostrando una mejora en el desempeño de los activos físicos y en la continuidad operativa de la asociación.

Asimismo, la aplicación del mantenimiento basado en riesgos permitió reducir las paradas no programadas, optimizar las actividades de mantenimiento y fortalecer la eficiencia operativa de las empresas metalmecánicas evaluadas.

En consecuencia, se concluye que la implementación del mantenimiento basado en el riesgo influye positivamente en la optimización de la gestión de activos físicos dentro de la asociación de empresas metalmecánicas de la ciudad de Ilo.

4.12.2. Contrastación de Hipótesis Especificas.

- H1: La hipótesis específica queda aceptada, debido a que la implementación de estrategias de mantenimiento basadas en el riesgo permitió mejorar la eficiencia de la gestión de activos físicos mediante el incremento de los indicadores de mantenimiento y la reducción de paradas no programadas.
- H2: La hipótesis específica queda aceptada, ya que las herramientas del mantenimiento basado en el riesgo fueron aplicables y beneficiosas para la realidad operativa de la asociación de empresas metalmecánicas.

- H3: La hipótesis específica queda aceptada, debido a que el análisis de los indicadores permitió identificar oportunidades de mejora en la gestión de mantenimiento mediante un enfoque basado en el riesgo.
- H4: La hipótesis específica queda aceptada, porque la identificación de riesgos en activos críticos permitió priorizar actividades de mantenimiento y mejorar los indicadores de desempeño.
- H5: La hipótesis específica queda aceptada, debido a que la aplicación del plan de mantenimiento basado en riesgos redujo los niveles de riesgo y mejoró los indicadores de mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad de los activos críticos.

4.12.3. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos durante la investigación demostraron que la implementación del mantenimiento basado en riesgos permitió mejorar la gestión de activos físicos de la asociación de empresas metalmecánicas. La aplicación de herramientas como el análisis de criticidad y el FMECA permitió identificar los activos con mayor impacto operativo y priorizar las actividades de mantenimiento.

Durante el periodo 2024, los indicadores promedio obtenidos fueron 9.14% de mantenibilidad, 94.59% de disponibilidad y 64.69% de confiabilidad. Posteriormente, en el periodo 2025, después de la implementación del plan de mantenimiento basado en riesgos, los indicadores alcanzaron valores promedio de 49.46% de mantenibilidad, 99.15% de disponibilidad y 70.77% de confiabilidad. Estos resultados evidencian una mejora significativa en el desempeño de los activos y en la continuidad operativa de la asociación.

Asimismo, la aplicación de estrategias de mantenimiento orientadas al riesgo permitió reducir las paradas no programadas, optimizar los tiempos de intervención y mejorar el control de fallas repetitivas en los sistemas críticos de los equipos. De igual manera, se observó una disminución de costos asociados a mantenimientos correctivos y pérdidas operacionales.

Finalmente, aunque se identificaron limitaciones relacionadas con la disponibilidad de registros históricos y la estandarización de información entre las empresas participantes, la metodología aplicada permitió obtener resultados consistentes y aplicables a la realidad operativa de la asociación metalmecánica.

En la actualidad, resulta necesario que las empresas orienten sus actividades de mantenimiento de acuerdo con el nivel de criticidad y riesgo de cada activo físico, debido a que cada equipo presenta condiciones operativas y características particulares que influyen directamente en su desempeño y confiabilidad dentro del proceso operativo.

CONCLUSIONES

Primera: Se concluye que la implementación del Plan de Mantenimiento Basado en Riesgos permitió optimizar la gestión de activos en la asociación de empresas metalmecánicas del caso Ilo, mediante la identificación y priorización de los equipos de mayor criticidad e impacto operacional. Como resultado, en el periodo 2024 se obtuvieron valores de 9.14 %, 94.59 % y 64.69 % en los indicadores de mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad, respectivamente; mientras que en el año 2025 estos indicadores alcanzaron valores de 49.46 %, 99.15 % y 70.77 %, evidenciando una mejora significativa en el desempeño de los activos. Asimismo, se logró reducir los riesgos operacionales y disminuir los costos por riesgo en $6,375.25 mensuales.

Segunda: Se identificaron las principales características del mantenimiento basado en el riesgo aplicables a la asociación de empresas metalmecánicas, como la identificación de modos de falla, evaluación de criticidad y priorización de activos, permitiendo definir estrategias de mantenimiento según el contexto operativo. Como resultado, en el año 2025 los indicadores de mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad aumentaron en 40.32 %, 4.56 % y 6.08 %, respectivamente, además de reducir los riesgos operacionales y los costos por riesgo en $6,375.25 mensuales.

Tercera: La evaluación del nivel actual de los indicadores de mantenimiento permitió identificar deficiencias en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los activos de la asociación, en el año 2024 se obtuvo un promedio de 9.14% de mantenibilidad, 94.59% de disponibilidad y 64.69% de confiabilidad.

Cuarta: La estrategia de mantenimiento basada en el riesgo influye significativamente en la gestión de activos físicos, debido a que permite priorizar equipos críticos, optimizar recursos y reducir riesgos operacionales, aumentando la en un 40.32% la mantenibilidad, 4.56% la disponibilidad y 6.08% la confiabilidad.

Quinta: La identificación y evaluación de los riesgos asociados a los activos de mayor criticidad permitió reconocer los equipos con mayor impacto operacional y económico. Asimismo, la evaluación de los activos permitió reducir el riesgo económico mensual de $35,350.05 en el año 2024 a $28,974.80 en el año 2025, mejorando la gestión de mantenimiento y la continuidad operacional.

Sexta: Se comparo los riesgos e indicadores después de la aplicación del plan de mantenimiento basado en riesgos permitió aumentar en 40.32% la mantenibilidad, 4.56% la disponibilidad y 6.08% la confiabilidad y se obtuvo una reducción del riesgo económico de $6,378.25 mensuales y $76,503.00 anuales en los activos críticos en el año 2025, demostrando la efectividad de la metodología aplicada.

RECOMENDACIONES

Primera: Implementar de manera permanente el Plan de Mantenimiento Basado en Riesgos en la asociación, con la finalidad de mantener la mejora continua de los indicadores de mantenimiento y garantizar la continuidad operativa de los activos físicos.

Segunda: Fortalecer la aplicación de herramientas de análisis como el FMECA y la evaluación de riesgos, permitiendo identificar oportunamente los modos de falla y establecer estrategias preventivas orientadas a minimizar fallas repetitivas y riesgos operacionales.

Tercera: Implementar un sistema estandarizado para el registro y control de fallas, actividades de mantenimiento y horas de operación de los equipos, con el propósito de mejorar el análisis de indicadores y optimizar la toma de decisiones en la gestión del mantenimiento.

Cuarta: Actualizar periódicamente el análisis de criticidad de los activos físicos, considerando las variaciones en las condiciones operativas, frecuencia de uso y nivel de riesgo de los equipos pertenecientes a la asociación.

Quinta: Capacitar continuamente al personal técnico y operativo en metodologías de mantenimiento basado en riesgos, gestión de activos e interpretación de indicadores de mantenimiento, fortaleciendo las competencias técnicas y la cultura de confiabilidad en la organización.

Sexta: Realizar evaluaciones periódicas de los indicadores de mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad de los activos críticos, con el objetivo de verificar el desempeño del Plan de Mantenimiento Basado en Riesgos y establecer acciones de mejora continua en la gestión de activos físicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allauca Naranjo, D. F. (2022). *"DESARROLLO DE UN MODELO DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL MÉTODO JACK KNIFE PARA PRIORIZACIÓN DE EQUIPOS, TOMA DE DECISIONES EN COSTOS DE CICLO DE VIDA Y TIEMPO ÓPTIMO DE REEMPLAZO".* ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA, Riobamba, Ecuador. Obtenido de https://dspace.espoch.edu.ec/items/a7578d1a-ef0f-4de6-9e6d-aa3c3db49cd6

Andrew, H., & Axel, K. (2022). *Do not let bad maintenance ruin your day: A case study of coordinating turnaround maintenance in a continuous flow process industry.* School of Innovation, Design and Engineering. Obtenido de https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1668996&dswid=-750

ATMEC. (03 de 02 de 2025). *ATMECS Global*. Obtenido de https://atmecs.com/vision-for-industry-6-0-the-convergence-of-ai-robotics-and-human-ingenuity/

Basson, M. (2019). *RCM3: Risk-Based Reliability Centered Maintenance.* Obtenido de https://books.industrialpress.com/9780831136321/rcm3-risk-based-reliability-centered-maintenance/

Benyssaad, Y. (2014). *Rational Reliability Centered Maintenance Optimization for power distribution systems.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/259097462_Rational_Reliability_Centered_Maintenance_Optimization_for_power_distribution_systems

Braco Ruiz, F. J. (2018). *PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD DE LAS UNIDADES EN LA EMPRESA TURISMO EXPRESO LATINO AMERICANO E.I.R.L – CHICLAYO, 2017.* Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú. Obtenido de chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/4911/Braco%20Ruiz%20.pdf

Calderón, B. (1999). *Introducción a la confiabilidad, conceptos generales. Medellin: Memorias encuentros regionales de matematica.* .

Callirgos Gonzales, M. A. (2021). *Sistema de gestión de mantenimiento preventivo para mejorar la confiabilidad de los equipos del área de elaboración de la empresa Agropucalá S.A.A.* Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú. Obtenido de https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/8534

Cardona, A. M. (2003). *DISEÑOS CUASIEXPERIMENTALES.* UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA.

Castillo, A. (2021). *Introducción a la Teoría del Mantenimiento.* Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-nacional-autonoma-de-mexico/mecanica-ingenieria/tarea-1-administracion-del-mantenimiento/22803236/download/tarea-1-administracion-del-mantenimiento.pdf

Chávez Ordoñez, R. A. (2020). *Optimización de la gestión del mantenimiento de una flota de maquinaria pesada, en la construcción de un tranque de relaves mineros.* Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú. Obtenido de https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/41592b29-d0e9-4bd2-947c-68b69eaaa022

Cornú Barrón, E. F., Del Río Vega Gil, M. C., Escobedo García, E. P., Gerrero Quiroz, F., & Morales Munguia, D. (2010). *Propuesta de un Programa de Mantenimiento Preventivo para la Empresa Moraly.* Instituto Politécnico Nacional, México. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/6075/I2.1152.pdf?sequence=1

Daz, J. N. (2011). *Técnicas de Mantenimiento Industrial* (2ª edición ed.). VV.AA. Obtenido de https://www.udocz.com/apuntes/127022/tecnicas-de-mantenimiento-industrial

Díaz Cavero, T. J. (2015). *PROPUESTA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA UNA FLOTA DE TRANSPORTE TERRESTRE.* Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/593297/DIAZ_C_T.pdf?sequence=1

El-Thalji, I. (2025). *Emerging Practices in Risk-Based Maintenance Management Driven by Industrial Transitions: Multi-Case Studies and Reflections.* MDPI. Obtenido de https://www.mdpi.com/2076-3417/15/3/1159

FERMA. (2003). *ESTÁNDARES DE GERENCIA DE RIESGOS.* AIRMIC. Obtenido de efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ferma.eu/wp-content/uploads/2011/11/a-risk-management-standard-spanish-version.pdf

Fernandez, E. (2018). *Gestión de Mantenimiento: Lean Maintenance y TPM.* Trabajo de fin de Máster para acceder al Título de Máster Universitario en Tecnologías Marinas y Mantenimiento, Universidad de Oviedo, Escuela Superior de la Marina Civil de Gijón, España. Obtenido de https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/47868/Gesti%F3n%20de%20Mantenimiento.%20Lean%20Maintenance%20y%20TPM.pdf;jsessionid=5B400EDEE7653B6BFBB8349A98DB5260?sequence=1

Fracttal. (2024). *Dominando los indicadores de mantenimiento.* Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fracttal.com/hubfs/Fracttal%20Website%202021/webinar/congreso-heroes-del-mantenimiento-octubre-2023/ebooks/dominando-los-indicadores-de-mantenimiento.pdf

García. (2003). *Organización y Gestion Integral de Mantenimiento.* España: Díaz de Santos S.A. Obtenido de

https://www.academia.edu/41042547/Organizacion_y_gestion_integral_de_mante

Garrido, O. G. (2016). *Estudio de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) con propuesta de plan preventivo, aplicado a maquina papelera numero uno de empresa papeles bio-bio S.A San Pedro de la paz-chile.* Chile: Universidad del Bio-Bio. Obtenido de http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/3350

Gonzales Larico, V. F. (2023). *Optimización de costos mediante la mejora de gestión de mantenimiento de la empresa Transmdicas S.R.L. Arequipa 2022.* Universidad Católica Santa María, Arequipa, Perú. Obtenido de https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/5c55f8ff-f4b5-4829-ab27-20ad617c8d54

Google. (2023). Obtenido de https://earth.google.com/web/search/ilo , https://earth.google.com/web/search/NCK+INGENIEROS,/TrenalSur,Ilo

Gutierrez, R. (2016). *Manual de indicadores de mantenimiento.* Obtenido de https://es.slideshare.net/RichardGutierrezDeza/manual-de-indicadores-de-mantenimiento

HGS. (17 de 10 de 2025). *Discover HGS*. Obtenido de https://www.hgs.com/blog/what-is-industry-6-0-what-does-the-next-industrial-leap-look-like/

Infraspeak. (23 de 07 de 2021). *Infraspeak BLOG*. Obtenido de https://blog.infraspeak.com/es/mantenimiento-basado-en-el-riesgo-rbm/

Inga, J. L., & Choccelahua, J. (2019). *Propuesta de Mejora del Sistema de Gestión de Mantenimiento, Aplicando la Metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para los Equipos Médicos Cusrodiados por la Empresa Chejampi Biomedical SAC.* Lima: Universidad Antonio Ruis de Montoya. Obtenido de https://repositorio.uarm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12833/2144/Choccelahua%20Torres%20Justo_Inga%20Cerr%c3%b3n%2c%20Jose%20L._tesis_licenciatura_2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y

ISO 14224. (2016). *Petroleum, Petrochemical And Natural Gas Industries - Collection And Exchange Of Reliability And Maintenance Data For Equipment.* Estandar Europeo. Obtenido de https://www.academia.edu/44518114/ISO_14224_espa%C3%B1ol

Iung, B. (2014). *Advanced Maintenance for Sustainable Manufacturing Systems.* Suiza: Springer. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/267628346_Advanced_Maintenance_Services_for_Promoting_Sustainability

Jácome Changoluisa, L. A., & Pilataxi Quisaguano, A. R. (2023). *Gestion de mantenimiento del área de laminados en la empresa Adelca mediante el programa SAP (PM).* Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), LATACUNGA, ECUADOR . Obtenido de https://repositorio.utc.edu.ec/items/d27accc3-0faa-445d-ba01-8fbe851994bc

Jahuira Salas, L. A. (2021). *Método de gestión de mantenimiento para evaluar la disponibilidad en la flota de volquetes Volvo FMX. Caso: Gobierno Regional de Puno.* Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú. Obtenido de https://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/1313

Labán Cruz, A. (2021). *Diseño de plan de mantenimiento basado en el riesgo y mantenimiento predictivo para mejorar los indicadores de gestión de mantenimiento de una flota de transportes de Tumbes.* Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/106733

Lameirinhas, G. (2020). *Tractian*. Obtenido de https://tractian.com/es/blog/8-indicadores-indispensables-para-la-gestion-del-mantenimiento

López, P. L. (2004). *POBLACIÓN MUESTRA Y MUESTREO.* Cochabamba: Scielo. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012

Mata, M. (2020). *Pirámide de madurez en mantenimiento: ¿Qué es y cómo interpretarla?* becolve digital. Obtenido de https://becolve.com/blog/piramide-de-madurez-en-mantenimiento-que-es-y-como-interpretarla/

Medina Lozano, R. D. (2022). *Estrategias de gestión de mantenimiento para mejorar los indicadores de mantenimiento de equipos de transporte de carga terrestre.* Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú. Obtenido de https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/31929e5b-5cf0-41f8-836e-f2ac5257fe54

Medina Villegas, A. A. (2021). *Diseño de la estrategia de mantenimiento basado en el riesgo para incrementar los indicadores de mantenimiento de la Asociación Textil AETI de la ciudad de Ilo.* Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú. Obtenido de https://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/1008

Mehairjan, R. P. (2017). *Risk-Based Maintenance for Electricity Network Organizations.* Springer. Obtenido de https://www.amazon.com/Risk-Based-Maintenance-Electricity-Network-Organizations/dp/3319492349

Montenegro Salcedo, A. W. (2022). *Gestión del mantenimiento basado en riesgo para incrementar la disponibilidad de los ascensores de una empresa de servicios en la ciudad de Lima, 2022.* Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/122680

Moubray, J. (1991). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En J. Moubray. Obtenido de https://es.slideshare.net/engineer24/rcmiijohnmoubraypdf

Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.* USA: Aladon LLC. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://soporteycia.com/system/files/articulos-pdf/rcm-articulo-mantenimiento-centrado-confiabilidad-03-dic-2021.pdf

Negrete, L. (2017). *G E S T I Ó N D E AC T I V O S.* MAT E O S CO N S U LTO R E S. Obtenido de https://www.academia.edu/38199977/_Que_es_Gestio_n_de_Activos

Organización Internacional de Normalización [ISO]. (2016). *Industrias del petróleo, petroquímica y gas natural: Recopilación e intercambio de datos de fiabilidad y mantenimiento de equipos.* Obtenido de (14224): BSI_EN_ISO_14224_2016_BSI_Industrias_de_petróleo_petroquímica_y_gas_natural_recolección_e_intercambio_de_datos_de_confiabilidad_y_mantenimiento_de_equipos_ISO_14224_2016_

Organización Internacional de Normalización [ISO]. (2018). *Gestión del riesgo — Directrices*. Obtenido de (31000): https://www.ramajudicial.gov.co/documents/5454330/14491339/Norma.ISO.31000.2018.Espanol.pdf/cb482b2c-afd9-4699-b409-0732a5261486

Organización Internacional de Normalización. (2014). *Gestión de Activos Aspectos Generales, Principios y Terminologias.* Obtenido de (55000): https://cdn.standards.iteh.ai/samples/55088/bf0026cab063456dbf8838e2e92ce917/ISO-55000-2014.pdf

Ortiz Parra, D. A. (2020). *Modelo de gestión del mantenimiento para empresas distribuidoras de energía eléctrica, utilizando estrategias basadas en la confiabilidad y en los riesgos de los componentes asociados a las redes de distribución.* Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Obtenido de https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20947

Ortiz Useche, A., Rodríguez Monroy, C., & Izquierdo, H. (2013). *Gestión de mantenimiento en pymes industriales.* Revista Venezolana de Gerencia (RVG), Venezolana. Obtenido de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29026161004

Pareja Daza, B. H. (2020). *Propuesta para la mejora de la gestión de mantenimiento de una empresa de curtido de pieles - Arequipa 2019.* Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú. Obtenido de https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/de8e440a-4724-4811-8734-22ceffc981e4

PAS 55. (2008). *Gestión de Activos.* Obtenido de https://es.scribd.com/document/190798323/PAS-55-1-2008

Pérez, F. A. (2021). *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial.* Bucaramanga, Colombia: Ediciones USTA. Obtenido de https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33276/9789588477923.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Pilamunga Salazar, D. L. (2023). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo programado para la flota de ambulancias ancladas al SIS ECU 911 de la ciudad de Riobamba, creando un software de mantenimiento para optimizar los procesos.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Obtenido de http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/21463

Quevedo Abarca, F. O. (2024). *Implementación del Mantenimiento Basado en el Riesgo a las Grúas Telescópicas en la Construcción de la Planta Concentradora Quellaveco- Moquegua.* Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú. Obtenido de https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/e15d4aef-9af3-46a9-82c6-36e36f688b63

Rashuamán, R. (2019). *Modelo de Gestión de Mantenimiento Para el Incremento de Dispinibilidad de las Máquinas en una Planta de Fabricación de Bombas Centrífugas.* Callao: Universidad Nacional del Callao. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/4405/RASHUAMAN%20flores%20maestria%20%20fime%202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Romero, E. (2012). *Estudio de Mejora del Mantenimiento Mediante la Aplicación de la Distribución de Weibull a un Histórico de Fallos.* Fundación Uned. Obtenido de https://dokumen.tips/documents/estudio-de-mejora-del-mantenimiento-mediante-la-aplicacion-de-la-distribucion-de-weibull-a-un-historico-de-fallos.html?page=1

Rosales López, P. P. (2022). *ESTRATÉGIAS DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA MEJORAR LOS INDICADORES DE MANTENIMIENTO DE*

EQUIPOS DE TRANSPORTE DE CARGA TERRESTRE. Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú. Obtenido de https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/31929e5b-5cf0-41f8-836e-f2ac5257fe54

SAE International. (1999). *Criterios de Evaluación para Pocesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*. Obtenido de SAE JA1011: https://www.studocu.com/pe/document/universidad-catolica-de-santa-maria/diseno-hidraulico/norma-sae-ja1011-apuntes-3/11827431

SAE International. (2002). *Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)*. Obtenido de SAE JA1012: https://www.academia.edu/38529540/Norma_sae_ja

SELA, S. E. (2009). *Políticas e instrumentos para enfrentar el impacto de la crisis económica internacional sobre las pequeñasymedianas empresas (PYMES) de América Latina y el Caribe.* Caracas. Venezuela: Secretaría Permanente del Sela.

Smart Thinking. (3 de julio de 2020). *8mart Hunking*. Obtenido de https://smart-thinking.com.mx/estandarizar-o-personalizar-el-mantenimiento-esa-es-la-pregunta/

Smith, D. J. (2021). *Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers.* Butterworth-Heinemann. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=mBs-EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Smith,+D.+J.+(2021).+Reliability,+Maintainability+and+Risk.+Butterworth-Heinemann.&ots=vTwFHGBDy8&sig=rAwBOjCuCck-XMPIDoiQeLW-tMw#v=onepage&q=Smith%2C%20D.%20J.%20(2021).%20Relia

Sobrino, C. (2025). *Mantenimiento preventivo: qué es, tipos y cómo hacerlo de forma eficaz.* CAPTIA. Obtenido de https://www.captia.es/blog/mantenimiento-preventivo.html

Standard Norge. (2001). *NORSOK Z-008: Criticality analysis for maintenance purposes*. Obtenido de (Z-008): https://www.academia.edu/36549423/Norzok_Traducido

Tapie Quispe, M. H. (2023). *OPTIMIZACION DEL TIEMPO DE CAMBIO DE REVESTIMIENTOS DEL MOLINO SAG APLICANDO MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO, REALIZADO POR FLSMIDTH EN MINERA "CONSTANCIA.* UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, Huancayo, Perú. Obtenido de https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/10237

Toro, R. (09 de 10 de 2024). *fracttal*. Obtenido de https://www.fracttal.com/es/blog/como-ia-transforma-tecnicos-en-analistas

Toufighi, S. P., Alasvand, F., & Nugroho, Y. K. (2024). *Risk-based maintenance strategy for oil transfer pipelines using an intuitionistic fuzzy computational approach.* Taylor francis. Obtenido de https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09544828.2024.2355751#d1e242

Tractian. (29 de 01 de 2026). (Tractian, Editor) Obtenido de https://tractian.com/es/blog/patron-de-fallo-comprende-su-importancia-en-el-mantenimiento

Udealo, M. (21 de 03 de 2024). *RISK-BASED MAINTENANCE OF EQUIPMENT*. Obtenido de https://www.linkedin.com/pulse/risk-based-maintenance-equipment-michael-udealor-42epf/

Yssaad, B., Khiat, M., & Chaker, A. (2012). Maintenance Optimization for Equipment of Power Distribution System Based on FMECA Method. *Acta Electrotehnica*, *53*(3), 218-223. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ie.utcluj.ro/files/acta/2012/Number3/Paper06_Yssaad.pdf

Zegarra, S. (2019). *"Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (mcc) para incrementar la disponibilidad de los tractocamiones Freightliner de la empresa Transportes Pakatnamu SAC".*

Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Obtenido de https://node2.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/000/635/635586.pdf.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=aa5vJ7sqx6H8Hq4u%2F20220622%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20220622T134533Z&X-Amz-SignedHeaders=ho

Zoidii. (22 de 10 de 2024). *Mantenimiento basado en riesgos (MBR)*. Obtenido de https://zoidii.com/glossary-post/risk-based-maintenance

MATRIZ DE CONSISTENCIA ANEXO 1: Matriz de consistencia

IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RIESGOS PARA OPTIMIZAR LA GESTIÓN DE ACTIVOS FÍSICOS EN UNA ASOCIACIÓN DE EMPRESAS METALMECÁNICAS – CASO ILO. 2025

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES				METODOLOGÍA
Problema General	**Objetivo General**	**Hipótesis General**	**Variable Independiente**	**Dimensión**	**Instrumentos**	**Indicadores**	
¿De qué manera la Implementación de un Plan de Mantenimiento Basado en Riesgos influye para Optimizar la Gestión de Activos Físicos en una Asociación de Empresas Metalmecánicas – Caso Ilo.2025?	Implementar un Plan de Mantenimiento Basado en Riesgos para Optimizar la Gestión de Activos Físicos en una Asociación de Empresas Metalmecánicas – Caso Ilo.2025	La Implementación de un Plan de Mantenimiento Basado en Riesgos podría optimizar significativamente la Gestión de Activos Físicos en una Asociación de Empresas Metalmecánicas – Caso Ilo 2025.	Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR)	Gestión de Riesgo	Cuestionario / Ficha Técnica	Nivel de Priorización de Riesgo	Tipo de la investigación El tipo de investigación que se aplica es básica y aplicativa. Diseño de la investigación La presente investigación adopta un diseño cuasi experimental, longitudinal, de nivel descriptivo, correlacional y con enfoque cuantitativo.
				Evaluación de criticidad	Cuestionario / Ficha técnica	Número de activos críticos identificados	
				Identificación de riesgos	AMEF (Análisis de modo y efectos de fallas) y análisis de criticidad / Registro de fallas	Tipos de fallas asociadas a activos críticos Riesgos operacionales predominantes	
Problemas Específicos	**Objetivos Específicos**	**Hipótesis Específico**	**Variable Dependiente**	**Dimensión**	**Instrumentos**	**Indicadores**	
P1: ¿Cuáles son las principales características del mantenimiento basado en el riesgo aplicables a la asociación de empresas metalmecánicas?	O1: Identificar las principales características del mantenimiento basado en el riesgo aplicables a la asociación de empresas metalmecánicas.	H1: Las características del mantenimiento basado en el riesgo son aplicables y beneficiosas para la realidad operativa de la asociación de empresas metalmecánicas.	Indicadores de Mantenimiento	Confiabilidad	Registro de mantenimiento	MTBF (tiempo medio entre fallas)	Población y muestra: La población del presente trabajo está conformada por todos los activos físicos entre ellos vehículos y equipos de la asociación de empresas metalmecánicas, las muestras que se tomarán serán de los equipos críticos de la empresa que afectan el proceso de producción y generan gastos en mantenimiento
P2: ¿Cuál es el nivel actual de los indicadores de mantenimiento en la asociación de empresas metalmecánicas de la ciudad de Ilo?	O2: Evaluar el nivel actual de los indicadores de mantenimiento en la asociación de empresas metalmecánicas de la ciudad de Ilo.	H2: El análisis de los indicadores actuales permite identificar oportunidades de mejora mediante un enfoque basado en el riesgo.					
P3: ¿Cómo influye el diseño de una estrategia de mantenimiento basada en el riesgo en la gestión de activos físicos?	O3: Analizar la influencia de una estrategia de mantenimiento basada en el riesgo en la gestión de activos físicos.	H3: La implementación de estrategias de mantenimiento basadas en el riesgo influye positivamente en la eficiencia de la gestión de activos físicos.		Mantenibilidad	Registro de mantenimiento	MTTR (tiempo medio para reparar)	Descripción de instrumentos para recolección de datos: •Información otorgada •Manuales de los activos •Fichas técnicas •Plan de mantenimiento •Plan de mantenimiento básico existente de la empresa. •Registro de fallas e historial de mantenimiento •Matriz de criticidad •Formatos de análisis FMECA
P4: ¿Qué riesgos están asociados a los activos físicos de mayor criticidad en la asociación de empresas metalmecánicas?	O4: Identificar y evaluar los riesgos asociados a los activos físicos de mayor criticidad en la asociación de empresas metalmecánicas.	H4: La identificación de riesgos en activos críticos permite priorizar acciones de mantenimiento que impacten positivamente en los indicadores de desempeño.		Disponibilidad	Registro de mantenimiento	% de disponibilidad total de equipos	
P5 ¿Como influye el plan de mantenimiento basado en el riesgo en los niveles de riesgo y en los indicadores de mantenimiento de los activos físicos críticos de la asociación de empresas?	O5: Comparar los riesgos y los indicadores de los activos físicos críticos antes y después de la aplicación del plan de mantenimiento Basado en Riesgos.	H5: La aplicación del plan de mantenimiento basado en riesgos reduce significativamente los niveles de riesgo y mejora los indicadores de mantenimiento de los activos físicos críticos, en comparación con la situación previa a su implementación.		Costos y fallas	Reporte técnico / Registro de fallas	-Costo de mantenimiento por equipo crítico	

Nota. Elaboración propia.