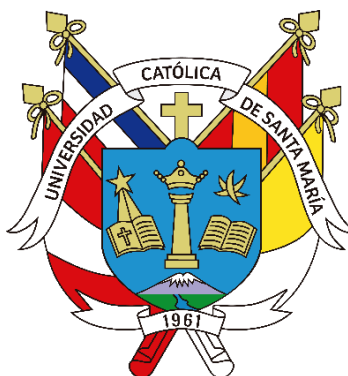


**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica-Eléctrica**



**Implementación del mantenimiento proactivo a través de la evaluación  
operativa de los activos físicos de una minera del sur del Perú**

Tesis presentada por el Bachiller:

**Cuba Nuñez, Luis Mauricio**

**ORCID: 0009-0009-0286-0374**

para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista

Asesor (a):

**Dr. Caceres Nuñez, Augusto Emilio Carlos**

**ORCID: 0000-0002-2207-9237**

Arequipa – Perú

2025

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

**INGENIERIA MECANICA-ELECTRICA**

**TITULACIÓN CON TESIS**

**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 24 de Abril del 2025

**Dictamen: 011229-C-EPIMMEM-2025**

Visto el borrador del expediente 011229, presentado por:

**2016110101 - CUBA NUÑEZ LUIS MAURICIO**

Titulado:

**IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PROACTIVO A TRAVÉS DE LA EVALUACIÓN  
OPERATIVA DE LOS ACTIVOS FÍSICOS DE UNA MINERA DEL SUR DEL PERÚ**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

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

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**29479140 - VALENCIA SALAS MARIO JOSE  
DICTAMINADOR**



**29685318 - CASTRO VALDIVIA JORGE LUIS  
DICTAMINADOR**



**46292714 - SILES NATES FERNANDO DAVID  
DICTAMINADOR**



# Implementación del mantenimiento proactivo a través de la evaluación operativa de los activos físicos de una minera del sur del Perú

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>23%</b>	<b>22%</b>	<b>3%</b>	<b>15%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>Submitted to UTEC Universidad de Ingeniería &amp; Tecnología</b> Trabajo del estudiante	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>3</b>	<b>Submitted to Universidad Católica de Santa María</b> Trabajo del estudiante	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>traction.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>tangara.uis.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>tesis.ucsm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>www.coursehero.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC</b>	<b>1%</b>

## DEDICATORIA

*A mis padres, quienes con su amor, esfuerzo y dedicación me han guiado en cada paso de mi vida. A mi familia, por su incondicional apoyo y comprensión durante todo este proceso. A mis amigos, por su constante ánimo y compañerismo. Y a todas aquellas personas que creyeron en mí y me motivaron a alcanzar mis metas.*



## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas y entidades que contribuyeron al desarrollo y finalización de esta tesis.

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fortaleza y sabiduría para completar este trabajo.

A mi asesor, Ing. Cáceres Núñez Augusto Emilio Carlos, por su valiosa orientación, consejos y apoyo constante durante todo el proceso de investigación. Su conocimiento y experiencia fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad Católica de Santa María y a la Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales, por brindarme la oportunidad y los recursos necesarios para realizar esta investigación.

A los directivos y colaboradores de la empresa minera donde se llevó a cabo el estudio, por su colaboración y disposición para proporcionar la información y facilidades necesarias.

A mis profesores y compañeros de la carrera de Ingeniería Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica, quienes con sus enseñanzas y amistad, enriquecieron mi formación académica y personal.

Finalmente, agradezco a mi familia y amigos por su apoyo incondicional, paciencia y comprensión en los momentos más difíciles. Sin ustedes, este logro no hubiera sido posible.

## RESUMEN

La presente investigación se enfoca en la implementación de un sistema de mantenimiento proactivo basado en la evaluación operativa de los activos físicos de una empresa minera ubicada en el sur del Perú. El estudio tiene como objetivo principal optimizar la gestión del mantenimiento a través del análisis de la criticidad evaluando el camión minero 797 F CAT, motoniveladora 24 M, Pala Hydrocrowd 7495 para determinar que activo es crítico de tal forma se le aplica el mantenimiento proactivo, reduciendo los tiempos de parada, incrementando la disponibilidad operativa y minimizando los costos asociados a fallos no planificados.

Durante la etapa previa al mantenimiento proactivo, el camión minero CAT 797F tiene un costo de \$2,749,000.00 , Durante la etapa previa al mantenimiento proactivo , el camión minero CAT 797F registraba un costo mensual promedio de \$ 29,141.22 debido a fallas frecuentes en componentes como el sensor de velocidad, cilindros de levante y válvulas hidráulicas, lo que generaba paradas prolongadas y elevados gastos operativos. Con la implementación del plan proactivo, se logró disminuir la frecuencia de fallas, reducir los reemplazos de componentes mayores, programar intervenciones de forma eficiente y minimizar las paradas no planificadas. Aunque no se indica un nuevo valor exacto de costos tras la intervención, el estudio evidencia una reducción significativa del gasto, demostrando que este enfoque no solo mejora la disponibilidad operativa del equipo, sino que también representa una estrategia más rentable, eficiente y sostenible frente al mantenimiento reactivo.

**Palabras clave:** Mantenimiento proactivo, camión minero CAT 797F, minería sostenible.

## ABSTRACT

This research focuses on the implementation of an initiative-taking maintenance system based on the operational assessment of the physical assets of a mining company located in southern Peru. The study's main objective is to optimize maintenance management through criticality analysis, evaluating the CAT 797F mining truck, the 24M motor grader, and the Hydrocrowd 7495 shovel to determine which assets are critical and apply initiative-taking maintenance, reducing downtime, increasing operational availability, and minimizing costs associated with unplanned failures.

Before the implementation of proactive maintenance, the CAT 797F maintenance cost \$2,749,000.00. During the pre-proactive maintenance phase, the CAT 797F mining truck recorded an average monthly cost of \$29,141.22 due to frequent failures in components such as the speed sensor, dump lift cylinders, and hydraulic control valves. These issues led to prolonged downtimes and high operational expenses. With the adoption of the proactive maintenance plan, there was a noticeable reduction in failure frequency, fewer major component replacements, more efficient scheduling of interventions, and a decrease in unplanned stoppages. Although the document does not specify the new exact monthly cost after implementation, the findings clearly indicate a significant reduction in expenses. This demonstrates that proactive maintenance not only enhances equipment availability but also offers a more cost-effective, efficient, and sustainable alternative compared to the reactive approach.

**Keywords:** Initiative-taking maintenance, CAT 797F mining truck, sustainable mining.

## ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN ..... 1

CAPÍTULO I..... 2

1. Marco Metodológico ..... 3

1.1. Descripción del problema..... 3

1.2. Justificación..... 3

1.2.1. Justificación tecnológica ..... 4

1.2.2. Justificación ambiental ..... 4

1.2.3. Justificación económica ..... 4

1.2.4. Justificación Operativa ..... 5

1.3. Objetivos ..... 5

1.3.1. Objetivo General ..... 5

1.3.2. Objetivos específicos..... 5

1.4. Alcances ..... 6

1.5. Antecedentes ..... 6

1.6. Limitaciones ..... 8

1.6.1. Enfoque en el mantenimiento mecánico ..... 8

1.6.2. Dependencia de datos operativos ..... 8

1.6.3. Variabilidad en condiciones operativas..... 8

1.6.4. Recursos limitados ..... 8

1.6.5. Limitación temporal ..... 9

1.7. Cuadro de Operacionalización de Variables ..... 9

CAPÍTULO II .....	11
2. Marco Teórico .....	12
2.1. Historia y evolución de la maquinaria pesada.....	12
2.1.1. Primeras máquinas y su función .....	12
2.1.2. Primeras etapas y descubrimientos.....	12
2.1.3. Máquina herramienta.....	14
2.1.4. Evolución técnica de la máquina-herramienta .....	14
2.1.5. Desarrollo tecnológico a lo largo del tiempo .....	15
2.1.6. Automatización y control digital.....	15
2.1.7. Impacto en la eficiencia y sostenibilidad.....	15
2.1.8. Avances recientes en maquinaria pesada .....	16
2.1.9. Integración de tecnologías de la información y comunicación (TIC).....	16
2.1.10. Automatización y robótica .....	17
2.1.11. Realidad aumentada y virtual.....	17
2.2. Mantenimiento Proactivo .....	18
2.2.1. Características del mantenimiento proactivo .....	18
2.3. Mantenimiento Preventivo .....	19
2.4. Mantenimiento Predictivo .....	19
2.4.1. Cómo funciona el mantenimiento predictivo .....	19
2.4.2. Tipos de técnicas predictivos .....	20
2.5. Componentes principales y su función .....	23
2.5.1. Equipo .....	23
2.5.2. Equipo .....	26
2.5.3. Equipo .....	28
2.5.4. Equipo .....	30
2.5.5. Factores que influyen en la eficiencia operativa .....	33

2.5.6.	Impacto del mantenimiento proactivo en la vida útil de la maquinaria .....	34
2.5.7.	Factores ambientales .....	35
2.5.8.	Sobrecarga.....	36
2.5.9.	Fallos en componentes .....	37
CAPÍTULO III.....		39
3.	Análisis situacional de la empresa .....	40
3.1.	Antecedentes .....	40
3.1.1.	Descripción de la empresa .....	40
3.1.2.	Principios de la compañía .....	40
3.1.3.	Unidad de producción mina .....	41
CAPÍTULO IV.....		56
4.	Metodología implementación mantenimiento proactivo.....	57
4.1.	Introducción .....	57
4.2.	Proceso de aplicación el mantenimiento proactivo .....	58
4.2.1.	Lista y ficha técnica de los activos físicos .....	58
4.2.2.	Análisis de Criticidad de los Activos Físicos.....	67
4.2.3.	Taxonomía y funciones de los activos físicos críticos .....	77
4.2.4.	Análisis de criticidad para los sistemas.....	90
4.2.5.	Análisis de criticidad para los subsistemas .....	103
4.3.	Análisis de Modo y Efectos de Falla para el Camión Minero 797 F AMFE .....	153
4.3.1.	Activo: Sistema Electrónico Camión Minero 797 F.....	153
4.3.2.	Activo : Sistema Hidráulico Camión Minero 797 F .....	157
4.3.3.	Activo : Sistema Unidad de Potencia Camión Minero 797 F .....	159
4.3.4.	Activo : Sistema Tren de Fuerza Camion Minero 797 F .....	171
4.4.	Plan de mantenimiento proactivo p ara el Camion Minero 797 F .....	174
CAPITULO V.....		224

5. Análisis de Resultados .....	225
5.1. Cálculo de los indicadores.....	228
5.1.1. Indicador de disponibilidad operativa .....	228
5.1.2. Costo mensual de mantenimiento.....	229
5.2. Cuadro resumen de costos del camión minero CAT 797F.....	230
CONCLUSIONES .....	231
RECOMENDACIONES .....	232
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	233
ANEXOS .....	237



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de Operacionalización de Variables .....	9
Tabla 2 Factores que influyen la eficiencia operativa .....	33
Tabla 3 Fricción .....	34
Tabla 4 Factores ambientales .....	35
Tabla 5 Sobrecarga.....	36
Tabla 6 Fallos en componentes .....	37
Tabla 7 PCR de los componentes de cambio mayor según fabricante.....	42
Tabla 8 Cambio de componente mayor camión minero 797 F.....	43
Tabla 9 Tabla histórica frecuencia de fallos por mes ( FF ) camión Minero 797 F.....	43
Tabla 10 Tabla de impacto operacional ( IO ) camión Minero 797 F.....	44
Tabla 11 Tabla de costo de mantenimiento ( CM ) camión Minero 797 F.....	45
Tabla 12 PCR de los componentes de cambio mayor según fabricante.....	45
Tabla 13 Cambio de componente mayor pala eléctrica 7495 .....	46
Tabla 14 Tabla histórica frecuencia de fallos por mes ( FF ) Pala eléctrica 7495 .....	47
Tabla 15 Tabla de impacto operacional ( IO ) Pala eléctrica 7495 .....	47
Tabla 16 Tabla de costo de mantenimiento ( CM ) Pala Eléctrica 7495.....	48
Tabla 17 PCR de los componentes de cambio mayor según fabricante.....	49
Tabla 18 Cambio de componente mayor motoniveladora 24 M.....	49
Tabla 19 Tabla histórica frecuencia de fallos por mes ( FF ) Motoniveladora 24 M.....	50
Tabla 20 Tabla de impacto operacional ( IO ) Motoniveladora 24 M .....	50
Tabla 21 Tabla de costo de mantenimiento ( CM ) Motoniveladora 24 M.....	51
Tabla 22 Componentes.....	52
Tabla 23 Lista de los activos físicos.....	58
Tabla 24 Ficha técnica camión minero CAT 797 F.....	59
Tabla 25 Ficha técnica pala eléctrica CAT 7495 .....	61

Tabla 26 Ficha técnica motoniveladora 24 M.....	64
Tabla 27 Frecuencia de fallos Camión minero 797 F.....	68
Tabla 28 Impacto Operacional Camión minero 797 F.....	68
Tabla 29 Flexibilidad Operacional Camión minero 797 F.....	69
Tabla 30 Costo de Mantenimiento Camión minero 797 F.....	69
Tabla 31 Impacto SAH Camión minero 797 F.....	69
Tabla 32 Frecuencia de fallos Pala Eléctrica CAT 7495.....	71
Tabla 33 Impacto Operacional Pala Eléctrica CAT 7495.....	71
Tabla 34 Flexibilidad Operacional Pala Eléctrica CAT 7495.....	71
Tabla 35 Costo de Mantenimiento Pala Eléctrica 7495.....	72
Tabla 36 Impacto SAH Pala Electrica CAT 7495.....	72
Tabla 37 Frecuencia de Fallos Motoniveladora 24 M.....	73
Tabla 38 Impacto Operacional Motoniveladora 24 M.....	74
Tabla 39 Flexibilidad Operacional Motoniveladora 24 M.....	74
Tabla 40 Costo de Mantenimiento Motoniveladora 24 M.....	74
Tabla 41 Impacto SAH Motoniveladora 24 M.....	75
Tabla 42 Tabla de modelo de factores Ponderados basados en la teoría del riesgo.....	76
Tabla 43 Clasificación del sistema unidad de potencia.....	80
Tabla 44 Clasificación del sistema tren de fuerza.....	83
Tabla 45 Clasificación del sistema hidráulico.....	86
Tabla 46 Clasificación del sistema electrónico.....	89
Tabla 47 Frecuencia de Fallos Sistema Unidad de Potencia.....	90
Tabla 48 Impacto Operacional Sistema Unidad de Potencia.....	91
Tabla 49 Flexibilidad Operacional Sistema Unidad de Potencia.....	91
Tabla 50 Costo de Mantenimiento Sistema Unidad de Potencia.....	91
Tabla 51 Impacto SAH Sistema Unidad de Potencia.....	92

Tabla 52 Frecuencia de Fallos Sistema Tren de Fuerza.....	93
Tabla 53 Impacto Operacional Sistema Tren de Fuerza .....	93
Tabla 54 Flexibilidad Operacional Sistema Tren de Fuerza .....	94
Tabla 55 Costo de Mantenimiento Sistema Tren de Fuerza .....	94
Tabla 56 Impacto SAH Sistema Tren de Fuerza.....	94
Tabla 57 Frecuencia de Fallos Sistema Hidráulico .....	96
Tabla 58 Impacto Operacional Sistema Hidráulico .....	96
Tabla 59 Flexibilidad Operacional Sistema Hidráulico .....	96
Tabla 60 Costo de Mantenimiento Sistema Hidráulico .....	97
Tabla 61 Impacto SAH Sistema Hidráulico.....	97
Tabla 62 Frecuencia de Fallos.....	98
Tabla 63 Impacto Operacional .....	99
Tabla 64 Flexibilidad Operacional .....	99
Tabla 65 Costo de Mantenimiento .....	99
Tabla 66 Impacto SAH.....	100
Tabla 67 Tabla de modelo de factores Ponderados para los sistemas.....	101
Tabla 68 Frecuencia de Fallos.....	103
Tabla 69 Impacto Operacional .....	103
Tabla 70 Flexibilidad Operacional .....	104
Tabla 71 Costo de Mantenimiento .....	104
Tabla 72 Impacto SAH.....	104
Tabla 73 Frecuencia de Fallos.....	106
Tabla 74 Impacto Operacional .....	106
Tabla 75 Flexibilidad Operacional .....	107
Tabla 76 Costo de Mantenimiento .....	107
Tabla 77 Impacto SAH.....	108

Tabla 78 Frecuencia de Fallos.....	109
Tabla 79 Impacto Operacional .....	109
Tabla 80 Flexibilidad Operacional .....	110
Tabla 81 Costo de Mantenimiento .....	110
Tabla 82 Impacto SAH.....	110
Tabla 83 Frecuencia de Fallos.....	112
Tabla 84 Impacto Operacional .....	112
Tabla 85 Flexibilidad Operacional .....	113
Tabla 86 Costo de Mantenimiento .....	113
Tabla 87 Impacto SAH.....	114
Tabla 88 Frecuencia de Fallos.....	115
Tabla 89 Impacto Operacional .....	115
Tabla 90 Flexibilidad Operacional .....	116
Tabla 91 Costo de Mantenimiento .....	116
Tabla 92 Impacto SAH.....	116
Tabla 93 Frecuencia de Fallos.....	118
Tabla 94 Impacto Operacional .....	118
Tabla 95 Flexibilidad Operacional .....	119
Tabla 96 Costo de Mantenimiento .....	119
Tabla 97 Frecuencia de Fallos.....	121
Tabla 98 Impacto Operacional .....	121
Tabla 99 Flexibilidad Operacional .....	122
Tabla 100 Costo de Mantenimiento .....	122
Tabla 101 Impacto SAH.....	123
Tabla 102 Frecuencia de Fallos.....	124
Tabla 103 Impacto Operacional .....	124

Tabla 104 Flexibilidad Operacional .....	125
Tabla 105 Costo de Mantenimiento .....	125
Tabla 106 Impacto SAH.....	125
Tabla 107 Frecuencia de Fallos.....	127
Tabla 108 Impacto Operacional .....	127
Tabla 109 Flexibilidad Operacional .....	128
Tabla 110 Costo de Mantenimiento .....	128
Tabla 111 Impacto SAH.....	128
Tabla 112 Frecuencia de Fallos.....	130
Tabla 113 Impacto Operacional .....	130
Tabla 114 Flexibilidad Operacional .....	131
Tabla 115 Costo de Mantenimiento .....	131
Tabla 116 Impacto SAH.....	131
Tabla 117 Frecuencia de Fallos.....	133
Tabla 118 Impacto Operacional .....	133
Tabla 119 Flexibilidad Operacional .....	134
Tabla 120 Costo de Mantenimiento .....	134
Tabla 121 Impacto SAH.....	134
Tabla 122 Frecuencia de Fallos.....	136
Tabla 123 Impacto Operacional .....	136
Tabla 124 Flexibilidad Operacional .....	137
Tabla 125 Costo de Mantenimiento .....	137
Tabla 126 Impacto SAH.....	137
Tabla 127 Frecuencia de Fallos.....	139
Tabla 128 Impacto Operacional .....	139
Tabla 129 Flexibilidad Operacional .....	140

Tabla 130 Costo de Mantenimiento .....	140
Tabla 131 Impacto Operacional .....	143
Tabla 132 Flexibilidad Operacional .....	143
Tabla 133 Costo de Mantenimiento .....	144
Tabla 134 Impacto SAH.....	144
Tabla 135 Frecuencia de Fallos.....	146
Tabla 136 Impacto Operacional .....	146
Tabla 137 Flexibilidad Operacional .....	147
Tabla 138 Costo de Mantenimiento .....	147
Tabla 139 Impacto SAH.....	148
Tabla 140 Tabla de modelo de factores Ponderados basados en la teoría del riesgo evaluamos los Sub Sistemas mediante la criticidad para hallar los Sub Sistemas mas críticos.....	150
Tabla 141 Tabla de modelo de factores Ponderados basados en la teoría del riesgo evaluamos los componentes mediante la criticidad para hallar los más críticos. ....	151
Tabla 142 Componente .....	153
Tabla 143 Activo : Sistema Unidad de Potencia Camion Minero 797 F.....	159
Tabla 144 Activo: Sistema Tren de Fuerza Camion Minero 797 F.....	171
Tabla 145 Plan de mantenimiento proactivo del componente Sensor de Velocidad .....	175
Tabla 146 Plan de mantenimiento proactivo del componente Sensor de nivel en combustible .....	177
Tabla 147 Plan de mantenimiento proactivo del componente Sensor presión de combustible en la bomba.....	180
Tabla 148 Plan de mantenimiento proactivo del componente Sensor presión riel de combustible .....	183
Tabla 149 Plan de mantenimiento proactivo del componente Cilindro levante de tolva... ..	186
Tabla 150 Plan de mantenimiento proactivo del componente Válvula Control de levante.....	189

Tabla 150 Plan de mantenimiento proactivo del componente Bomba levante de tolva ....	192
Tabla 150 Plan de mantenimiento proactivo del componente Bomba de Aceite de Motor	194
Tabla 150 Plan de mantenimiento proactivo del componente Bomba de Cebado de Lubricacion.....	197
Tabla 150 Plan de mantenimiento proactivo del componente Bomba de Pre Lubricacion	200
Tabla 150 Plan de mantenimiento proactivo del componente Enfriador de Aceite de Motor .....	203
Tabla 150 Plan de mantenimiento proactivo del componente Bomba Limpieza Aceite de Motor.....	206
Tabla 150 Plan de mantenimiento proactivo del componente .....	208
Tabla 150 Plan de mantenimiento proactivo del componente Aftercooler .....	209
Tabla 150 Plan de mantenimiento proactivo del componente Turbo cargador.....	211
Tabla 150 Plan de mantenimiento proactivo del componente Valvula Baypas de Escape	213
Tabla 150 Plan de mantenimiento proactivo del componente Colector de Admisión .....	215
Tabla 150 Plan de mantenimiento proactivo del componente Colector de Escape .....	217
Tabla 150 Plan de mantenimiento proactivo del componente Piñon - Corona.....	219
Tabla 150 Plan de mantenimiento proactivo del componente Engranaje Diferencial .....	220
Tabla 150 Plan de mantenimiento proactivo del componente Engranaje Satelital .....	221
Tabla 150 Plan de mantenimiento proactivo del componente Semiejes .....	221
Tabla 162 Tabla de modelo de factores Ponderados basados en la teoría del riesgo después de la aplicación .....	225
Tabla 163 Tabla de impacto operacional ( IO ) camión Minero 797 F.....	228
Tabla 164 Frecuencia de Fallos.....	241
Tabla 165 Impacto Operacional .....	241
Tabla 166 Flexibilidad Operacional .....	241
Tabla 167 Costo de Mantenimiento .....	242
Tabla 168 Impacto SAH.....	242

Tabla 169 Frecuencia de Fallos.....	243
Tabla 170 Impacto Operacional .....	244
Tabla 171 Flexibilidad Operacional .....	244
Tabla 172 Costo de Mantenimiento .....	244
Tabla 173 Impacto SAH.....	245
Tabla 174 Frecuencia de Fallos.....	246
Tabla 175 Impacto Operacional .....	246
Tabla 176 Flexibilidad Operacional .....	247
Tabla 177 Costo de Mantenimiento .....	247
Tabla 178 Impacto SAH.....	247
Tabla 179 Frecuencia de Fallos.....	249
Tabla 180 Impacto Operacional .....	249
Tabla 181 Flexibilidad Operacional .....	249
Tabla 182 Costo de Mantenimiento .....	250
Tabla 183 Impacto SAH.....	250
Tabla 184 Frecuencia de Fallos.....	251
Tabla 185 Impacto Operacional .....	252
Tabla 186 Flexibilidad Operacional .....	252
Tabla 187 Costo de Mantenimiento .....	252
Tabla 188 Impacto SAH.....	253
Tabla 189 Frecuencia de Fallos.....	254
Tabla 190 Impacto Operacional .....	254
Tabla 191 Flexibilidad Operacional .....	255
Tabla 192 Costo de Mantenimiento .....	255
Tabla 193 Frecuencia de Fallos.....	257
Tabla 194 Impacto Operacional .....	257

Tabla 195 Flexibilidad Operacional .....	257
Tabla 196 Costo de Mantenimiento .....	258
Tabla 197 Impacto SAH.....	258
Tabla 198 Frecuencia de Fallos.....	259
Tabla 199 Impacto Operacional .....	260
Tabla 200 Flexibilidad Operacional .....	260
Tabla 201 Costo de Mantenimiento .....	260
Tabla 202 Impacto SAH.....	261
Tabla 203 Frecuencia de Fallos.....	262
Tabla 204 Impacto Operacional .....	262
Tabla 205 Flexibilidad Operacional .....	263
Tabla 206 Costo de Mantenimiento .....	263
Tabla 207 Impacto SAH.....	263
Tabla 208 Frecuencia de Fallos.....	265
Tabla 209 Impacto Operacional .....	265
Tabla 210 Flexibilidad Operacional .....	265
Tabla 211 Costo de Mantenimiento .....	266
Tabla 212 Impacto SAH.....	266
Tabla 213 Frecuencia de Fallos.....	267
Tabla 214 Impacto Operacional .....	268
Tabla 215 Flexibilidad Operacional .....	268
Tabla 216 Costo de Mantenimiento .....	268
Tabla 217 Frecuencia de Fallos.....	270
Tabla 218 Impacto Operacional .....	271
Tabla 219 Flexibilidad Operacional .....	271
Tabla 220 Costo de Mantenimiento .....	271

Tabla 221 Impacto SAH.....	272
Tabla 222 Frecuencia de Fallos.....	273
Tabla 223 Impacto Operacional .....	273
Tabla 224 Flexibilidad Operacional .....	274
Tabla 225 Costo de Mantenimiento .....	274
Tabla 226 Impacto SAH.....	274
Tabla 227 Frecuencia de Fallos.....	276
Tabla 228 Impacto Operacional .....	276
Tabla 229 Flexibilidad Operacional .....	276
Tabla 230 Costo de Mantenimiento .....	277
Tabla 231 Impacto SAH.....	277
Tabla 232 Frecuencia de Fallos.....	278
Tabla 233 Impacto Operacional .....	278
Tabla 234 Flexibilidad Operacional .....	279
Tabla 235 Costo de Mantenimiento .....	279
Tabla 236 Impacto SAH.....	280
Tabla 237 Frecuencia de Fallos.....	281
Tabla 238 Impacto Operacional .....	281
Tabla 239 Flexibilidad Operacional .....	282
Tabla 240 Costo de Mantenimiento .....	282
Tabla 241 Impacto SAH.....	282
Tabla 242 Frecuencia de Fallos.....	284
Tabla 243 Impacto Operacional .....	284
Tabla 244 Flexibilidad Operacional .....	284
Tabla 245 Costo de Mantenimiento .....	285
Tabla 246 Frecuencia de Fallos.....	286

Tabla 247 Impacto Operacional .....	287
Tabla 248 Flexibilidad Operacional .....	287
Tabla 249 Costo de Mantenimiento .....	287
Tabla 250 Impacto SAH.....	288
Tabla 251 Frecuencia de Fallos.....	289
Tabla 252 Impacto Operacional .....	289
Tabla 253 Flexibilidad Operacional .....	290
Tabla 254 Costo de Mantenimiento .....	290
Tabla 255 Impacto SAH.....	290
Tabla 256 Frecuencia de Fallos.....	292
Tabla 257 Impacto Operacional .....	292
Tabla 258 Flexibilidad Operacional .....	293
Tabla 259 Costo de Mantenimiento .....	293
Tabla 260 Impacto SAH.....	293
Tabla 261 Frecuencia de Fallos.....	295
Tabla 262 Impacto Operacional .....	295
Tabla 263 Flexibilidad Operacional .....	295
Tabla 264 Costo de Mantenimiento .....	296
Tabla 265 Impacto SAH.....	296
Tabla 266 Frecuencia de Fallos.....	297
Tabla 267 Impacto Operacional .....	298
Tabla 268 Flexibilidad Operacional .....	298
Tabla 269 Costo de Mantenimiento .....	298
Tabla 270 Impacto SAH.....	299
Tabla 271 Frecuencia de Fallos.....	300
Tabla 272 Impacto Operacional .....	300

Tabla 273 Flexibilidad Operacional .....	301
Tabla 274 Costo de Mantenimiento .....	301
Tabla 275 Impacto SAH.....	301
Tabla 276 Frecuencia de Fallos.....	303
Tabla 277 Impacto Operacional .....	303
Tabla 278 Flexibilidad Operacional .....	303
Tabla 279 Costo de Mantenimiento .....	304
Tabla 280 Frecuencia de Fallos.....	305
Tabla 281 Impacto Operacional .....	306
Tabla 282 Flexibilidad Operacional .....	306
Tabla 283 Costo de Mantenimiento .....	306
Tabla 284 Impacto SAH.....	307
Tabla 285 Frecuencia de Fallos.....	308
Tabla 286 Impacto Operacional .....	308
Tabla 287 Flexibilidad Operacional .....	309
Tabla 288 Costo de Mantenimiento .....	309
Tabla 289 Impacto SAH.....	309
Tabla 290 Frecuencia de Fallos.....	311
Tabla 291 Impacto Operacional .....	311
Tabla 292 Flexibilidad Operacional .....	311
Tabla 293 Costo de Mantenimiento .....	312
Tabla 294 Impacto SAH.....	312

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Evolución de la maquinaria .....	13
Figura 2 Integración de tecnologías de la información y comunicación (TIC).....	16
Figura 3 Automatización y robótica.....	17
Figura 4 Realidad aumentada y virtual .....	18
Figura 5 Fricción .....	35
Figura 6 Sobrecarga .....	37
Figura 7 Mantenimiento Proactivo:.....	57
Figura 8 Taxonomía Camión Minero 797 F .....	77
Figura 9 Taxonomía Camión Minero 797 F .....	78
Figura 10 Taxonomía Camión Minero 797 F – Sistema unidad de potencia.....	79
Figura 11 Despiece Camión Minero 797 F – Sistema unidad de potencia .....	81
Figura 12 Taxonomía Camión Minero 797 F – Sistema Tren de Fuerza.....	82
Figura 13 Despiece Taxonomía Camión Minero 797 F tren de fuerza.....	84
Figura 14 Taxonomía Camión Minero 797 F – Sistema Hidráulico .....	85
Figura 15 Despiece Camión Minero 797 F – Sistema Hidráulico .....	87
Figura 16 Taxonomía Camión Minero 797 F – Sistema Electrónico.....	88
Figura 17 Despiece Camión Minero 797 F – Sistema Electrónico .....	90

## INTRODUCCIÓN

La minería constituye una de las principales actividades económicas del Perú, destacándose no solo por su impacto económico, sino también por los desafíos técnicos y operativos que conlleva. En este contexto, la maquinaria pesada, como el camión minero CAT 797F, se posiciona como un elemento crucial para el transporte eficiente de minerales en las operaciones mineras. Sin embargo, el mantenimiento inadecuado de estos equipos puede generar significativas pérdidas económicas debido a fallos no planificados, tiempos de inactividad y costos elevados de reparación. Actualmente, muchas empresas del sector adoptan enfoques reactivos en la gestión del mantenimiento, limitándose a intervenir únicamente cuando los fallos ya se han producido. Este enfoque, aunque común, resulta ineficiente y riesgoso, tanto desde una perspectiva operativa como económica. Por otro lado, la implementación de estrategias de mantenimiento proactivo y predictivo permite anticipar fallos, optimizar recursos y mejorar la confiabilidad de los equipos, contribuyendo así al desarrollo sostenible de las operaciones mineras (Solórzano 2019).

Esta investigación se enfoca en la implementación de un sistema de mantenimiento proactivo, basado en la evaluación operativa de los activos físicos de una empresa minera del sur del Perú. A través de un análisis exhaustivo del estado operativo de los principales componentes del camión minero 797F, se busca establecer estrategias de mantenimiento que reduzcan los tiempos de parada, incrementen la disponibilidad del equipo y optimicen los costos operativos.

En este trabajo se detallan las metodologías utilizadas para identificar modos de fallo, priorizar intervenciones y diseñar un plan de mantenimiento que integre aspectos técnicos, económicos y ambientales. Los resultados de este estudio proporcionan una guía práctica para mejorar la gestión del mantenimiento en equipos de alta relevancia operativa, fortaleciendo la productividad y sostenibilidad del sector minero.



## 1. Marco Metodológico

### 1.1. Descripción del problema

La maquinaria pesada representa una de las inversiones más significativas en diversos sectores industriales. Sin embargo, su alto costo no solo se limita a la adquisición inicial, sino también a su operación, mantenimiento y potenciales tiempos de inactividad debido a fallos o averías. Es un hecho que cualquier periodo de inactividad de estos equipos puede traducirse en pérdidas económicas considerables, retrasos en proyectos y, en el peor de los casos, accidentes que comprometen la integridad física de los operarios y el entorno.

En la actualidad, muchas empresas aún operan bajo un enfoque reactivo en cuanto al mantenimiento de su maquinaria. Esto significa que, en lugar de anticiparse a los problemas, actúan cuando el fallo ya ha ocurrido. Esta práctica no solo es costosa, sino también riesgosa. La falta de un mantenimiento adecuado y oportuno puede desencadenar fallos catastróficos en los equipos, comprometiendo la seguridad de la operación y, por ende, de las personas involucradas.

Por otro lado, la cultura de seguridad, aunque es una prioridad en papel para muchas organizaciones, a menudo se relega en la práctica. Se observan prácticas inseguras, falta de capacitación adecuada para los operarios y la omisión de protocolos de seguridad bajo la justificación de ahorrar tiempo o reducir costos. Esta mentalidad no solo es contraproducente, sino también peligrosa.

### 1.2. Justificación

La gestión eficiente del mantenimiento en equipos de alta relevancia operativa, como el camión minero 797F, la motoniveladora 24 M y la pala CAT CON Hidrocowrd 7495 es esencial para garantizar la continuidad de las operaciones en la industria minera. Estos equipos desempeñan un papel crucial en el transporte de grandes volúmenes de mineral, carga de mineral, limpieza de vías desde los puntos de extracción hasta las zonas de procesamiento, siendo un elemento clave para cumplir con los objetivos de producción y eficiencia económica de las operaciones mineras.

### 1.2.1. **Justificación tecnológica**

La implementación de un sistema de mantenimiento proactivo en el camión minero 797F, la motoniveladora 24 M y la pala CAT CON Hidrocowrd 7495 se fundamenta en la necesidad de adoptar tecnologías avanzadas que permitan optimizar la operación y el rendimiento de los equipos. La integración de herramientas de monitoreo predictivo, como análisis de vibraciones, termografía y sistemas de control inteligente, proporciona una visión detallada del estado de los componentes críticos, lo que permite anticipar fallos y programar intervenciones con mayor precisión. Estas tecnologías no solo mejoran la capacidad de diagnóstico, sino que también facilitan la planificación de las actividades de mantenimiento, reduciendo la dependencia de enfoques reactivos. Además, el uso de software especializado para la gestión de mantenimiento contribuye a la automatización y registro de datos operativos, lo que incrementa la trazabilidad y la toma de decisiones basadas en información precisa. De esta manera, se garantiza la sostenibilidad operativa y se promueve la modernización del sector minero mediante la adopción de innovaciones tecnológicas que potencian la eficiencia y confiabilidad de los activos físicos.

### 1.2.2. **Justificación ambiental**

La mejora del mantenimiento también tiene implicaciones positivas en el ámbito ambiental. Un mantenimiento adecuado garantiza que el equipo funcione en su rango de eficiencia óptimo, reduciendo el consumo de combustible y minimizando las emisiones de gases contaminantes, como el CO<sub>2</sub>. Esto contribuye a cumplir con los estándares ambientales vigentes, promoviendo una operación minera más sostenible.

### 1.2.3. **Justificación económica**

El impacto económico de este proyecto es evidente en la reducción de costos asociados a fallas no planificadas y tiempos muertos. Al implementar un mantenimiento eficiente y bien estructurado, se prolonga la vida útil de los componentes del camión, disminuyendo la necesidad de reparaciones costosas y la dependencia de servicios externos. Adicionalmente, la mayor disponibilidad del equipo contribuye a un incremento en la producción, maximizando el retorno de la inversión.

#### 1.2.4. Justificación Operativa

Desde una perspectiva operativa, la implementación de un sistema de mantenimiento proactivo resulta esencial para asegurar la continuidad y eficiencia de las actividades mineras. Estos equipos son elementos clave en la logística del transporte de materiales, carga de material, limpieza de vías y cualquier falla en su funcionamiento puede generar tiempos de inactividad que afectan significativamente la producción y los objetivos estratégicos de la empresa. El mantenimiento proactivo permite maximizar la disponibilidad operativa de los activos físicos, reduciendo paradas inesperadas y optimizando los ciclos de trabajo. Al identificar y mitigar fallos potenciales antes de que ocurran, se mejora la confiabilidad de los equipos y se minimizan las interrupciones en las operaciones mineras. Además, al prolongar la vida útil de los componentes y garantizar un desempeño consistente, se optimiza el uso de recursos, se disminuyen los costos operativos y se contribuye al cumplimiento de las metas de producción en entornos altamente competitivos.

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo General

Optimizar el mantenimiento de los camiones mineros CAT 797F mediante estrategias proactivas basadas en su evaluación operativa, reduciendo fallos no planificados y mejorando la disponibilidad operativa en una minera del sur del Perú.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar los principales modos de falla y sus consecuencias en los sistemas críticos del camión minero CAT 797F que es la maquina crítica del área. 1
- Priorizar las fallas identificadas mediante una matriz de criticidad para enfocar las estrategias de mantenimiento en los componentes más relevantes.
- Diseñar un plan de mantenimiento proactivo que integre análisis predictivo y proactivo para mejorar la disponibilidad operativa del equipo.
- Estimar los costos asociados al mantenimiento proactivo y comparar su impacto con el enfoque reactivo tradicional.

#### 1.4. Alcances

Las actividades incluirán:

- **Ámbito de aplicación:** Se centrará en los sistemas principales del camión 797F, tales como el sistema motor, hidráulico, electrónico y tren de fuerza
- **Actividades principales:** Se realizará un análisis del estado operativo actual del camión, evaluando los componentes críticos e historial de fallas del camión 797 F, y se desarrollarán estrategias de mantenimiento para mejorar la eficiencia y confiabilidad del equipo.
- **Resultados esperados:** Se espera obtener:
  - Planes de mantenimiento estructurados que reduzcan tiempos de parada por fallas.
  - Incremento en la disponibilidad operativa del camión.
  - Mejora en la gestión de mantenimiento, reduciendo costos y optimizando recursos.
- **Exclusiones:** Este trabajo no incluye un análisis detallado de los sistemas eléctricos o electrónicos del camión, ya que estos suelen abordarse con planes específicos.

#### 1.5. Antecedentes

Becerra, Andrés; Chavestán, Ricardo, Propuesta de seguridad basada en el comportamiento de los operarios de la planta de beneficio de la Empresa Sociedad Minera los Conquistadores S.A.S para la prevención de accidentes por riesgo mecánico, Santiago de Cali. La investigación tiene como objetivo principal desarrollar una propuesta de seguridad basada en el comportamiento de los operarios en la planta de beneficio de la empresa Sociedad Minera los Conquistadores S.A.S., orientada a la prevención de accidentes relacionados con riesgos mecánicos. El estudio empleó una combinación de métodos cualitativos y cuantitativos para identificar riesgos y comportamientos inseguros. La metodología incluyó observación directa de los procesos, encuestas estructuradas y tarjetas observacionales. El diagnóstico de riesgos se realizó aplicando la Guía Técnica Colombiana GTC 45, encontrando peligros en procesos como trituración, molienda, concentración gravimétrica, recuperación de oro, entre otros. Los resultados mostraron la necesidad de implementar capacitaciones continuas, proporcionar equipo de protección personal (EPP) adecuado, y fomentar una

cultura de seguridad participativa. Este enfoque integral ofrece una base sólida para mejorar la seguridad laboral y optimizar las operaciones en la planta de beneficio (Becerra & Chavestán 2024).

Paredes et al (2022) abordan los riesgos de la industria de la construcción, especialmente aquellos asociados con maquinaria pesada. A través de una revisión de factores de riesgo y propuestas de estrategias de prevención, concluyen que la capacitación continua y el uso correcto de equipos de protección pueden reducir significativamente la accidentalidad. Los hallazgos revelan que gran parte de los accidentes ocurre debido a la falta de cumplimiento de normativas y formación insuficiente, lo que reafirma la necesidad de una implementación rigurosa de las normas de seguridad en este sector.

Bascompta et al (2018) analizan la cultura de seguridad en actividades mineras de América del Sur, encontrando que las empresas de minería a gran escala exhiben mayor madurez en su cultura de seguridad en comparación con las operaciones artesanales. Los resultados sugieren una correlación entre el tamaño de la empresa y la solidez de la cultura de seguridad, apoyada por la implementación de sistemas de control y mejora continua. Las operaciones artesanales, sin embargo, no muestran una tendencia clara en este aspecto, lo cual resalta la importancia de los sistemas estructurados para mejorar la seguridad laboral en el sector minero.

Martyka, Joanna; Lebecki, Kazimierz ( 2014) exploran cómo una cultura de seguridad bien implementada puede reducir riesgos en industrias de alto peligro, como las minas subterráneas de carbón. La investigación, realizada a través de encuestas y escalas de medición, evidencia la necesidad de cambios culturales entre los trabajadores para minimizar conductas de riesgo. Se resalta la importancia de programas específicos que busquen modificar estos comportamientos, promoviendo un ambiente laboral más seguro.

Vassem et al (2017) realizan un análisis cuantitativo sobre la cultura de seguridad en la minería brasileña, destacando factores clave como el aprendizaje organizacional, la información y el compromiso. Los resultados de su modelo validan que estos elementos son esenciales para una cultura de seguridad sólida, contribuyendo a mejorar la comprensión y prevención de accidentes desde una perspectiva organizacional e interpersonal, y subrayando la necesidad de una visión integral en la prevención de accidentes laborales en contextos de alto riesgo.

## **1.6. Limitaciones**

El presente trabajo tiene las siguientes limitaciones:

### **1.6.1. Enfoque en el mantenimiento mecánico**

El análisis se centró exclusivamente en los sistemas mecánicos sistema de tren de fuerza sistema hidráulicos y sistema electrónico del camión minero 797F

### **1.6.2. Dependencia de datos operativos**

La propuesta se basó en el historial de componentes de la minera en las paradas reiteradas y demoras de la disponibilidad del equipo móvil y ejemplos de fallas genéricas del camión 797F

### **1.6.3. Variabilidad en condiciones operativas**

Los resultados y estrategias propuestas estuvieron sujetos a ajustes significativos para adaptarse a las condiciones específicas de operación minera, como altitud, clima y tipo de material transportado.

### **1.6.4. Recursos limitados**

El estudio no incluyó una evaluación detallada de los recursos logísticos o presupuestarios necesarios para implementar las estrategias propuestas, ya que el enfoque fue conceptual y metodológico.

### 1.6.5. Limitación temporal

El análisis, diseño e implementación de las estrategias se plantearon en un marco teórico de 12 meses, lo cual pudo variar dependiendo del tiempo requerido para capacitar al personal y ajustar las metodologías a la operación específica.

### 1.7. Cuadro de Operacionalización de Variables

La tabla presenta las variables de un estudio sobre el impacto de un programa de mantenimiento preventivo en la eficiencia operativa y durabilidad de la maquinaria. Se detallan las variables independientes, como la frecuencia y tipo de actividades de mantenimiento, y las variables dependientes, como el tiempo de operación efectiva y la tasa de fallas, junto con sus indicadores, métodos de medición e instrumentos utilizados.

**Tabla 1**  
**Glosario de Variables**

Tipo de Variable	Variable	Indicador	Medición	Instrumento	Unidad de Medida
Dependiente	Programa de Mantenimiento Proactivo	Frecuencia de mantenimiento	Número de sesiones de mantenimiento por periodo	Registros de mantenimiento	Veces por periodo (ej. mensual)
		Tipo de actividades de mantenimiento	Lista de actividades realizadas (inspecciones, lubricación, etc.)	Bitácora de mantenimiento	Tipo de actividad
		Duración de las sesiones de mantenimiento	Tiempo dedicado a cada sesión de mantenimiento	Cronograma de mantenimiento	Horas
		Capacitación del personal	Nivel de capacitación y experiencia del personal de mantenimiento	Registros de capacitación	Nivel de capacitación

Independiente	Eficiencia Operativa de la Maquinaria	Tiempo de operación efectiva	Horas de trabajo productivo	Registros de operación	Horas
		Tiempo de inactividad	Horas de parada por mantenimiento o fallas	Registros de operación	Horas
		Tasa de fallas	Número de fallos mecánicos o técnicos por periodo	Reportes de fallos	Número de fallos
	Durabilidad de la Maquinaria	Años de servicio	Tiempo de vida útil de la maquinaria hasta reparaciones mayores	Registro de activos	Años
		Frecuencia de reparaciones mayores	Número de reparaciones mayores realizadas	Registro de mantenimiento	Número de reparaciones
		Evaluación del estado de componentes	Evaluaciones periódicas del estado y desgaste de componentes críticos	Inspecciones técnicas	Estado de conservación



## 2. Marco Teórico

### 2.1. Historia y evolución de la maquinaria pesada

#### 2.1.1. Primeras máquinas y su función

Desde tiempos antiguos, la humanidad ha buscado formas de facilitar y mejorar sus actividades diarias mediante el uso de herramientas y máquinas. Estas máquinas, que han evolucionado a lo largo del tiempo, han sido fundamentales para el desarrollo y progreso de la civilización (Maquinaria Carran 2022).

#### 2.1.2. Primeras etapas y descubrimientos

Los primeros registros de herramientas y maquinaria datan de la prehistoria, donde el hombre primitivo utilizaba piedras y palos para cazar y recolectar. Con el tiempo, estos implementos rudimentarios evolucionaron en sofisticación y funcionalidad. Durante la edad de piedra, los seres humanos comenzaron a fabricar herramientas de piedra afilada, y con la llegada de la edad de bronce y la edad de hierro, la metalurgia permitió la creación de herramientas más duraderas y eficientes (Algor Cards 2018).

##### 2.1.2.1. Invención de la rueda

Uno de los avances más significativos en la historia de la maquinaria fue la invención de la rueda alrededor del 3500 A.C. en Mesopotamia. Esta innovación no solo facilitó el transporte de cargas pesadas, sino que también condujo al desarrollo de vehículos como los carros, que revolucionaron el comercio y la guerra. La rueda se convirtió en una componente crucial de muchas máquinas posteriores, desde molinos de agua hasta maquinaria industrial (Mosquera 2016).

##### 2.1.2.2. La revolución industrial

El verdadero punto de inflexión en la evolución de la maquinaria pesada llegó con la Revolución Industrial en el siglo XVIII, un periodo que transformó radicalmente los métodos de producción y transporte. La invención de la máquina de vapor por James Watt en 1769 marcó el inicio de una nueva era de mecanización, consolidándose como uno de los desarrollos tecnológicos más significativos de la historia. Esta innovación no solo incrementó la eficiencia en diversas actividades humanas, sino que también sentó las bases para una

industrialización masiva, cambiando para siempre la estructura económica y social de las naciones. La máquina de vapor permitió la creación de motores potentes y versátiles que podían utilizarse en una amplia gama de aplicaciones industriales, desde la minería, donde facilitó la extracción de minerales en mayor cantidad y profundidad, hasta la manufactura, donde revolucionó los procesos de producción. En particular, su adopción en la industria textil fue un catalizador del crecimiento económico, impulsando telares mecánicos y otras máquinas que aumentaron la producción de textiles a una escala sin precedentes. Esto no solo permitió satisfacer la creciente demanda de bienes, sino que también dio lugar a un cambio en la organización del trabajo, favoreciendo la aparición de fábricas como centros de producción (Instituto Tecnológico de Orizaba 2016).

**Figura 1**  
**Evolución de la maquinaria**



**Nota: Cetfomin (2020).**

La imagen muestra la evolución de la maquinaria pesada desde herramientas primitivas como hachas de piedra y lanzas, pasando por la invención de la rueda en Mesopotamia, la revolución industrial con máquinas de vapor y trenes, hasta la maquinaria moderna como tractores y excavadoras, culminando con tecnologías futuristas de robótica y automatización (Cetfomin 2020).

### **2.1.3. Máquina herramienta**

Se considera que el primer torno que puede ser catalogado como máquina herramienta fue el inventado alrededor de 1751 por Jacques de Vaucanson. Este torno revolucionó la industria de la época, permitiendo mecanizar la producción de piezas y componentes con un nivel de precisión y eficiencia sin precedentes. Las máquinas herramientas como el torno de Vaucanson marcaron el inicio de una era en la que la fabricación artesanal comenzó a ser reemplazada por procesos mecanizados. Estas innovaciones facilitaron la producción en masa y estandarización de piezas, fundamentales para el desarrollo de diversas industrias, desde la manufactura de maquinaria pesada hasta la creación de instrumentos de precisión. A lo largo del tiempo, las máquinas herramientas han evolucionado significativamente. La incorporación de motores eléctricos a fines del siglo XIX y principios del siglo XX permitió un control más preciso y una mayor velocidad en la producción. Con el avance de la tecnología, surgieron máquinas de control numérico (CNC), que utilizan computadoras para controlar el movimiento y operación de las herramientas de corte, aumentando aún más la precisión y eficiencia (Ramos 2022).

### **2.1.4. Evolución técnica de la máquina-herramienta**

Se considera que el primer torno que puede ser catalogado como máquina herramienta fue el inventado alrededor de 1751 por Jacques de Vaucanson. Estas máquinas herramientas han sido esenciales para la fabricación y producción en la industria, permitiendo la creación de piezas y componentes con precisión y eficiencia. En España, la primera máquina-herramienta fabricada fue la prensa tipo Thonelier, construida por La Maquinista Terrestre y Marítima en 1863. Esta máquina marcó un hito en la historia de la ingeniería y la manufactura en el país, demostrando la capacidad de innovación y desarrollo tecnológico de la época. La introducción de estas máquinas no solo mejoró la producción, sino que también sentó las bases para el avance industrial, permitiendo a España competir en la fabricación de maquinaria y otros bienes a nivel europeo (Ramos 2022).

### **2.1.5. Desarrollo tecnológico a lo largo del tiempo**

A lo largo de la historia, el desarrollo tecnológico ha sido el motor impulsor detrás de los avances en maquinaria pesada. La necesidad constante de mejorar la eficiencia, la seguridad y la capacidad de estas máquinas ha llevado a la innovación y adaptación de nuevas tecnologías en este ámbito. Las primeras máquinas pesadas, creadas durante la revolución industrial, eran en su mayoría mecánicas y movidas por fuerzas simples como el vapor. Sin embargo, estas máquinas, aunque rudimentarias para los estándares actuales, sentaron las bases para los desarrollos futuros. Durante este periodo, el foco principal estaba en aumentar la potencia y la capacidad de carga. Con el advenimiento del siglo XX, la electrónica empezó a tener un papel más prominente en la maquinaria pesada. Se introdujeron sistemas electrónicos de control que permitían una mayor precisión y eficiencia. Estos sistemas no solo mejoraron la funcionalidad, sino que también aumentaron la seguridad al reducir errores humanos (Becerra & Chavestán 2024).

### **2.1.6. Automatización y control digital**

En las últimas décadas del siglo XX y comienzos del XXI, la automatización y el control digital se han convertido en elementos centrales en el diseño de maquinaria pesada. Con la integración de sistemas computarizados, las máquinas pueden realizar tareas complejas con mínima intervención humana, mejorando la eficiencia y reduciendo el riesgo de accidentes. Actualmente, la industria de la maquinaria pesada está explorando y adaptando tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, la robótica avanzada y el internet de las cosas. Estas tecnologías tienen el potencial de transformar la forma en que las máquinas operan, comunican y se mantienen. Por ejemplo, con sistemas de monitoreo en tiempo real, es posible predecir fallos antes de que ocurran, optimizando así el mantenimiento y prolongando la vida útil de la maquinaria (Becerra & Chavestán 2024).

### **2.1.7. Impacto en la eficiencia y sostenibilidad**

Todos estos avances tecnológicos no solo han mejorado la eficiencia operativa, sino que también han tenido un impacto significativo en la sostenibilidad. Las máquinas modernas están diseñadas para ser más energéticamente eficientes y menos contaminantes, alineándose con las crecientes demandas globales de prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. El desarrollo tecnológico a lo

largo del tiempo ha sido un factor determinante en la evolución de la maquinaria pesada. Estos avances han permitido a la industria adaptarse a las crecientes demandas de eficiencia, precisión y sostenibilidad, garantizando que la maquinaria pesada siga siendo un componente vital en numerosos sectores industriales (Becerra & Chavestán 2024).

### **2.1.8. Avances recientes en maquinaria pesada.**

En los últimos años, la industria de la maquinaria pesada ha experimentado avances significativos en términos de diseño, eficiencia y tecnología. Estos desarrollos han sido impulsados por la necesidad de enfrentar retos contemporáneos como la demanda creciente de sostenibilidad, eficiencia energética y seguridad en el trabajo (Becerra & Chavestán 2024).

### **2.1.9. Integración de tecnologías de la información y comunicación (TIC)**

La integración de las TIC en la maquinaria pesada ha permitido el monitoreo en tiempo real del rendimiento y estado de las máquinas. Mediante sensores y dispositivos conectados, es posible recolectar datos detallados de la operación, lo que facilita la toma de decisiones, la predicción de mantenimientos y la respuesta rápida a fallos inminentes (Costos 2021).

**Figura 2**

### **Integración de tecnologías de la información y comunicación (TIC)**



**Nota: Taopparts (2016).**

La imagen muestra una excavadora moderna equipada con sensores TIC, permitiendo el monitoreo en tiempo real y facilitando la toma de decisiones y predicción de mantenimientos (Taopparts 2016).

#### **2.1.10. Automatización y robótica**

La inclusión de sistemas robóticos en maquinaria pesada ha ampliado las capacidades de estas máquinas. Robots colaborativos y autónomos están siendo implementados en diversas aplicaciones, desde la construcción hasta la minería, permitiendo operaciones más precisas y reduciendo la intervención humana en tareas peligrosas (Taopparts 2016).

**Figura 3**  
**Automatización y robótica**



**Nota: Taopparts (2016).**

#### **2.1.11. Realidad aumentada y virtual**

Estas tecnologías están siendo utilizadas para la formación y capacitación de operarios, así como para asistencia en el mantenimiento. Mediante gafas de realidad aumentada, un técnico puede recibir instrucciones detalladas sobre una reparación o visualizar componentes internos sin desmontar la máquina (Taopparts 2016).

**Figura 4**  
**Realidad aumentada y virtual**



**Nota: Taoparts (2016).**

## **2.2. Mantenimiento Proactivo**

El mantenimiento proactivo implica varias etapas clave. En primer lugar, se lleva a cabo una evaluación exhaustiva de los activos para identificar posibles puntos débiles y áreas de mejora. Esto implica revisar el historial de mantenimiento, recopilar datos sobre el rendimiento pasado de los equipos y realizar análisis de causa raíz para identificar las principales causas de fallo. A continuación, se establecen planes de mantenimiento preventivo, que incluyen inspecciones periódicas, lubricación, ajustes, calibraciones y sustitución de componentes desgastados. Estos planes se basan en las recomendaciones del fabricante, las mejores prácticas de la industria y la experiencia acumulada en la gestión de los activos (Suniaga 2023).

### **2.2.1. Características del mantenimiento proactivo**

El mantenimiento proactivo se caracteriza por los siguientes aspectos.

#### **2.2.1.1. Enfoque preventivo**

El mantenimiento proactivo se centra en prevenir fallos y problemas antes de que ocurran, en lugar de reaccionar ante ellos una vez que han sucedido. Se implementan medidas preventivas y se siguen protocolos de mantenimiento planificados (Suniaga 2023).

#### **2.2.1.2. Planificación sistemática**

Se establecen programas de mantenimiento periódico y se sigue un enfoque sistemático en la ejecución de las tareas. Esto implica definir los intervalos de mantenimiento (Suniaga 2023).

#### **2.2.1.3. Monitoreo continuo**

Se utilizan herramientas y tecnologías para recopilar datos y monitorear el estado de los activos de manera constante. Esto permite obtener información en tiempo real sobre el rendimiento de los equipos y detectar posibles desviaciones o anomalías (Suniaga 2023).

#### **2.2.1.4. Optimización continua**

Se busca mejorar constantemente los procesos de mantenimiento y aumentar la eficiencia operativa. Esto implica revisar y actualizar los planes de mantenimiento (Suniaga 2023).

### **2.3. Mantenimiento Preventivo**

El mantenimiento preventivo basado en el uso se activa por la utilización real de un activo. Este tipo de mantenimiento tiene en cuenta el uso diario promedio o la exposición a las condiciones ambientales de un activo y lo utiliza para forecast una fecha de vencimiento para una futura tarea de inspección o mantenimiento. El mantenimiento preventivo basado en el calendario/tiempo se produce a una hora programada, en función de un intervalo de calendario. La acción de mantenimiento se activa cuando se acerca la fecha de vencimiento y se han creado las órdenes de trabajo necesarias (International Business Machines 2023).

### **2.4. Mantenimiento Predictivo**

Es una técnica que utiliza herramientas y técnicas de análisis de datos para detectar anomalías en el funcionamiento y posibles defectos en los equipos y procesos, de modo que puedan solucionarse antes de que sobrevenga el fallo (Suazo 2025).

#### **2.4.1. Cómo funciona el mantenimiento predictivo**

Para hacer el seguimiento del estado de los equipos y avisar a los técnicos de los próximos fallos, el mantenimiento preventivo cuenta con tres componentes principales:

- Los sensores y los dispositivos conectados instalados en las máquinas envían datos sobre el estado y el rendimiento de la máquina en tiempo real gracias a tecnologías del Internet de las Cosas (IoT), que permiten la comunicación entre las máquinas y los sistemas de análisis.
- Las soluciones de software y el almacenamiento en la nube (iCloud) permiten aplicar la minería de datos (data mining) y recopilar y analizar enormes cantidades de datos usando aplicaciones de big data (Iberdrola 2025).

## 2.4.2. Tipos de técnicas predictivos

### 2.4.2.1. Análisis de aceite

Existen tres categorías de análisis de aceite.

- **Propiedades de los fluidos:** Se centra en identificar el estado físico y químico actual del aceite, así como definir su vida útil restante.
- **Contaminación:** Detecta la presencia de contaminantes destructivos o sus probables fuentes.
- **Partículas de desgaste:** Determina la presencia de partículas producidas como resultado del desgaste mecánico, la corrosión u otra degradación de la superficie de la pieza. Es decir, ayuda a identificar en qué consiste el desgaste de los activos.

Los instrumentos para análisis de aceite son costosos, al igual que algunos de algunos productos y procesos. Por ello, las industrias suelen enviar la muestra de aceite a laboratorios comerciales para que realicen el análisis (Suazo 2025).

### 2.4.2.2. Beneficios de la lubricación en mantenimiento predictivo

- **Mayor Eficiencia Energética:** El uso de lubricantes con el grado de viscosidad correcto reduce la fricción también optimiza el consumo energético, lo que se traduce en menores costos operativos.
- **Protección Contra Contaminantes:** La película protectora creada por el lubricante actúa como una barrera efectiva entre los componentes internos y agentes externos como polvo, humedad o partículas abrasivas.

- Control y Reducción del Calor La lubricación adecuada no solo reduce la fricción, sino que también ayuda a disipar el calor al transferirlo hacia el sistema de enfriamiento, evitando el sobrecalentamiento.
- Prevención de Corrosión: Los lubricantes recubren las superficies metálicas, formando una capa protectora que minimiza la exposición al oxígeno y la humedad (Suazo 2025).

### 2.4.2.3. Termografía

El aumento de la temperatura, por fricción o causas eléctricas, es enemigo de los aceites lubricantes y los componentes de transmisión de potencia. Sin embargo, hoy en día, por medio de tecnología, podemos utilizar la temperatura como instrumento de diagnóstico para la toma de decisiones.

A través de las aplicaciones de la termografía infrarroja, se pueden detectar puntos calientes en maquinaria pesada debido a:

- Sobrecalentamiento en neumáticos.
- Desgaste mecánico.
- Conexiones sueltas o corroídas (Suazo 2025).

#### 2.4.2.3.1. Beneficios de la Termografía en el Mantenimiento Predictivo

Según Suazo (2025) la termografía es una herramienta clave en el mantenimiento predictivo, ya que permite evaluar condiciones térmicas sin contacto y detectar anomalías en los equipos antes de que se produzcan fallas.

**Reducción de intervenciones correctivas:** Permite identificar problemas como el sobrecalentamiento en motores antes de que ocurran fallas graves, reduciendo significativamente la necesidad de reparaciones imprevistas.

**Disminución del consumo de energía:** Ayuda a localizar puntos de pérdida de energía, como aislamiento defectuoso o componentes que operan fuera de sus parámetros normales.

**Extensión de la vida útil de los activos:** Detectar problemas térmicos en sus etapas iniciales permite realizar intervenciones preventivas que minimizan el desgaste prematuro de los equipos.

**Mejora en la productividad de la minería:** Al garantizar que los equipos funcionen de manera eficiente y sin interrupciones inesperadas, la termografía se convierte en una herramienta esencial para aumentar la productividad minera.

#### 2.4.2.4. Ultrasonido

La prueba por ultrasonido es un método no destructivo que se utiliza principalmente para detectar bajas vibraciones en equipos rotativos, fugas y ruidos de rodamientos que emiten ondas ultrasónicas. Las frecuencias que se utilizan para los ensayos no destructivos por ultrasonidos son muchas veces superiores al límite de la audición humana, normalmente en el rango de 500 KHz a 20 MHz (Vedan 2016).

##### 2.4.2.4.1. Beneficios del Ultrasonido Industrial en el Mantenimiento Predictivo

Según Vedan (2016) el uso del ultrasonido industrial en mantenimiento predictivo aporta ventajas significativas que contribuyen a mejorar la eficiencia operativa y la fiabilidad de los equipos:

**Aumento de la seguridad operativa:** Mejora la seguridad de los equipos y del personal, evitando incidentes inesperados.

**Eficiencia y rentabilidad:** Permite realizar reparaciones preventivas, reduciendo los tiempos de inactividad y optimizando los costos operativos.

**Método no invasivo:** Es una técnica no destructiva que permite inspeccionar equipos en funcionamiento, sin necesidad de desmontarlos.

**Optimización del consumo energético:** Detecta fugas de aire comprimido, vapor o gas, problemas que frecuentemente pasan desapercibidos y aumentan el consumo energético. Reparar estas fugas no solo disminuye costos, sino que también mejora la eficiencia energética de la planta.

#### 2.4.2.5. Análisis vibracional

El análisis de las vibraciones mide los cambios en la amplitud de la onda de vibración por frecuencia a lo largo del tiempo. Esta amplitud por frecuencia se traza en un gráfico XY y se le denomina la firma espectral del equipo. Los cambios en la firma espectral de vibración de una máquina significan que uno

de los elementos rotativos ha cambiado su modo normal de funcionamiento (Rosas 2023).

#### 2.4.2.5.1. Beneficios del Análisis de Vibración en el Mantenimiento Predictivo

Según Vedan (2016) y Suazo (2025) el análisis de vibraciones ofrece múltiples ventajas dentro de las estrategias de mantenimiento predictivo, permitiendo una gestión más eficiente y segura de los equipos industriales:

**Detección temprana de fallas:** Permite identificar problemas como desbalanceo, desalineación, holguras mecánicas o desgaste en componentes antes de que provoquen fallas mayores.

**Monitoreo en tiempo real:** Proporciona datos actualizados sobre el comportamiento dinámico de los equipos, facilitando intervenciones oportunas.

**Extensión de la vida útil de los equipos:** Al detectar y corregir anomalías en etapas tempranas, se minimiza el estrés mecánico y se prolonga el funcionamiento óptimo de los componentes.

**Reducción de costos operativos:** Disminuye los tiempos de inactividad no programada y optimiza el uso de recursos, evitando gastos innecesarios en repuestos o mantenimientos correctivos de emergencia.

### 2.5. Componentes principales y su función

#### 2.5.1. Equipo

Camión minero CAT 797F

##### 2.5.1.1. Sistema

Unidad de potencia

##### 2.5.1.2. Subsistema de unidad de potencia

- Lubricación
- Unidad de control de combustible
- Motor
- Unidad de control electrónica (Suazo 2025).

### 2.5.1.3. Componentes

#### 2.5.1.3.1. Motor

Según Suazo (2025) el motor está compuesto por distintos elementos mecánicos que trabajan en conjunto para transformar la energía generada por la combustión en movimiento útil:

**Cilindros:** Son cámaras donde ocurre la combustión interna. Su función principal es convertir la energía térmica generada por la combustión del combustible en energía mecánica, impulsando así los pistones.

**Eje de levas:** Coordina la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape. Su movimiento está sincronizado con el cigüeñal para asegurar el correcto funcionamiento del motor.

**Tren de válvulas:** Conjunto de componentes que regulan el ingreso de la mezcla aire-combustible y la salida de gases quemados. Está compuesto por válvulas, balancines, empujadores y resortes.

**Monoblock:** Es la estructura principal del motor, donde se alojan los cilindros y otros componentes internos. Proporciona rigidez y soporte al conjunto motor.

#### 2.5.1.3.2. Lubricación de aceite

Según Suazo (2025) el sistema de lubricación de aceite está compuesto por diversos elementos que cumplen funciones clave para proteger el motor y asegurar su rendimiento adecuado:

**Bomba de aceite de motor:** Se encarga de impulsar el aceite lubricante a través del sistema para reducir la fricción entre las piezas móviles y evitar el desgaste prematuro.

**Bomba de prelubricación:** Permite la circulación de aceite antes del arranque del motor, protegiendo los componentes durante los primeros segundos de operación.

**Enfriador de aceite de motor:** Reduce la temperatura del aceite para evitar la degradación del lubricante y asegurar un funcionamiento estable del motor.

**Bomba de cebado de lubricación:** Se utiliza para llenar el sistema de lubricación con aceite, especialmente después de un mantenimiento o cambio de filtro.

**Bomba de limpieza de aceite de motor:** Filtra el aceite para eliminar impurezas, partículas metálicas y residuos de la combustión, garantizando la pureza del lubricante.

**Válvula reguladora de presión:** Mantiene la presión del aceite dentro de un rango óptimo, evitando tanto la falta como el exceso de lubricación.

#### 2.5.1.3.3. Unidad de control de combustible

Según Suazo (2025) respecto a la unidad de control de combustible, se presentan los componentes que tienen función importante en el control para el correcto funcionamiento de la misma:

**Bomba de inyección de combustible:** Es responsable de suministrar el combustible a alta presión hacia los inyectores, permitiendo una atomización adecuada en los cilindros.

**Líneas de inyección de combustible:** Son conductos que transportan el combustible desde la bomba hacia los inyectores. Deben soportar alta presión y evitar fugas.

**Bomba de cebado de combustible:** Se encarga de eliminar el aire del sistema de alimentación antes del arranque, asegurando que el motor reciba combustible de forma continua.

#### 2.5.1.3.4. Inducción forzada de aire y escape

Según Suazo (2025) respecto a la inducción forzada de aire y escape se presenta los componentes que tienen función importante en el control para el correcto funcionamiento aumentar potencia al motor mediante inducción forzada de aire:

**Aftercooler:** Enfría el aire comprimido por el turbo antes de que entre a los cilindros, aumentando la densidad del aire y mejorando la eficiencia de la combustión.

Turbo cargador: Utiliza los gases de escape para accionar una turbina que comprime el aire de admisión, mejorando el rendimiento y la potencia del motor.

Válvula de bypass de escape: Controla el flujo de gases hacia el turbo, permitiendo desviar parte de los gases para evitar una sobrepresión en el sistema.

Colector de admisión: Distribuye el aire de manera uniforme a los cilindros del motor, garantizando una mezcla homogénea con el combustible.

Colector de escape: Recoge los gases quemados de cada cilindro y los canaliza hacia el sistema de escape o el turbo cargador, según el diseño del motor.

## **2.5.2. Equipo**

Camión minero CAT 797F

### **2.5.2.1. Sistema**

Tren de fuerza

### **2.5.2.2. Subsistema del tren de fuerza**

- Convertidor de transmisión
- Transmisión
- Diferencial
- Mando final (Suazo 2025).

### **2.5.2.3. Componentes**

#### **2.5.2.3.1. Convertidor de transmisión**

Según Suazo (2025) respecto al convertidor de transmisión se presenta los componentes que tienen función importante en el control para el correcto funcionamiento en convertir y transmitir el par motor:

Bomba: Componente hidráulico que impulsa el fluido dentro del convertidor, iniciando la transferencia de energía desde el motor hacia el sistema de transmisión.

Embrague convertidor: Permite la desconexión y conexión progresiva entre el motor y la transmisión, facilitando un arranque suave del equipo.

Embrague lockup: Dispositivo que conecta de manera directa el motor con la transmisión una vez alcanzada cierta velocidad, eliminando el deslizamiento del convertidor para mejorar la eficiencia.

Estator: Redirecciona el flujo del fluido dentro del convertidor, incrementando el par transmitido. Su diseño mejora el rendimiento del sistema en fases de arranque y aceleración.

Impeller: Elemento impulsor del convertidor que, al girar con el motor, pone en movimiento el fluido hacia la turbina.

Turbina: Recibe la energía del fluido proveniente del impeller y la transmite al eje de entrada de la transmisión, completando el ciclo de transferencia de potencia.

#### **2.5.2.3.2. Transmisión**

Según Suazo (2025) respecto a la transmisión se presenta los componentes que tienen función importante en el control para el correcto funcionamiento de la transmisión de las cuatro ruedas:

Carcasa: Estructura metálica que aloja y protege los componentes internos de la transmisión. Asegura la alineación y soporte de los elementos móviles.

Transmisión de la bomba de aceite: Sistema que acciona la bomba encargada de lubricar y enfriar los componentes internos de la transmisión.

Reducción de engranajes: Conjunto de engranajes que permite variar la relación de transmisión, optimizando el torque y la velocidad según las condiciones de operación.

Válvula reguladora de presión de aceite: Controla la presión del aceite dentro de la transmisión, asegurando un flujo constante y adecuado a cada componente.

### 2.5.2.3.3. Diferencial

Según Suazo (2025) respecto al diferencial se presenta los componentes que tienen función importante en el control para el correcto funcionamiento de la transmisión:

Piñón – corona: Transmite el movimiento desde la transmisión al diferencial, cambiando la dirección del torque hacia los ejes de las ruedas.

Engranajes diferenciales: Permiten que las ruedas giren a diferentes velocidades durante los giros, mejorando la estabilidad del equipo.

Engranajes satélites: Trabajan junto a los engranajes planetarios para distribuir equitativamente el torque entre las ruedas.

Semiejes: Son los ejes que transmiten el torque desde el diferencial hacia las ruedas, soportando además parte del peso del equipo.

### 2.5.2.3.4. Mando final

Según Suazo (2025) respecto al mando final se presenta los componentes que tienen función importante en el control para el correcto funcionamiento de la transmisión de potencia:

Discos y platos de freno: Elementos encargados de generar la fricción necesaria para detener el equipo, actuando directamente sobre el eje de salida.

Pistón de servicio: Activa el sistema de frenos mediante presión hidráulica, aplicando fuerza sobre los discos.

Spindle: Eje que conecta el sistema de frenos con la rueda, transmitiendo el torque final de salida.

Sello duo–cone: Sello de alta resistencia que evita la fuga de lubricante y la entrada de contaminantes en los componentes internos del mando final.

## 2.5.3. Equipo

Camión minero CAT 797F

### 2.5.3.1. Sistema

Sistema hidráulico

### 2.5.3.2. Subsistema del sistema hidráulico

- Dirección
- Freno de servicio
- Levante de tolva. (Suazo 2025)

### 2.5.3.3. Componentes

#### 2.5.3.3.1. Dirección

Según Suazo (2025) respecto a la dirección se presenta los componentes que tienen función importante en el accionamiento de la dirección:

**Bomba de dirección:** Componente hidráulico encargado de generar la presión necesaria para accionar el sistema de dirección, facilitando el giro de las ruedas delanteras con menor esfuerzo

**Enfriador de aceite de dirección:** Dispositivo que regula la temperatura del fluido hidráulico, evitando el sobrecalentamiento y asegurando un rendimiento constante del sistema

**Acumuladores de dirección:** Almacenan fluido a presión para asistir en la dirección durante momentos de alta demanda o en caso de pérdida temporal de presión

**Cilindro de dirección:** Elemento hidráulico que transforma la presión del fluido en movimiento lineal, permitiendo el desplazamiento de las ruedas hacia la dirección deseada

#### 2.5.3.3.2. Freno de servicio

Según Suazo (2025) respecto al freno de servicio, se presentan los componentes que tienen función importante en el frenado del sistema:

**Bomba de refrigeración de freno:** Mantiene la temperatura adecuada del sistema de frenos, evitando el sobrecalentamiento y prolongando la vida útil de sus componentes.

**Acumuladores de freno:** Almacenan energía hidráulica que se libera al momento de accionar los frenos, asegurando una respuesta inmediata y efectiva.

**Válvula solenoide de freno:** Controla el paso del fluido hidráulico mediante una señal eléctrica, permitiendo el accionamiento automático del freno.

**Válvula hidráulica de freno:** Regula la presión hidráulica enviada a los frenos, controlando su intensidad de aplicación.

**Válvula solenoide de freno de carga:** Diseñada específicamente para controlar el sistema de freno cuando el equipo se encuentra con carga, asegurando una frenada segura y eficiente.

#### 2.5.3.3.3. Levante de tolva

Según Suazo (2025) respecto a la tolva se presenta los componentes que tienen función importante en el accionamiento del levante de la tolva:

**Válvula de levante de tolva:** Dirige el flujo del fluido hacia el cilindro de levante, permitiendo el ascenso o descenso de la tolva según las necesidades de descarga.

**Cilindro de levante de tolva:** Actúa como el principal mecanismo de elevación de la tolva, transformando la presión hidráulica en movimiento lineal.

**Válvula de control de levante:** Regula la velocidad y dirección del movimiento del cilindro, asegurando un levantamiento suave y controlado de la tolva.

**Bomba de levante de tolva:** Genera la presión hidráulica necesaria para alimentar el sistema de levante, permitiendo operar la tolva con eficacia incluso bajo carga

#### 2.5.4. Equipo

Camión minero CAT 797F

##### 2.5.4.1. Sistema

Sistema electrónico

##### 2.5.4.2. Subsistema del sistema electrónico

- Cableado
- Dispositivos electrónicos

- Unidad de control de sensores
- Unidad de control de sensores de motor. (Suazo 2025)

### 2.5.4.3. Componentes

#### 2.5.4.3.1. Cableado

Según Suazo (2025) respecto al cableado se presenta los componentes que tienen función importante en el sistema de cableado:

Cat dat: Red de comunicación electrónica propia de Caterpillar que permite la transferencia de datos entre los distintos módulos y sensores del equipo.

Global CAN: Bus de datos de alcance general que conecta múltiples módulos electrónicos a lo largo del vehículo, permitiendo el intercambio eficiente de información.

Local CAN: Segmento del bus de datos que opera en zonas específicas del equipo, facilitando una comunicación más directa entre sensores y módulos de esa área.

#### 2.5.4.3.2. Dispositivos electrónicos

Según Suazo (2025) respecto a la dispositivos electrónicos se presenta los componentes que tienen función importante en el control para los sistemas de monitoreo:

Módulo de control electrónico de dirección: Unidad encargada de recibir señales de los sensores y controlar electrónicamente el sistema de dirección, optimizando la respuesta del equipo.

Sistema de monitoreo electrónico: Plataforma que centraliza la recolección de datos operativos, facilitando la supervisión del rendimiento, el diagnóstico de fallas y el mantenimiento predictivo.

#### 2.5.4.3.3. Unidad de control de sensores

Según Suazo (2025) respecto a la unidad de control de sensores se presenta los componentes que tienen función importante en el control de sensores:

Sensor cámara de presión: Detecta y registra los niveles de presión en distintos sistemas del equipo, enviando la información a la unidad de control para su procesamiento.

Sensor cámara de velocidad: Mide la velocidad de rotación o desplazamiento de componentes clave, como el motor o las ruedas, para su monitoreo y control.

Sensor de agua en el combustible: Identifica la presencia de agua en el sistema de combustible, protegiendo al motor de daños por contaminación.

Sensor de nivel de combustible: Indica la cantidad de combustible disponible en el tanque, permitiendo una gestión adecuada del consumo.

Sensor de nivel de refrigerante: Controla la cantidad de refrigerante en el sistema, alertando en caso de niveles bajos que puedan comprometer la temperatura del motor.

Sensor de presión atmosférica: Mide la presión ambiental exterior para ajustar parámetros del motor, especialmente en alturas elevadas o condiciones variables.

Sensor de presión de combustible: Verifica la presión del combustible en la línea, asegurando una entrega eficiente al sistema de inyección.

Sensor de presión del riel de combustible: Supervisa la presión dentro del riel de inyección, fundamental para un control preciso de la atomización del combustible.

#### **2.5.4.3.4. Unidad de control de sensores de motor**

Según Suazo (2025) respecto a la unidad de control de sensores de motor se presenta los componentes que tienen función importante en el control de sensores de motor:

Sensor de presión de bomba de transferencia: Mide la presión generada por la bomba de transferencia, clave para asegurar el suministro correcto de combustible al motor.

Sensor de temperatura de combustible de alta presión: Monitorea la temperatura del combustible en la línea de alta presión, protegiendo al sistema de inyección contra el sobrecalentamiento.

Sensor de temperatura de combustible de baja presión: Evalúa la temperatura del combustible antes de ser presurizado, permitiendo ajustes preventivos en el sistema.

Sensor de temperatura de la bomba de refrigerante :Detecta la temperatura de operación de la bomba de refrigerante para evitar fallas por sobrecalentamiento y mejorar la eficiencia del sistema térmico.

### 2.5.5. Factores que influyen en la eficiencia operativa

La eficiencia y durabilidad de la maquinaria dependen de múltiples factores que inciden directamente en su rendimiento operativo. Elementos como el mantenimiento preventivo, la capacitación del operador, las condiciones del entorno de trabajo, la calidad de los componentes y el uso de tecnologías integradas son determinantes para asegurar un funcionamiento óptimo. Comprender la influencia de cada uno permite no solo maximizar la productividad, sino también reducir costos y minimizar riesgos en el uso de estos equipos (Suzuki 1994).

**Tabla 2**  
**Factores que influyen en la eficiencia operativa**

Factores	Descripción
<b>Mantenimiento</b>	Asegura el correcto funcionamiento y prolonga la vida útil de la máquina mediante inspecciones regulares, lubricación adecuada y reemplazo de piezas desgastadas. Reduce el tiempo de inactividad.
<b>Capacitación del operador</b>	Operadores bien entrenados usan la maquinaria de manera eficiente y segura, resolviendo problemas menores sin asistencia técnica y reduciendo riesgos de accidentes.
<b>Condiciones de trabajo</b>	Factores como terreno, clima y altitud afectan el rendimiento. Terrenos irregulares y condiciones climáticas extremas incrementan el desgaste y reducen la eficiencia.
<b>Calidad de los componentes</b>	Componentes de alta calidad garantizan rendimiento óptimo y reducen necesidad de reparaciones, aumentando la vida útil y eficiencia operativa.

<b>Tecnologías integradas</b>	Tecnologías avanzadas, como sistemas de control electrónico y GPS, optimizan el rendimiento, reducen el tiempo de operación y el consumo de combustible, y facilitan el mantenimiento predictivo.
-------------------------------	---

### 2.5.6. Impacto del mantenimiento proactivo en la vida útil de la maquinaria

La maquinaria pesada, vital en numerosos sectores industriales, es una inversión significativa para las empresas. Para proteger y maximizar esta inversión, el mantenimiento proactivo desempeña un papel esencial. La prolongación de la vida útil de los equipos no sólo tiene implicaciones económicas, sino también en la continuidad y eficiencia de las operaciones. Todo equipo sufre desgaste con el tiempo debido a factores inherentes a su operación. Algunos de los principales factores incluye, fricción causada por el movimiento entre partes, lleva eventualmente al desgaste de componentes (Valverde 2021).

**Tabla 3**  
**Fricción**

<b>Aspecto</b>	<b>Descripción</b>
<b>Descripción</b>	Causada por el movimiento entre partes de la maquinaria.
<b>Consecuencias</b>	Lleva al desgaste de componentes, generando pérdidas de eficiencia y posibles fallos mecánicos.
<b>Impacto en el rendimiento</b>	Disminuye la eficiencia operativa debido al aumento de resistencia en los movimientos.
<b>Seguridad</b>	Incrementa el riesgo de fallos mecánicos que pueden causar accidentes.
<b>Prevención</b>	Uso de lubricantes adecuados, mantenimiento regular y reemplazo oportuno de piezas desgastadas.
<b>Ejemplo práctico</b>	El desgaste de los cojinetes en una excavadora puede aumentar la fricción, provocando un mal funcionamiento y un desgaste acelerado del eje y otras partes móviles.

**Nota: Vedan (2025).**

**Figura 5**

**Fricción**



**Nota: Vedan (2025).**

#### 2.5.7. Factores ambientales

Exposición a elementos como humedad, calor, polvo o agentes corrosivos puede acelerar el deterioro.

**Tabla 4**  
**Factores ambientales**

Aspecto	Descripción
<b>Descripción</b>	Exposición a elementos como humedad, calor, polvo o agentes corrosivos.
<b>Consecuencias</b>	Acelera el deterioro de componentes, causando corrosión, oxidación y desgaste prematuro.
<b>Impacto en el rendimiento</b>	Reduce la eficiencia operativa y la fiabilidad de la maquinaria.
<b>Seguridad</b>	Incrementa el riesgo de fallos mecánicos que pueden llevar a accidentes.
<b>Prevención</b>	Implementar medidas de protección como recubrimientos especiales, mantenimiento regular y almacenamiento adecuado.

<b>Ejemplo práctico</b>	Equipos utilizados en ambientes costeros pueden sufrir corrosión rápida debido a la salinidad, afectando la estructura y componentes electrónicos.
-------------------------	--

**Nota: Tomado de Paredes, V., & Quispe, L. (2019).**

### 2.5.8. Sobrecarga

Operar la maquinaria por encima de su capacidad recomendada puede generar daños prematuros en sus componentes y reducir notablemente su vida útil. Esta práctica también aumenta el riesgo de fallos inesperados, afectando la seguridad del operador y la eficiencia del proceso.

**Tabla 5**  
**Sobrecarga**

<b>Aspecto</b>	<b>Descripción</b>
<b>Descripción</b>	Operar la maquinaria más allá de su capacidad recomendada.
<b>Consecuencias</b>	Causa daños prematuros a componentes clave, aumenta el desgaste y reduce la vida útil de la maquinaria.
<b>Impacto en el rendimiento</b>	Disminuye la eficiencia operativa y puede provocar fallos mecánicos inesperados.
<b>Seguridad</b>	Incrementa el riesgo de accidentes debido a fallos estructurales o mecánicos.
<b>Prevención</b>	Seguir estrictamente las especificaciones del fabricante y realizar entrenamientos adecuados para los operadores.
<b>Ejemplo práctico</b>	Un camión de carga que transporta más peso del recomendado puede sufrir fallos en el sistema de frenos, aumentando el riesgo de accidentes graves.

**Nota: Tomado de Paredes, V., & Quispe, L. (2019).**

**Figura 6**  
**Sobrecarga**



### 2.5.9. Fallos en componentes

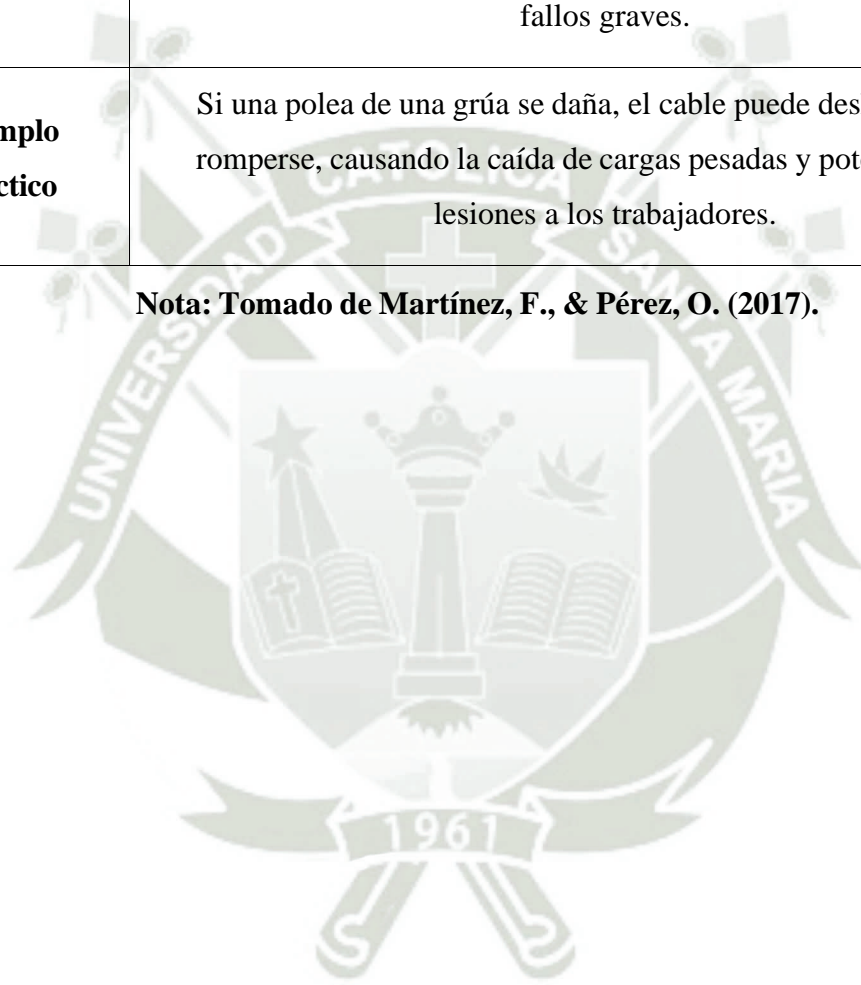
Un fallo en una pieza puede llevar a un efecto dominó, afectando otras partes del equipo. Los fallos en componentes de maquinaria pesada pueden tener consecuencias significativas y en cadena. A continuación, se detalla cómo un fallo en una pieza específica puede desencadenar una serie de problemas que afectan a todo el equipo.

**Tabla 6**  
**Fallos en componentes**

Aspecto	Descripción
<b>Descripción</b>	Los fallos en componentes de maquinaria pesada pueden tener consecuencias significativas y en cadena.
<b>Efecto dominó</b>	Cuando una pieza falla, puede causar un desalineamiento en el eje, desgaste acelerado en los engranajes y, eventualmente, en el motor.
<b>Impacto en el rendimiento</b>	Reduce el rendimiento de la maquinaria, aumenta el consumo de combustible y disminuye la productividad.
<b>Costos adicionales</b>	Aumenta los costos de reparación directa e indirecta, como tiempos muertos, pérdida de producción y daños a otros componentes.

<p><b>Seguridad</b></p>	<p>Los fallos en componentes críticos pueden representar un serio riesgo de seguridad, como un fallo en el sistema de frenos de una cargadora que podría provocar accidentes graves.</p>
<p><b>Prevención</b></p>	<p>Implementar un programa riguroso de mantenimiento proactivo y predictivo, incluyendo inspecciones regulares y monitoreo de condiciones, para detectar problemas antes de que se conviertan en fallos graves.</p>
<p><b>Ejemplo práctico</b></p>	<p>Si una polea de una grúa se daña, el cable puede deshilacharse y romperse, causando la caída de cargas pesadas y potencialmente lesiones a los trabajadores.</p>

**Nota: Tomado de Martínez, F., & Pérez, O. (2017).**





### 3. Análisis situacional de la empresa

#### 3.1. Antecedentes

##### 3.1.1. Descripción de la empresa

La Empresa Minera en estudio, es uno de los productores más grandes de cobre, molibdeno, zinc después de un proceso de exploración y de construcción del complejo minero, iniciamos nuestras operaciones de prueba el 28 de mayo del 2001. El 1 de octubre del 2001, comenzamos a producir comercialmente concentrados de cobre y zinc, y otros subproductos (Suya 2017).

##### 3.1.2. Principios de la compañía

- Salud y seguridad industrial. Asumimos la salud y la seguridad industrial en todas nuestras acciones y decisiones, protegiendo proactivamente a las personas y a la propiedad.
- Integridad. Somos nuestra palabra, honramos nuestros compromisos y cumplimos con las leyes y las políticas corporativas.
- Responsabilidad. Somos responsables de nuestros actos y sus consecuencias y de la administración eficiente de los recursos, operando con responsabilidad social y ambiental, promoviendo el desarrollo sostenible.
- Respeto y reconocimiento. Reconocemos los logros de cada uno, respetando las tradiciones y promovemos una cultura donde las ideas y contribuciones se valoran.
- Aprendizaje continuo. Promovemos una cultura de aprendizaje y mejora continua para nuestro equipo, socios estratégicos, clientes e industria, optimizando los procesos y el uso de la tecnología.
- Excelente desempeño e innovación. Creamos un ambiente apropiado donde surgen ideas y métodos innovadores para mejorar nuestros procesos (Solórzano 2019).

### **3.1.3. Unidad de producción mina**

#### **3.1.3.1. Perforación y voladura**

Mediante el uso de equipos especializados, como perforadoras, se extraen muestras de roca del subsuelo que son analizadas en laboratorio para determinar la presencia y concentración de minerales valiosos. Una vez identificada una zona económicamente viable, se procede al proceso de minado, que incluye la voladura controlada. Esta técnica permite fragmentar el terreno con precisión, optimizando el tamaño de las rocas para las siguientes etapas del proceso productivo y garantizando una adecuada liberación del mineral (Solórzano 2019).

#### **3.1.3.2. Carguío y acarreo**

Luego de la voladura, las rocas fragmentadas son recogidas por maquinaria pesada, como cargadores frontales o palas hidráulicas, y trasladadas mediante camiones de gran tonelaje hacia la chancadora primaria. Este paso es fundamental para mantener la continuidad del proceso, ya que permite transportar grandes volúmenes de material desde el tajo hasta las plantas de procesamiento (Solórzano 2019).

#### **3.1.3.3. Chancado**

En esta etapa, el material es sometido a un proceso de reducción de tamaño en la chancadora primaria, con el objetivo de disminuir los grandes bloques de roca a fragmentos más manejables, generalmente de un tamaño similar al de un casco. Esta fragmentación inicial facilita la eficiencia en las etapas posteriores, como la molienda, y asegura un mejor aprovechamiento del mineral (Solórzano 2019).

#### **3.1.3.4. Molienda**

Una vez chancado, el mineral es trasladado a la planta concentradora, donde ingresa a los molinos y se mezcla con agua para formar una pulpa. En esta fase se busca reducir aún más el tamaño de las partículas hasta convertirlas en una mezcla fina, lo cual favorece la liberación de los minerales contenidos en la roca y permite una separación más efectiva en el proceso de concentración (Solórzano 2019).

### 3.1.3.5. Flotación

La pulpa obtenida es conducida a las celdas de flotación, donde mediante la adición de reactivos químicos se separan los minerales valiosos del material no útil o ganga. Este proceso permite recuperar metales como el cobre, zinc, plata, plomo y molibdeno, los cuales se adhieren a burbujas de aire y flotan hacia la superficie, siendo luego recolectados como concentrado.

La tabla siguiente muestra la cantidad de horas recomendadas por el fabricante para realizar el cambio mayor de diversos componentes del equipo. Se aprecia que los sensores electrónicos, junto con los cilindros de levante y la suspensión posterior, presentan la mayor durabilidad, superando las 25,000 horas. Por otro lado, elementos como el cilindro de dirección tienen una vida útil más limitada, con apenas 12,000 horas. Esta información permite establecer una planificación adecuada del mantenimiento, evitando fallas inesperadas y asegurando un rendimiento óptimo (Solórzano 2019).

**Tabla 7**

**PCR de los componentes de cambio mayor según fabricante**

<b>Sistema</b>	<b>PCR (h)</b>
Motor	14000
Convertidor	14000
Transmisión	14000
Diferencial	16000
Mandos Finales	16000
Ruedas	18000
Suspensión delantera	18000
Cilindro Dirección	12000
Cilindro levante	25000
Suspensión posterior	25000
Sensores electrónicos	30000

**Nota: Tomado de Martínez, F., & Pérez, O. (2017).**

La tabla siguiente resume los cambios de componentes mayores realizados en un camión minero 797F, detallando la fecha, horas de operación, tipo de ocurrencia y el costo de cada intervención. Todos los cambios fueron ejecutados antes de que se presentaran fallas, lo que evidencia una estrategia de

mantenimiento preventivo. El motor representó el mayor costo, seguido por los mandos finales, mientras que los cilindros mostraron menores gastos y una vida útil razonable. Esta información es útil para proyectar futuras intervenciones y optimizar recursos.

**Tabla 8**  
**Cambio de componente mayor camión minero 797 F**

Sistema	Fecha salida	Ocurrencia	h	Costo
Motor	20/5/2024	Antes de falla	15217	\$544,800
Transmisión	18/4/2024	Antes de falla	14408	\$76,602
Mandos finales	04/3/2024	Antes de falla	3939	\$115.910
Cilindro levante	08/2/2024	Antes de falla	9804	\$17000
Cilindro dirección	15/4/2024	Antes de falla	12100	\$12000

La tabla siguiente muestra el registro histórico de fallas del camión minero 797F durante el mes de agosto de 2024, indicando la fecha, el turno, la guardia y la causa de la demora. Se evidencia una distribución de fallos en distintos sistemas del equipo, como suspensión, propulsión, frenos y dirección, entre otros. Las fallas se presentaron tanto en el turno día como en el turno noche, lo que sugiere la necesidad de revisar las condiciones operativas en ambos horarios. Este tipo de información es clave para identificar patrones y fortalecer el mantenimiento preventivo.

**Tabla 9**  
**Tabla histórica frecuencia de fallos por mes ( FF ) camión Minero 797 F**  
**Información de fallas del Camión minero 797 F**

Fecha	Turno	Guardia	Demora (Causa)
05/08/2024	Día	D	Suspensión
10/08/2024	Día	D	Propulsión y Retardo
13/08/2024	Día	D	Mantto Programado
17/08/2024	Día	D	Llantas
22/08/2024	Día	D	Válvula Reguladora de presión
25/08/2024	Noche	A	Freno y Dirección

27/08/2024	Noche	A	Bomba alta presión
29/08/2024	Noche	A	Chasis, Guardas y Plataforma

La tabla siguiente presenta el impacto operacional del camión minero 797F durante el mes de agosto de 2024, expresado en la duración de las detenciones por distintos eventos. Se observan variaciones significativas en los tiempos de inactividad, destacando especialmente el 27 de agosto con más de 40 horas, lo que representa una pérdida considerable en la disponibilidad operativa del equipo. Estos datos permiten analizar la severidad de cada evento y priorizar acciones correctivas para reducir el tiempo fuera de servicio en futuras ocasiones.

**Tabla 10**

**Tabla de impacto operacional ( IO ) camión Minero 797 F**

Fecha	Duración (h)
05/08/2024	04:22:53
10/08/2024	10:25:53
13/08/2024	08:07:07
17/08/2024	05:55:40
22/08/2024	06:46:57
25/08/2024	02:24:54
27/08/2024	40:31:19
29/08/2024	03:54:13

La tabla siguiente muestra el costo de mantenimiento asociado a distintos componentes del camión minero 797F. Se evidencia que los sistemas de suspensión y llantas representaron los gastos más elevados, mientras que elementos como el chasis, guardas y plataforma implicaron costos mínimos. Estos datos permiten identificar cuáles sistemas demandan mayor inversión en mantenimiento y pueden ser útiles para priorizar recursos y ajustar las estrategias de gestión operativa.

**Tabla 11**

**Tabla de costo de mantenimiento ( CM ) camión Minero 797 F**

<b>Costo \$.</b>	<b>Componente</b>
11,457.41	Suspensión
6,789.58	Propulsión y Retardo
1,745.67	Mantto Programado
8,000.00	Llantas
1,333.33	Válvula Reguladora de presión
4.000	Freno y Dirección
800.00	Bomba alta presión
13.33	Chasis, Guardas y Plataforma

La tabla siguiente presenta la proyección de cambio recomendado (PCR) en horas para diversos componentes de un equipo, según especificaciones del fabricante. Se observa que la caja de engranajes planetarios de giro y el motor eléctrico tienen una vida útil considerablemente alta, alcanzando las 50,000 y 45,000 horas, respectivamente. En contraste, componentes como las bombas de lubricación y engrase requieren recambios más frecuentes, con una PCR de 6,000 horas. Esta información es fundamental para una planificación eficiente del mantenimiento a largo plazo.

**Tabla 12**

**PCR de los componentes de cambio mayor según fabricante**

<b>Sistema</b>	<b>PCR (h)</b>
Motor eléctrico	45000
Bomba de lubricación hoist	6000
Bomba de engrase	6000
Caja de engranajes planetarios jiro	50000
Orugas	30000
Cable suspensión pluma	40000

La tabla siguiente detalla los cambios de componentes mayores realizados en una pala eléctrica modelo 7495, indicando la fecha de intervención, la ocurrencia, las horas de uso y el costo asociado. Todos los reemplazos fueron efectuados de manera preventiva, antes de presentarse una falla. El motor eléctrico representó la intervención más costosa, con un cambio a las 13,950 horas, mientras que componentes como el cable de suspensión de la pluma y la oruga presentaron menores costos. Esta información es clave para analizar la efectividad del mantenimiento preventivo y prever futuros reemplazos.

**Tabla 13**  
**Cambio de componente mayor pala eléctrica 7495**

Sistema	Fecha salida	Ocurrencia	h	Costo
Motor eléctrico	20/03/2024	Antes de falla	13,950	\$495,000
Bomba de lubricación hoist	11/05/2024	Antes de falla	13,200	\$68,500
Bomba de engrase	15/04/2024	Antes de falla	3,600	\$98,200
Caja de engranajes planetarios giro	17/05/2024	Antes de falla	9,100	\$15,800
Oruga	22/06/2024	Antes de falla	11,300	\$10,700
Cable suspensión pluma	25/09/2024	Antes de falla	8,900	\$9,800

La tabla siguiente presenta el historial de fallos registrados en la pala eléctrica 7495 durante septiembre de 2024, incluyendo la fecha, turno, guardia y causa de la demora. Se observa una mayor concentración de eventos en el turno día, relacionados principalmente con problemas mecánicos y eléctricos, como fallas en el sistema hidráulico y en el gabinete de alta tensión. En el turno noche, las detenciones estuvieron asociadas a mantenimiento correctivo y reemplazo de componentes. Esta información permite identificar áreas críticas y ajustar las estrategias de mantenimiento.

**Tabla 14**

**Tabla histórica frecuencia de fallos por mes ( FF ) Pala eléctrica 7495**

**Información de fallos Pala eléctrica 7495**

<b>Fecha</b>	<b>Turno</b>	<b>Guardia</b>	<b>Demora (Causa)</b>
04/09/2024	Dia	D	Sistema hidráulico
09/09/2024	Dia	D	Caja de empuje rota
12/09/2024	Dia	D	Gabinete alta tensión
15/09/2024	Dia	D	Falla dispatch telecomunicaciones
20/09/2024	Noche	A	Mantenimiento no programado correctivo
25/09/2024	Noche	A	Cambio de compresor

La tabla siguiente muestra el impacto operacional de la pala eléctrica 7495 durante septiembre de 2024, medido en horas de inactividad por eventos registrados. Se evidencia una amplia variabilidad en las duraciones, destacando el 20 de septiembre con más de 24 horas de detención, lo que representa una pérdida operativa significativa. El resto de los eventos muestran tiempos más acotados, aunque igualmente relevantes para la disponibilidad del equipo. Esta información resulta esencial para evaluar la eficiencia del mantenimiento y la gestión operativa.

**Tabla 15**

**Tabla de impacto operacional ( IO ) Pala eléctrica 7495**

<b>Fecha</b>	<b>Duración (h)</b>
04/09/2024	5:35:00
09/09/2024	6:36:07
12/09/2024	4:54:46
15/09/2024	1:22:28
20/09/2024	24:21:36
25/09/2024	1:16:38

La tabla siguiente presenta los costos de mantenimiento asociados a distintos sistemas de la pala eléctrica 7495. Se observa que el cambio de compresor generó el gasto más elevado, seguido por la reparación de la caja de empuje. En contraste, intervenciones como las realizadas en el gabinete de alta tensión y el sistema hidráulico representaron costos mínimos. Esta información permite identificar qué sistemas demandan mayor inversión y orientar mejor la planificación de recursos en futuras intervenciones.

**Tabla 16**

**Tabla de costo de mantenimiento ( CM ) Pala Eléctrica 7495**

<b>Costo S/.</b>	<b>Sistemas</b>
15.02	Sistema Hidráulico
1474.66	Caja de empuje rota
10.67	Gabinete alta tensión
360.36	Falla dispatch telecomunicaciones
904.21	Mantenimiento no programado correctivo
4684.68	Cambio de compresor

La tabla siguiente muestra la proyección de cambio recomendado (PCR) en horas para diversos componentes, según el fabricante. Se presentan rangos de duración estimada, lo que permite cierta flexibilidad según las condiciones de operación. Componentes como el motor y el diferencial tienen las mayores vidas útiles, superando las 18,000 horas, mientras que las ruedas y los sensores electrónicos requieren cambios más frecuentes. Esta información es clave para organizar mantenimientos mayores y maximizar la eficiencia del equipo.

**Tabla 17**

**PCR de los componentes de cambio mayor según fabricante**

<b>Sistemas</b>	<b>PCR (h)</b>
Motor	18,000 – 20,000
Convertidor	12,000 – 15,000
Transmisión	12,000 – 14,000
Diferencial	15,000 – 18,000
Mandos Finales	15,000 – 17,000
Ruedas	6,000 – 8,000
Suspensión delantera	10,000 – 12,000
Cilindro de dirección	10,000 – 12,000
Cilindro de levante	10,000 – 12,000
Suspensión posterior	10,000 – 12,000
Sensores electrónicos	8,000 – 10,000

La tabla siguiente detalla los cambios de componentes mayores realizados en una motoniveladora 24M, incluyendo fecha, ocurrencia, horas de operación y costo. Todos los reemplazos se realizaron antes de que se produjeran fallas, siguiendo una estrategia de mantenimiento preventivo. El motor fue el componente con mayor duración y costo, mientras que los cilindros de dirección y levante, aunque menos costosos, también presentan una vida útil considerable. Esta información es útil para evaluar la eficiencia del plan de mantenimiento aplicado y prever futuras intervenciones.

**Tabla 18**

**Cambio de componente mayor motoniveladora 24 M**

<b>Sistemas</b>	<b>Fecha salida</b>	<b>Ocurrencia</b>	<b>h</b>	<b>Costo</b>
Motor	20/03/2024	Antes de falla	15,217	\$498,000
Transmisión	11/05/2024	Antes de falla	14,408	\$72,300
Mandos finales	15/04/2024	Antes de falla	3,939	\$109,800
Cilindro levante	17/05/2024	Antes de falla	9,804	\$16,200
Cilindro dirección	22/06/2024	Antes de falla	12,100	\$11,500

La tabla siguiente presenta el registro histórico de fallas de la motoniveladora 24M durante agosto de 2024, indicando la fecha, turno, guardia y la causa de la demora. Todos los eventos ocurrieron durante el turno día con la misma guardia, lo que podría indicar una concentración de incidentes en una franja operativa específica. Las causas de las demoras incluyen tanto aspectos mecánicos, como el motor diésel y el sistema estructural, como tareas rutinarias de mantenimiento. Esta información resulta útil para identificar posibles patrones y ajustar las estrategias operativas.

**Tabla 19**

**Tabla histórica frecuencia de fallos por mes ( FF ) Motoniveladora 24 M**

**Información de fallas Motoniveladora 24 M**

Fecha	Turno	Guardia	Demora (Causa)
02/08/2024	Día	D	Motor Diesel
10/08/2024	Día	D	Lubricación relleno de fluidos
15/08/2024	Día	D	Cambio de uñas
20/08/2024	Día	D	Sistema estructural

La tabla siguiente muestra el impacto operacional de la motoniveladora 24M durante agosto de 2024, expresado en horas de detención por distintos eventos. Se destaca especialmente el 10 de agosto, con una parada superior a las 30 horas, lo que representa una pérdida considerable en la disponibilidad del equipo. El resto de los eventos presentan tiempos más moderados, aunque igualmente relevantes. Esta información permite identificar los días de mayor afectación operativa y tomar medidas para reducir futuros tiempos de inactividad.

**Tabla 20**

**Tabla de impacto operacional ( IO ) Motoniveladora 24 M**

Fecha	Duración (h)
02/08/2024	8:35:00
10/08/2024	30:07
15/08/2024	2:54:46
20/08/2024	4:22:28

La tabla siguiente presenta los costos de mantenimiento asociados a distintos sistemas de la motoniveladora 24M. Se observa que el mayor gasto corresponde al sistema estructural, con una diferencia considerable respecto a los demás componentes, lo que podría estar relacionado con intervenciones complejas o daños acumulados por el uso intensivo. En contraste, tareas como el relleno de fluidos y el mantenimiento del motor diésel implicaron costos mínimos y de carácter más rutinario. Esta información permite priorizar recursos, anticipar posibles desviaciones presupuestarias y enfocar los esfuerzos en los sistemas que generan mayor impacto económico dentro del ciclo operativo del equipo.

**Tabla 21****Tabla de costo de mantenimiento ( CM ) Motoniveladora 24 M**

<b>Costo S/.</b>	<b>Sistemas</b>
16.10	Motor Diesel
66.15	Lubricación relleno de fluidos
440.19	Cambio de uñas
4036.04	Sistema estructural

Componentes disgregados que tienen alto potencial de falla debido a que los siguientes Sistemas en mención son los causantes de las paradas de PM, este cuadro nos ayuda para poder tener en cuenta los componentes que pueden ser causa de falla, cuando realizamos una inspección diaria vemos un problema en general a simple inspección visual sin profundizar tanto en los componentes de un Sistema los sistemas en mención son los siguientes Sistema hidráulico, Sistema tren de fuerza, Sistema motor, Sistema electrónico para el Camion Minero 797 F

**Tabla 22**  
**Componentes**

<b>Sistemas</b>	
Sensor Cámara de Presión	Sensor Cámara de Velocidad
Sensor de Agua en Combustible	Sensor de Nivel en Combustible
Sensor de Nivel en Refrigerante	Sensor Presión atmosférica
Sensor Presión de Combustible	Sensor Presión riel de Combustible
Válvula de Levante	Cilindro levante de tolva
Válvula Control de Levante	Bomba de alta presión
Bomba de Cebado	Carter
Filtro COF	Filtro SCF
Válvula Reguladora de Presión	Aftercooler
Culata	Filtro de Aire
Tubería de Admisión	Válvula de Alivio
Discos y platos de Freno	Pistón de Servicio
Spindle	Sello Duo – Cone

### 3.1.3.5.1. Disponibilidad operativa del Camión minero CAT 797F

1. Cálculo del tiempo total disponible anual:

El tiempo total disponible anual se calcula multiplicando los días operativos del año por las horas operativas diarias:

$$T_d = 355 \times 23 = 8165 \text{ h}$$

2. Tiempo total de inactividad registrado (anual):

El tiempo total de inactividad registrado en el mes fue de 82.98 horas. Para obtener el valor anual, se multiplica por los 12 meses del año:

$$T_i = 82.98 \times 12 = 995.76 \text{ h}$$

3. Cálculo de la disponibilidad operativa anual:

La disponibilidad operativa anual se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Disponibilidad} = \left( \frac{8165 - 995.76}{8165} \right) \times 100$$

Resolviendo la operación:

$$\text{Disponibilidad} = \left( \frac{7169.24}{8165} \right) \times 100 = 87.86\%$$

### 3.1.3.5.2. Promedio de fallas del Camión minero CAT 797F

- Total de fallas identificadas en un mes (agosto – Tabla 10):

Fallas mensuales = 8

Proyección anual: Fallas\_anuales =  $8 \times 12 = 96$  fallas

### 3.1.3.5.3. Horas de inactividad del Camión minero CAT 797F

- Duración promedio de falla (con base en total de horas y cantidad de fallas):

Promedio =  $82.98 / 8 = 10.37$  horas/falla

Inactividad anual estimada: Inactividad\_anual =  $96 \times 10.37 = 995.52$  horas

Inactividad mensual promedio: Inactividad\_mensual =  $995.52 / 12 = 82.96$  horas

### 3.1.3.5.4. Costo de mantenimiento del Camión minero CAT 797F

- Costos reales registrados en componentes durante 2024 (Tabla 12):

Motor eléctrico: \$11,457.41

Bomba de lubricación hoist: \$6,789.58

Bomba de engrase: \$1,745.67

Caja engranajes planetarios giro: \$8,000.00

Oruga: \$1,333.33

Cable suspensión pluma: \$2.90

Otros (ajustes, menor valor): \$813.33

- Costo total anual: Costo\_anual = \$29,141.22

- Costo mensual promedio:  $\text{Costo\_mensual} = \$2,428.44$

### 3.1.3.5.5. Vida útil promedio de componentes del Camión minero CAT 797F

- Horas al momento del reemplazo (según Tabla 9):
  - Motor: 15217 h
  - Transmisión: 14408 h
  - Mandos finales: 3939 h
  - Cilindro levante: 9804 h
  - Cilindro dirección: 12100 h
- Vida útil promedio:  $\text{Vida\_util\_promedio} = (15217 + 14408 + 3939 + 9804 + 12100) / 5 = 11093.6 \text{ h}$

1. Disponibilidad operativa del camión minero CAT 797F Durante el mes evaluado, el camión presentó una disponibilidad operativa del 87.86%, lo que indica que estuvo en funcionamiento la mayor parte del tiempo programado. Sin embargo, se registraron periodos de inactividad que afectan directamente su rendimiento operativo.

2. Promedio de fallas En agosto se reportaron 8 fallas. Proyectando esa frecuencia a un año, se estiman unas 96 fallas anuales. Esta proyección es útil para anticipar necesidades de mantenimiento y gestionar recursos con mayor precisión.

3. Horas de inactividad El tiempo promedio de inactividad por falla fue de aproximadamente 10.37 horas. Esto se traduce en una estimación anual de casi 1,000 horas sin operación, lo que representa una pérdida significativa en términos de productividad.

4. Costo de mantenimiento El gasto total en mantenimiento durante 2024 fue de \$29,141.22, con un promedio mensual de \$2,428.44. Los costos estuvieron relacionados principalmente con componentes clave como el motor, bombas y sistema de orugas.

5. Vida útil de componentes La vida útil promedio de los principales componentes del camión fue de 11,094 horas. Este dato es esencial para

programar mantenimientos preventivos y prever reemplazos antes de que ocurran fallas críticas.





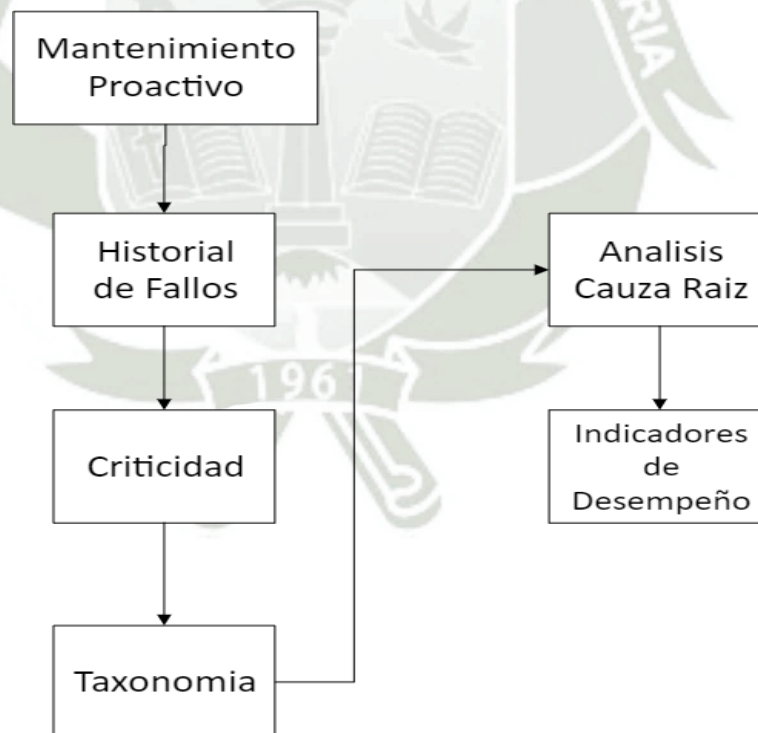
#### 4. Metodología implementación mantenimiento proactivo

##### 4.1. Introducción

Mantenimiento Proactivo: Es una estrategia de mantenimiento orientada a determinar la causa raíz de fallas de equipos para evitar fallas y mejorar la confiabilidad e indicadores KPI de los equipos mediante la identificación de nuestra maquina más critica aplicando criticidad, en donde utilizamos el método de frecuencia vs consecuencia, donde se evaluara los sistemas y componentes críticos ponderando con valores lo que nos permite eliminar la causas raíz de posibles fallos antes de que ocurran, luego se aplica la taxonomía al equipo crítico para determinar su jerarquía a cada componente. El mantenimiento proactivo Se basa en el monitoreo constante, el análisis de datos y el uso de técnicas predictivas para intervenir de forma planificada, minimizando los tiempos de inactividad y optimizando la vida útil de los activos.

**Figura 7**

##### **Mantenimiento Proactivo**



## 4.2. Proceso de aplicación el mantenimiento proactivo

### 4.2.1. Lista y ficha técnica de los activos físicos

En esta investigación se está considerando 3 maquinarias más críticas en la minera del Sur del Perú, mediante el análisis de criticidad se encontrará la más crítica.

**Tabla 23**  
**Lista de los activos físicos**


<p>CAMIÓN MINERO CAT 797F</p>	
<p>PALA ELECTRICA CAT 7495</p>	
<p>MOTONIVELADORA CAT 24 M</p>	

**Nota: Tomado de Martínez, F., & Pérez, O. (2017).**

#### 4.2.1.1. Ficha Técnica Camión Minero Cat 797 F

Tabla 24

Ficha técnica camión minero CAT 797 F

MOTOR	DATOS TECNICOS	
Modelo de motor	CAT C175-20	
Potencia bruta: SAE J1349	4.000 Hp	
Calibre	175 mm	
Carrera	220 mm	
Cilindrada	106 l	
Potencia neta	3500 HP	
Volumen de Tolva	240 M <sup>3</sup> - 268 M <sup>3</sup>	
Capacidad de carga	400 TN	
Potencia neta: SAE J1349	2828 kg/mm	

ESPECIFICACIONES DE OPERACIÓN	DATOS TECNICOS	
Capacidad de carga útil nominal	400 TONS	
Ángulo de dirección	40 Grados	
Diámetro de giro de espacio libre	42 m	
Capacidad colmada SAE (2:1)	240 a 267 m <sup>3</sup> (314 a 350 yd <sup>3</sup> )	
Diámetro de giro de espacio libre de la máquina	42 m	
Velocidad máxima con carga	64 KM/H	
DISTRIBUCIÓN DE PESO	DATOS TECNICOS	
Eje delantero: con carga	33.3 %	
Eje delantero: sin carga	47.2 %	
Eje trasero: con carga	66.7 %	
Eje trasero: sin carga	52.8 %	

DIMENSIONES	DATOS TECNICOS		
Altura de carga – vacío	6998 mm		
Altura del techo delantero – vacío	7709 mm		
Altura hasta la parte superior de la ROPS - vacío	6526 mm		
Altura total - caja levantada	15701 mm		
Espacio libre del eje trasero: cargado	947 mm		
Espacio libre del protector del motor: cargado	1025 mm		
Espacio libre sobre el suelo con carga	786 mm		
Profundidad interior de la caja: máxima	3363 mm		
Longitud total de la caja	14802 mm		
Longitud interior de la caja	9976 mm		
Longitud total	15080 mm		
Distancia entre ejes	7195 mm		
Eje trasero a la cola	3944 mm		
Espacio libre de descarga	2017 mm		
Ancho del neumático delantero de la línea de centro	6534 mm		
Ancho total del techo	9116 mm		
Ancho exterior de la caja	9755 mm		
Ancho interior de la caja	8513 mm		

**Nota: Tomado de Martínez, F., & Pérez, O. (2017).**

4.2.1.2. Ficha Técnica Pala Eléctrica Cat 7495

Tabla 25

Ficha técnica pala eléctrica CAT 7495

MOTOR ELECTRICO	DATOS TECNICOS	
Mando	Sistema de mando Acutrol IGBT	
Voltaje del sistema: nominal	50/60 Hz, 7.200 V	
Requisitos de energía: voltaje	3 fases, 50/60 Hz, 7.200 V	
Nota	Otras opciones de voltaje disponibles para adaptarse a los requisitos del cliente	
Requisitos de potencia: 50 Hz	6.000 V, 6.600 V, 7.200 V, 11.000 V	
Requisitos de potencia: 60 Hz	7.200 V, 13.800 V	
Requisitos de energía: energía pico	3.778 kW	
Requisitos de potencia: demanda promedio de potencia	945 a 1.322 kW	
ESPECIFICACIONES DE OPERACIÓN	DATOS TECNICOS	
Datos del cable - Suspensión de la pluma - Diámetro	83 mm	
Datos del cable - Desplazamiento del balde - Diámetro	16 mm	
Datos del cable - Levantamiento - No.	2	
Datos del cable - Nota	Cables de alto impacto disponibles como opción.	
Datos del cable - Empuje - Diámetro	64 mm	
Datos del cable - Retracción - Diámetro	64 mm	
Datos del cable - Levantamiento - Diámetro	70 mm	

<p>Componentes</p>	<p>Manija del balde tubular de una pieza, regular y forjada, y amplias poleas de punto de pluma equipadas con cables del dispositivo de levantamiento y candados para el balde a fin de estabilizar la manija del balde.</p>	
<p>Datos del cable - Suspensión de la pluma - No.</p>	<p>4</p>	
<p>Datos del cable - Retracción - No.</p>	<p>1</p>	
<p>Empuje</p>	<p>Cable de empuje: la maquinaria de empuje está ubicada en la parte delantera central del bastidor giratorio y se compone del motor, el freno, el tambor y los engranajes. Se utilizan cables de ataque y retracción recubiertos de plástico para mover longitudinalmente la manija del balde.</p>	
<p>Datos del cable - Desplazamiento del balde</p>	<p>No</p>	

DISTRIBUCIÓN DE PESO	DATOS TECNICOS	
Peso de trabajo con balde y varillajes estándares	1295777 kg	
Lastre proporcionado por el cliente	260362 kg	
Nota	Estos pesos varían ligeramente según la selección de balde y equipos optativos.	
Nota	Todas las especificaciones se basan en un balde de 32m <sup>3</sup> (42yd <sup>3</sup> ) y bandas de rodadura estándar de 213,4cm (84).	
DIMENSIONES	DATOS TECNICOS	
Radio del suelo horizontal	16 m	
Altura de descarga con espacio libre para abrir la puerta del balde	9.4 m	
Altura máxima de corte	14.9 m	
Radio de giro de la cola del bastidor giratorio	9.3 m	
Radio de corte máximo	22.8 m	
Radio del suelo horizontal	16 m	
Altura de descarga con espacio libre para abrir la puerta del balde	9.4 m	
Altura máxima de corte	14.9 m	
Radio de giro de la cola del bastidor giratorio	9.3 m	
Radio de corte máximo	22.8 m	

**Nota: Tomado de Martínez, F., & Pérez, O. (2017).**

**4.2.1.3. Ficha Técnica Motoniveladora 24 M**

**Tabla 26**

**Ficha técnica motoniveladora 24 M**

MOTOR	DATOS TECNICOS
Fabricante de motor	Caterpillar
Modelo de motor	CAT C18
Índice de emisiones	Tier 3
Número de cilindros	6
Calibre	145 MM
Carrera	183 mm
Cilindrada	18.1 ltr
Velocidad nominal	1800 RPM
Potencia variable	535 HP (1ERA MARCHA) - 694 HP (8VA MARCHA)
Potencia neta	532 HP
Potencia bruta	3352 kW
Configuración de dirección	6 x 4
Fabricante de transmisión	Caterpillar
Tipo de transmisión	Powershift
Número de velocidades – avance	6
Distancia al suelo	858 mm
Oscilación del eje	32°
Ruedas delanteras	18°
Oscilación del eje trasero	3
Número de ejes impulsores	2
Tipo de servicio del freno	Discos húmedos
Tipo de parqueo	Discos húmedos
Accionamiento de parqueo	Desbloqueo hidráulico
Tipo de parqueo secundario	Múltiples discos húmedos




ESPECIFICACIONES DE OPERACIÓN	DATOS TECNICOS		
Distancia entre ejes	10278 mm		
Eje tándem de separación	2285 mm		
Altura total del equipo	4352 mm		
Altura del tándem	1040 mm		
Altura de vertedera	1067 mm		
Radio de la vertedera	550 mm		
Altura libre	162 mm		
Distancia al suelo	607 mm		
Ancho sobre neumáticos delanteros	4280 mm		
Banda de rodadura delantera	3450 mm		
Banda de rodadura trasera	3450 mm		
Ancho - parte superior de ruedas delanteras	4280 mm		
Ancho de tándem	353 mm		
Ancho de vertedera	7300 mm		
Ancho del corte	330 mm		
Ancho del marco superior	514 mm		
Diámetro del marco circular	2631 mm		
Pared del tándem espesor exterior	30 mm		
Pared del tándem espesor interior	25 mm		
Espesor de vertedera	50 mm		
Grosor del corte	29 mm		
Grosor de la hoja	160 mm		
Desplazamiento lateral del círculo – derecha	5338 mm		
Desplazamiento lateral del círculo – izquierda	5332 mm		
Desplazamiento lateral de la vertedera - derecho	4902 mm		

Desplazamiento lateral de la vertedera - izquierdo	4528 mm		
Punta de la pala hidráulica – avance	40°		
Min radio de viraje	12.4 m		
Rango de la rueda delantera	18°		
Marco de articulación	25°		
El peso del eje delantero	18862 kg		
El peso del eje trasero / tándem	43595 kg		
Velocidad avance 1	3.6 kph		
Velocidad avance 2	5.7 kph		
Velocidad avance 3	9.6 kph		
Velocidad avance 4	15 kph		
Velocidad avance 5	27.7 kph		
Velocidad avance 6	43 kph		
Velocidad reversa 1	5.4 kph		
Velocidad reversa 2	14.3 kph		
Velocidad reversa 3	41.2 kph		
Velocidad avance 2	20°		
Sistema de voltaje	24		
Tipo de bomba	Pistones axiales variable		
<b>DISTRIBUCIÓN DE PESOS</b>	<b>DATOS TECNICOS</b>		
Peso Operativo del Equipo	62457 Kg		
Peso Min Operativo	62457 Kg		
Peso Max del equipo Operativo	66138 Kg		
Peso	65840 kg		
<b>DIMENSIONES</b>	<b>DATOS TECNICOS</b>		
Ancho de la hoja	7.3 m		
Altura de la hoja	1025 mm		
Profundidad máxima de corte	550 mm		
Levantamiento máximo sobre el suelo	410 mm		

Nota: Tomado de Martínez, F., & Pérez, O. (2017).

#### 4.2.2. Análisis de Criticidad de los Activos Físicos

Se identificó una metodología denominada **Modelo de Factores Ponderados Basado en la Teoría del Riesgo**, aplicada principalmente en la evaluación de equipos mineros pesados, como el camión minero Caterpillar 797F. Esta metodología ha sido desarrollada en estudios como el de Sandoval, quien en su tesis titulada *Mejora en la confiabilidad operacional del sistema POWER SHIFT de un camión minero Caterpillar modelo 797F: Desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo* propuso un enfoque estructurado para la gestión del mantenimiento basado en la evaluación del riesgo (Sandoval Moscoso 2016).

La propuesta metodológica considera cinco factores fundamentales: la frecuencia de fallas, el impacto operacional, la flexibilidad operacional, el costo de mantenimiento y el impacto en seguridad, ambiente y salud (SAH). Cada uno de estos factores es ponderado de acuerdo con escalas establecidas, permitiendo una valoración cuantitativa integral de las condiciones operativas del equipo.

La consecuencia de una falla se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) \\ + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Posteriormente, se utiliza una matriz de riesgo que cruza la frecuencia de fallas con la consecuencia obtenida, lo que facilita la determinación del nivel de riesgo asociado al equipo evaluado. El uso de esta metodología permite priorizar de manera sistemática las intervenciones de mantenimiento y optimizar la toma de decisiones, contribuyendo significativamente al incremento de la confiabilidad y disponibilidad de los activos críticos en operaciones mineras (Barsallo Coico, 2019).

**4.2.2.1. Modelo de Factores Ponderados Basados en la Teoría del Riesgo para el Camión minero 797 F**

**Tabla 27**

**Frecuencia de fallos Camión minero 797 F**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 28**

**Impacto Operacional Camión minero 797 F**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 29**

**Flexibilidad Operacional Camión minero 797 F**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 30**

**Costo de Mantenimiento Camión minero 797 F**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 300,000 US\$	4
Entre 150,000 US\$ y menos de 300,000 US\$	3
Menos de 150,000 US\$	2

**Tabla 31**

**Impacto SAH Camión minero 797 F**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

#### 4.2.2.1.1. Cálculo de Consecuencia y frecuencia para el Camión minero 797 F

Sustituyendo los valores en la fórmula:

La fórmula para calcular la Consecuencia es:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de fallos = 4
Impacto Operacional = 15
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 3

$$\text{Consecuencia} = (15 \times 2) + 3 + 3$$

$$\text{Consecuencia} = 30 + 3 + 3 = 36$$

#### 4.2.2.1.1.1. Matriz Riesgo Final

De acuerdo con la matriz proporcionada y los resultados obtenidos:

Frecuencia de Fallos = 4
Consecuencia = 26

Riesgo Camión Minero 797 F

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**4.2.2.2. Modelo de Factores Ponderados Basados en la Teoría del Riesgo para la Pala Eléctrica CAT 7495**

**Tabla 32**

**Frecuencia de fallos Pala Eléctrica CAT 7495**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	<b>3</b>
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 33**

**Impacto Operacional Pala Eléctrica CAT 7495**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo para el acarreo y personal técnico hacia la zona del tajo	<b>15</b>
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 34**

**Flexibilidad Operacional Pala Eléctrica CAT 7495**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Acarreo excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	<b>2</b>
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 35**

**Costo de Mantenimiento Pala Eléctrica 7495**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 300,000 US\$	<b>4</b>
Entre 150,000 US\$ y menos de 300,000 US\$	3
Menos de 150,000 US\$	2

**Tabla 36**

**Impacto SAH Pala Electrica CAT 7495**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	<b>2</b>
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	<b>0</b>

**4.2.2.2.1. Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Pala Electrica CAT 7495**

Sustituyendo los valores en la fórmula

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de fallos = 3
Impacto Operacional = 15
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 4
Impacto SAH = 0

$$\text{Consecuencia} = (15 \times 2) + 4 + 1$$

$$\text{Consecuencia} = 30 + 4 + 1 = 35$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia de Fallos = 3
Consecuencia = 35

Riesgo Pala Electrica CAT 7495

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

#### 4.2.2.3. Modelo de Factores Ponderados Basados en la Teoría del Riesgo para la Motoniveladora 24 M

Tabla 37

Frecuencia de Fallos Motoniveladora 24 M

Frecuencia de Fallos	Ponderación
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 38**

**Impacto Operacional Motoniveladora 24 M**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 39**

**Flexibilidad Operacional Motoniveladora 24 M**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 40**

**Costo de Mantenimiento Motoniveladora 24 M**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 300,000 US\$	4
Entre 150,000 US\$ y menos de 300,000 US\$	3
Menos de 150,000 US\$	2

**Tabla 41**  
**Impacto SAH Motoniveladora 24 M**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	<b>2</b>
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**4.2.2.3.1. Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Motoniveladora 24 M**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (6 \times 2) + 3 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 12 + 3 + 2 = 17$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 17
----------------	-------------------

Riesgo Motoniveladora 24 M

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

Tabla 42

Tabla de modelo de factores Ponderados basados en la teoría del riesgo

EQUIPO	IO	FO	CM	SAH	CONSECUENCIA	FF	RIESGO
CAMION MINERO CAT 797 F	15	2	3	3	36	4	<b>A</b>
PALA ELECTRICA CAT 7495	15	2	4	0	35	3	<b>B</b>
MOTONIVELADORA CAT 24 M	6	2	3	2	17	3	<b>C</b>

LEYENDA	COLOR
Critico	
Alerta	
Normal	

Concluimos que el Camión Minero 797 F y la Pala Eléctrica CAT 7495 mediante el método de criticidad son equipos críticos.

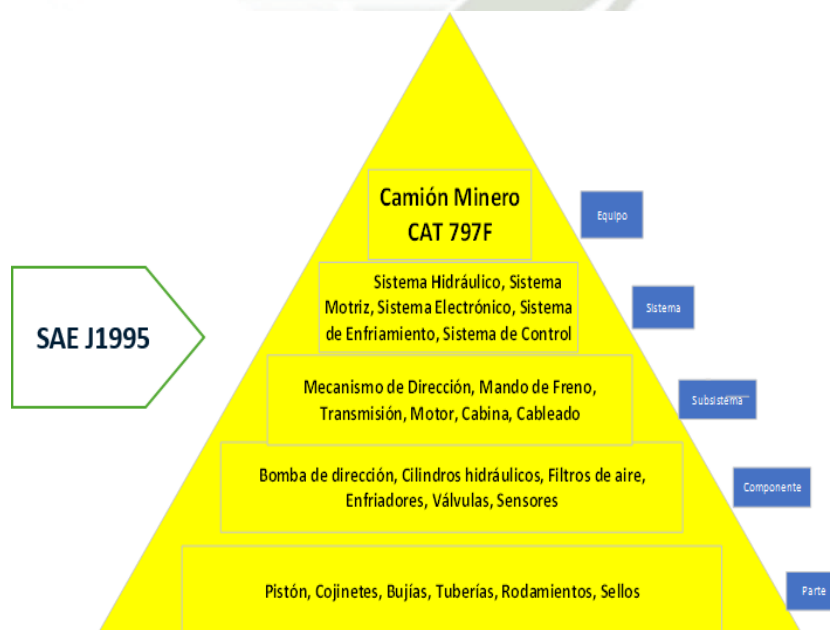
### 4.2.3. Taxonomía y funciones de los activos físicos críticos

#### 4.2.3.1. Taxonomía del activo físico

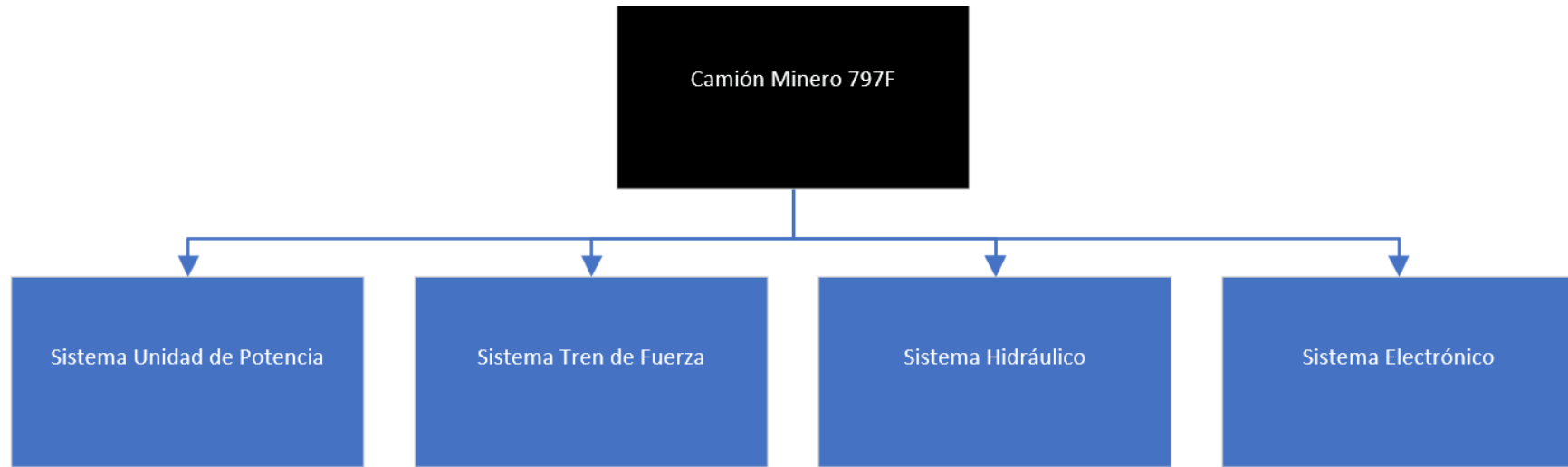
El camión de modelo 797F, fabricado por la reconocida marca Caterpillar, se posiciona como uno de los vehículos más imponentes y avanzados de la industria minera a nivel mundial. Este modelo es destacado por su capacidad de carga excepcional, alcanzando hasta 400 toneladas métricas al 100% de su capacidad operativa. Tal rendimiento lo convierte en un equipo esencial en operaciones de extracción a gran escala, permitiendo la optimización en el transporte de materiales como minerales, rocas y otros componentes críticos.

El 797F está equipado con uno de los motores diésel más potentes diseñados para el sector industrial, el C175, un motor de 20 cilindros que ofrece una potencia bruta de 4000 hp. Esta especificación no solo permite al camión movilizar enormes volúmenes de carga, sino también garantizar eficiencia en terrenos desafiantes y condiciones operativas extremas. Este motor utiliza tecnología de inyección electrónica avanzada, lo que mejora su desempeño, reduce las emisiones y prolonga la vida útil del equipo, acorde con las normativas internacionales actuales.

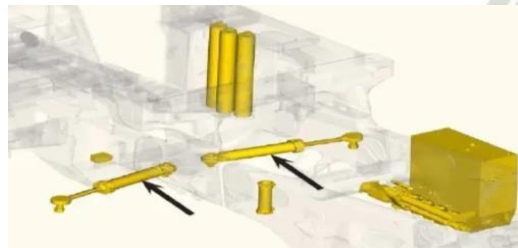
**Figura 8**  
**Taxonomía Camión Minero 797 F**



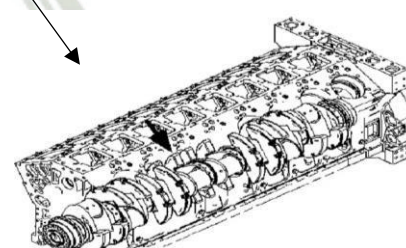
**Figura 9**  
**Taxonomía Camión Minero 797 F**



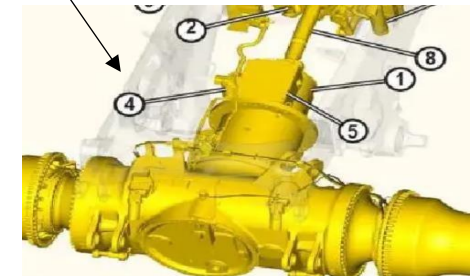
Sistema Hidraulico



Sistema Motor

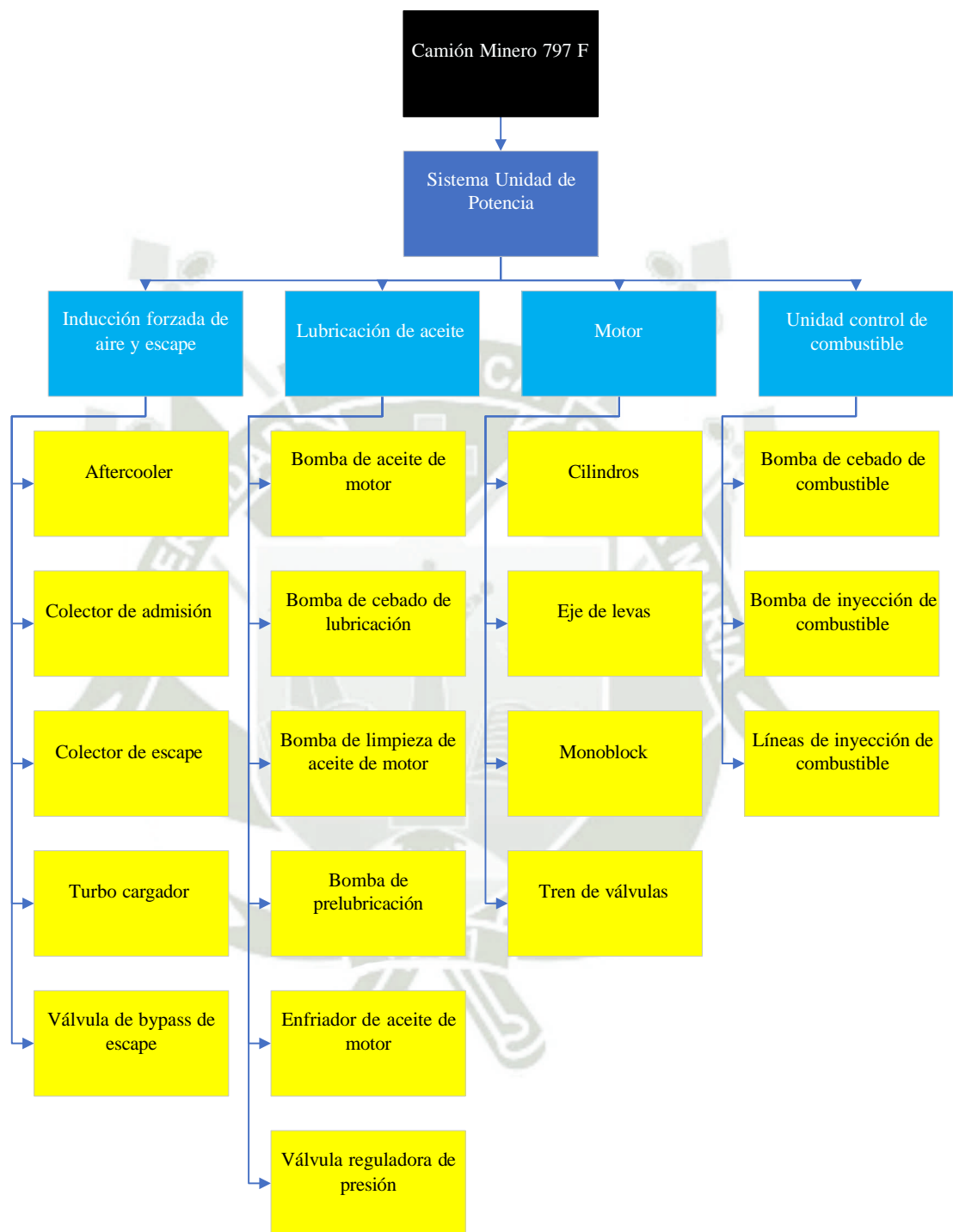


Sistema Tren de Fuerza



**Figura 10**

**Taxonomía Camión Minero 797 F – Sistema unidad de potencia**



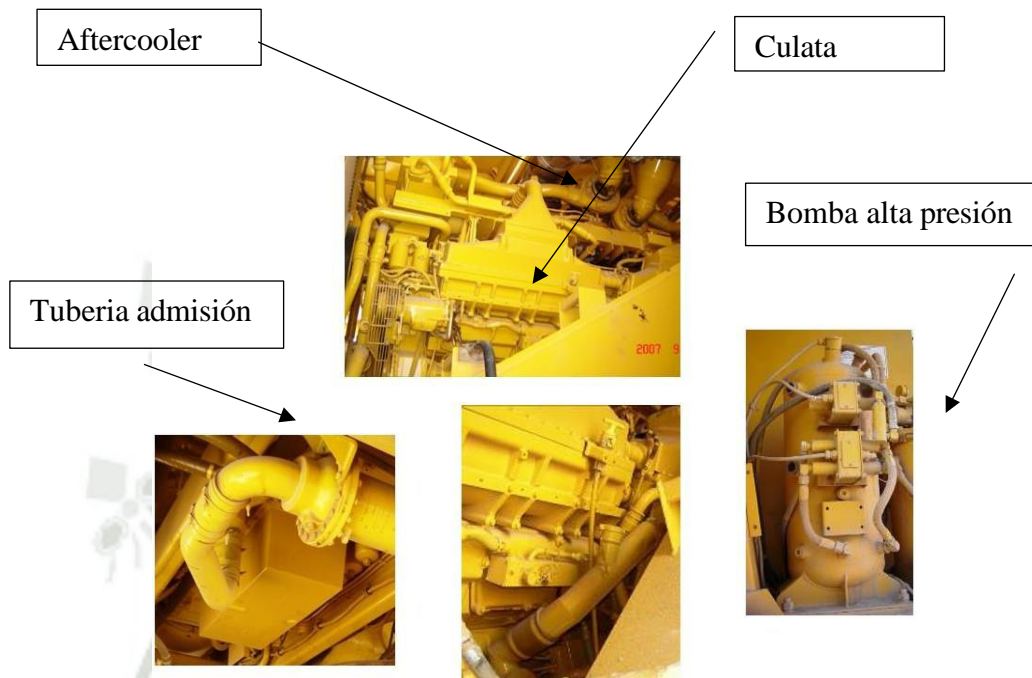
LEYENDA	COLOR
Sistema	
Sub sistema	
Componente	

**Tabla 43**  
**Clasificación del sistema unidad de potencia**

SISTEMA	SUB SISTEMA	COMPONENTES
SISTEMA UNIDAD DE POTENCIA	Motor	Cilindros
		Eje de levas
		Tren de valvulas
		Monoblock
	Lubricacion de Aceite	Bomba de aceite de motor
		Bomba de pre lubricacion
		Enfriador de aceite de motor
		Boma de cebado de lubricacion
		Bomba limpieza de aceite de motor
		Valvula reguladora de presión
	Unidad control de combustible	Bomba inyeccion de combustible
		Lineas de inyeccion de combustible
		Bomba cebado de combustible
	Induccion forzada de aire y escape	Aftercooler
		Turbo cargador
		Valvula de baypas de escape
		Colector de admisoon
		Coletor de escape

**Figura 11**

**Despiece Camión Minero 797 F – Sistema unidad de potencia**



**Figura 12**

**Taxonomía Camión Minero 797 F – Sistema Tren de Fuerza**



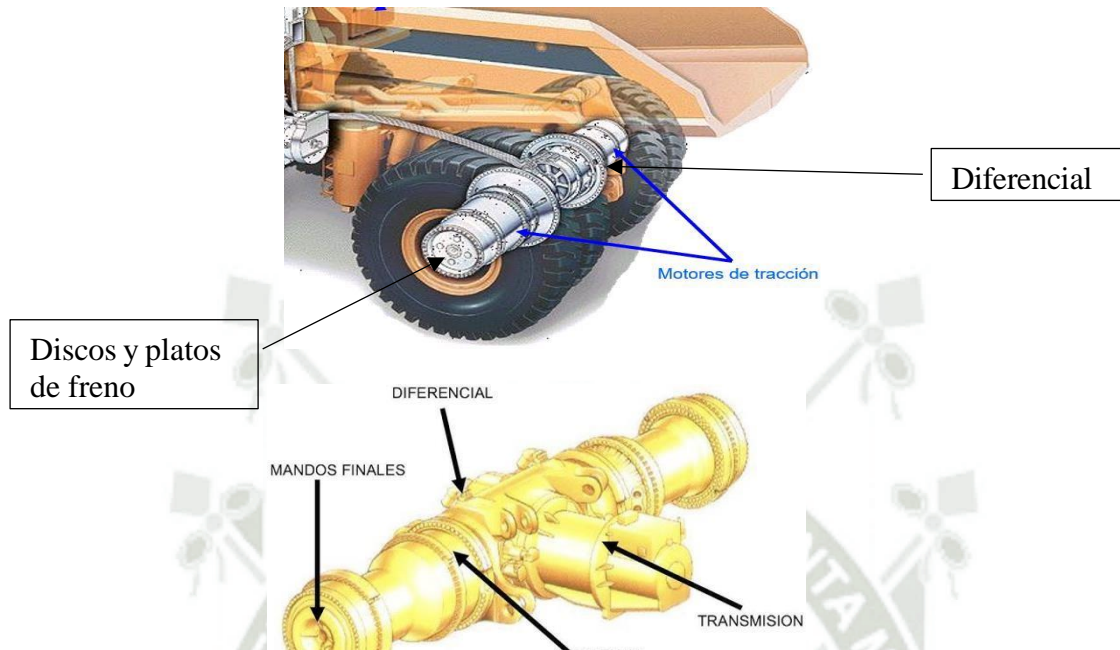
LEYENDA	COLOR
Sistema	<span style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px;"> </span>
Sub sistema	<span style="background-color: #00a0e9; color: white; padding: 2px;"> </span>
Componente	<span style="background-color: #ffff00; color: black; padding: 2px;"> </span>

**Tabla 44**  
**Clasificación del sistema tren de fuerza**

SISTEMA	SUB SISTEMA	COMPONENTES
SISTEMA TREN DE FUERZA	Convertidor de transmision	Bomba
		Embrague convertidor
		Embrague lockup
		Estator
		Impeller
		Turbina
	Transmisión	Carcasa
		Transmision de la bomba de aceite
		Reducción de engranajes
		Valvula reguladora de presión de aceite
	Diferencial	Piñon - corona
		Engranajes diferenciales
		Engranajes satelites
		Semiejes
	Mando final	Discos y platos de freno
		Pistón de servicio
Spindle		
Sello duo – cone		

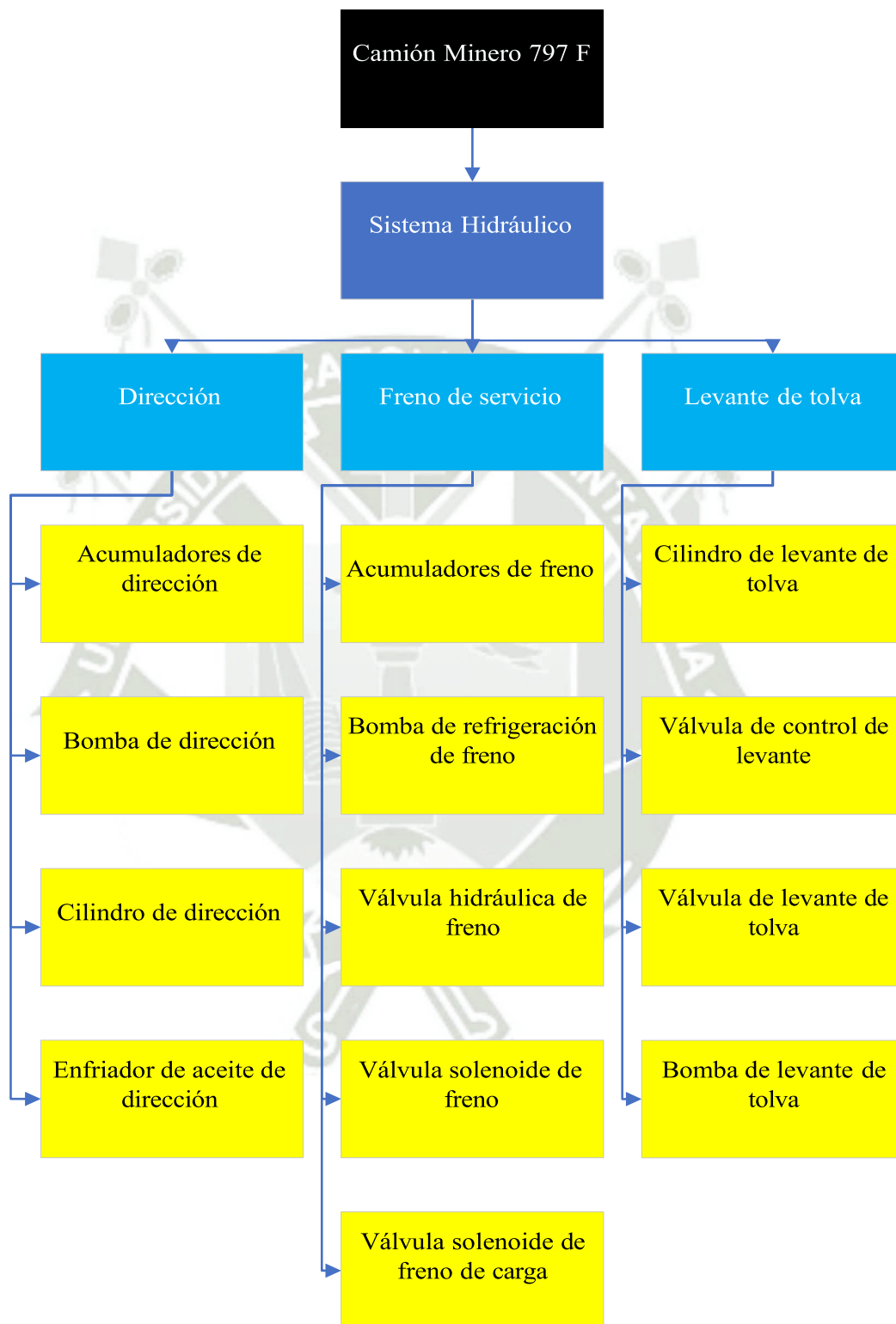
**Figura 13**

**Despiece Taxonomía Camión Minero 797 F tren de fuerza**



**Figura 14**

**Taxonomía Camión Minero 797 F – Sistema Hidráulico**



LEYENDA	COLOR
Sistema	
Sub sistema	
Componente	

**Tabla 45**

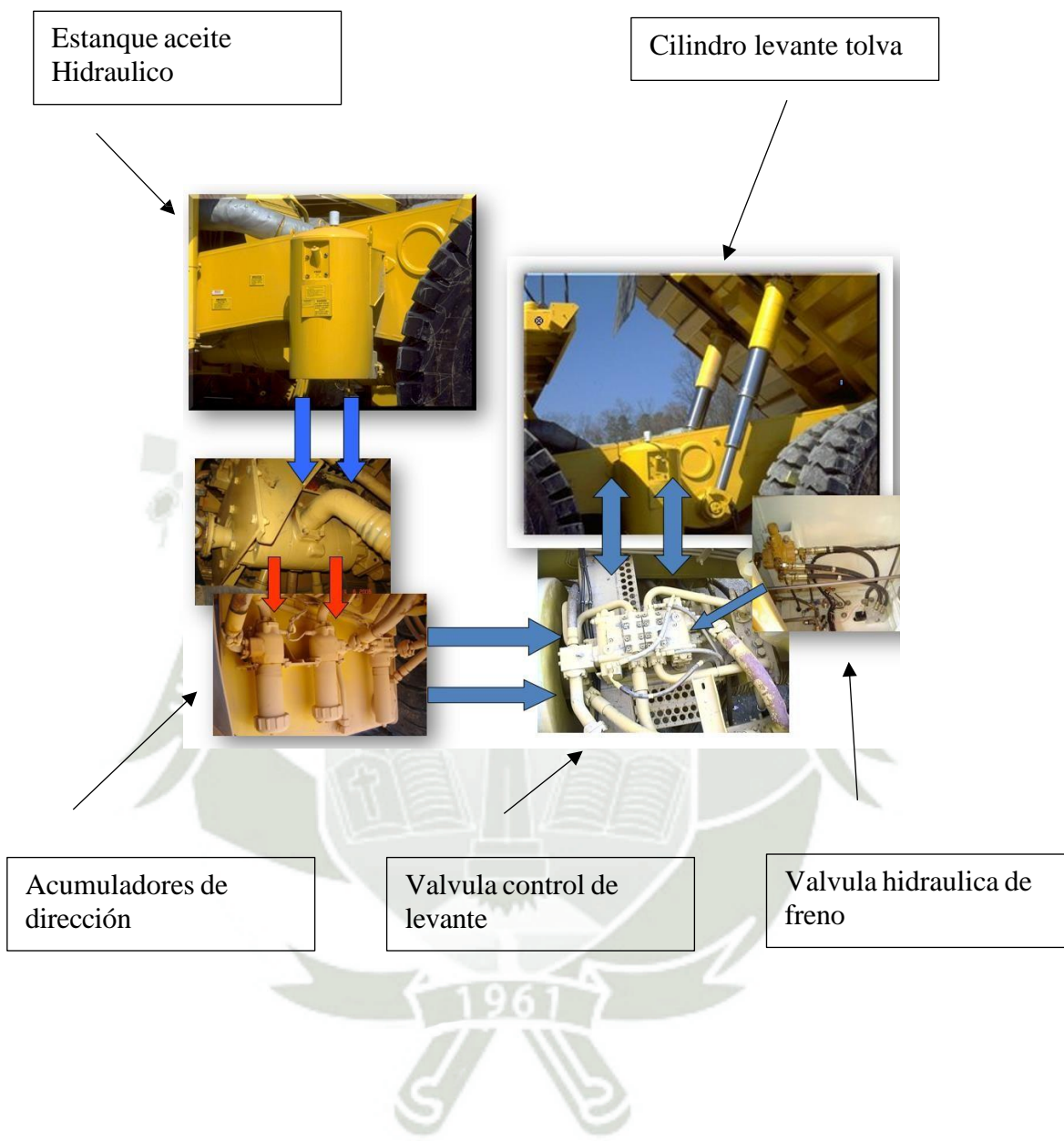
**Clasificación del sistema hidráulico**

SISTEMA	SUB SISTEMA	COMPONENTES
Sistema Hidraulico	Dirección	Bomba de dirección
		Enfriador de aceite de dirección
		Acumuladores de dirección
		Cilindro de dirección
	Freno de servicio	Bomba de refrigeración de freno
		Acumuladores de freno
		Válvula solenoide freno
		Válvula hidráulica de freno
		Válvula solenoide freno de carga
	Levante de tolva	Válvula levante tolva
		Cilindro levante tolva
		Válvula control levante
Bomba levante de tolva		



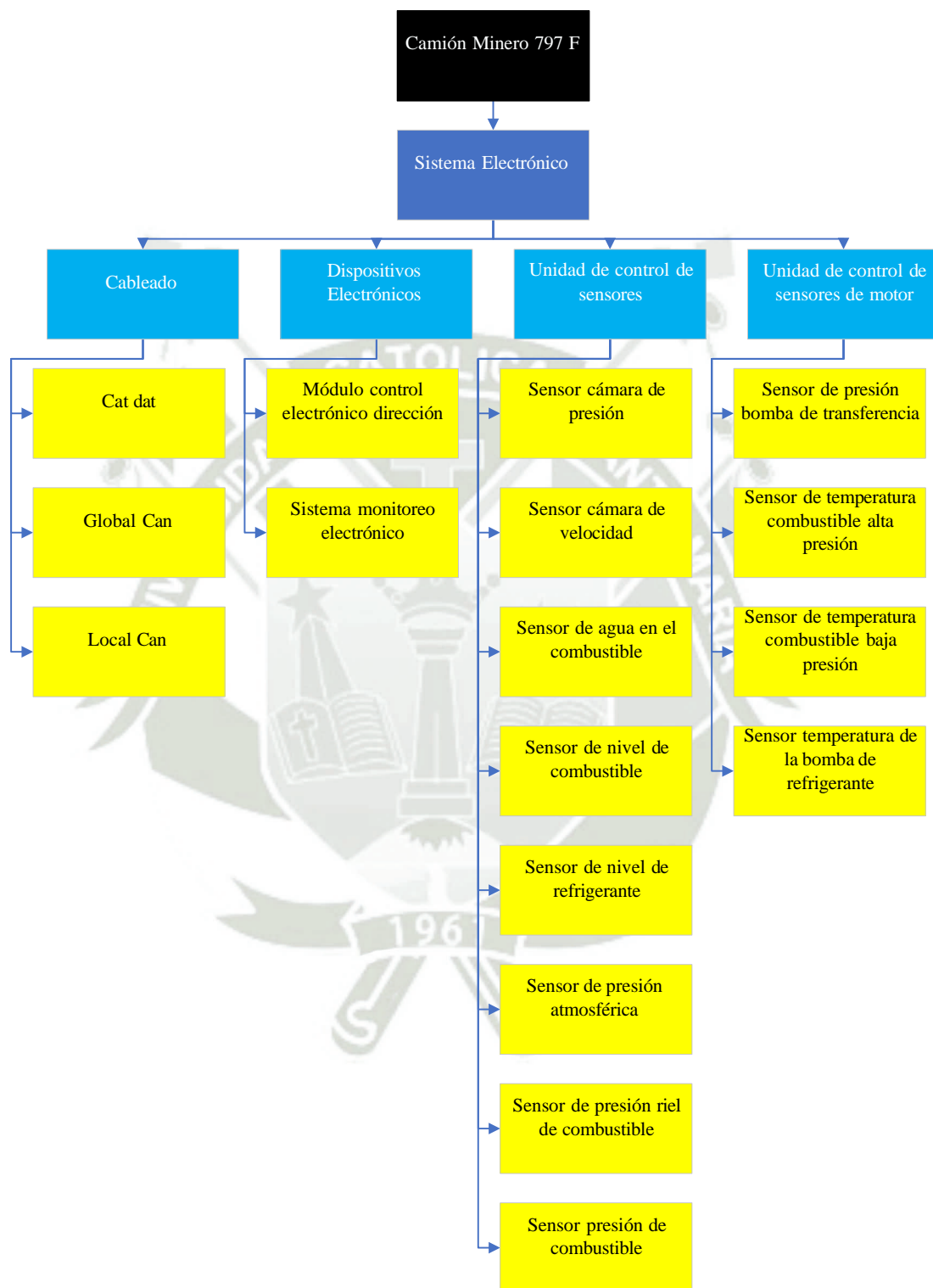
Figura 15

Despiece Camión Minero 797 F – Sistema Hidráulico



**Figura 16**

**Taxonomía Camión Minero 797 F – Sistema Electrónico**



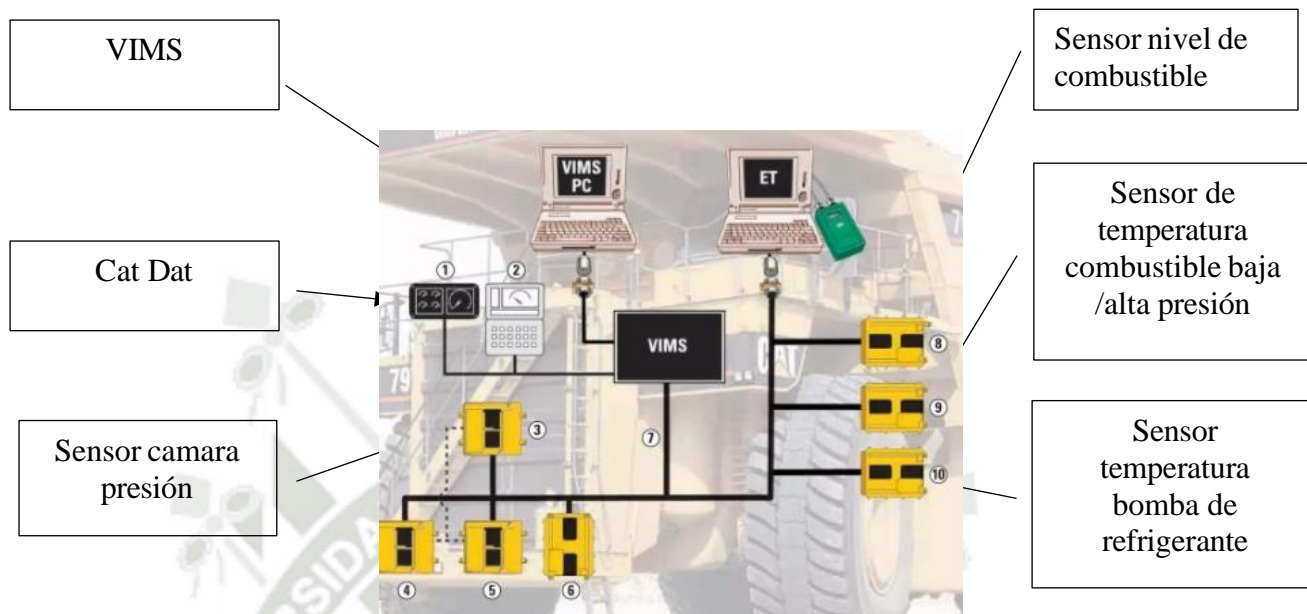
LEYENDA	COLOR
Sistema	■
Sub sistema	■
Componente	■

**Tabla 46**  
**Clasificación del sistema electrónico**

SISTEMA	SUB SISTEMA	COMPONENTES
Sistema electrónico	Cableado	Cat dat
		Global Can
		Local Can
	Dispositivos Electronicos	Modulo control electronico direccion
		Sistema monitoreo electronico
	Unidad de Control de Sensores	Sensor camara de presión
		Sensor camara de velocidad
		Sensor de agua en el combustible
		Sensor de nivel de combustible
		Sensor de nivel de refrigerante
		Sensor de presión atmosférica
		Sensor presión de combustible
	Unidad de control de sensores de motor	Sensor de presión riel de combustible
		Sensor de Presión bomba de Transferencia
		Sensor de temperatura combustible alta presión
		Sensor de temperatura combustible baja presión
		Sensor temperatura de la bomba de refrigerante

**Figura 17**

**Despiece Camión Minero 797 F – Sistema Electrónico**



**4.2.4. Análisis de criticidad para los sistemas**

**4.2.4.1. Análisis de criticidad para el Sistema Unidad de Potencia**

**Tabla 47**

**Frecuencia de Fallos Sistema Unidad de Potencia**

Frecuencia de Fallos	Ponderación
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 48**

**Impacto Operacional Sistema Unidad de Potencia**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 49**

**Flexibilidad Operacional Sistema Unidad de Potencia**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 50**

**Costo de Mantenimiento Sistema Unidad de Potencia**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 70,000 US\$	4
Entre 50,000 US\$ y menos de 70,000 US\$	3
Menos de 50,000 US\$	2

**Tabla 51**  
**Impacto SAH Sistema Unidad de Potencia**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sistema Unidad de Potencia**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 4
Impacto Operacional = 15
Flexibilidad = 3
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 1

$$\text{Consecuencia} = (15 \times 3) + 3 + 1$$

$$\text{Consecuencia} = 45 + 3 + 1 = 49$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 4	Consecuencia = 49
----------------	-------------------

Riesgo Sistema Unidad de Potencia

<b>FRECUENCIA</b>	4	B	B	A	A	A
	3	B	B	B	A	A
	2	C	C	B	B	A
	1	C	C	C	B	A
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

4.2.4.2. Análisis de criticidad para el Sistema Tren de Fuerza

Tabla 52

Frecuencia de Fallos Sistema Tren de Fuerza

Frecuencia de Fallos	Ponderación
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

Tabla 53

Impacto Operacional Sistema Tren de Fuerza

Impacto Operacional	Ponderación
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 54**

**Flexibilidad Operacional Sistema Tren de Fuerza**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 55**

**Costo de Mantenimiento Sistema Tren de Fuerza**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 70,000 US\$	4
Entre 50,000 US\$ y menos de 70,000 US\$	3
Menos de 50,000 US\$	2

**Tabla 56**

**Impacto SAH Sistema Tren de Fuerza**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sistema Tren de Fuerza

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 15
Flexibilidad = 3
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 1

$$\text{Consecuencia} = (15 \times 3) + 3 + 1$$

$$\text{Consecuencia} = 45 + 3 + 1 = 49$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 49
----------------	-------------------

Riesgo Sistema Tren de Fuerza

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

#### 4.2.4.3. Análisis de criticidad para el Sistema Hidráulico

**Tabla 57**

**Frecuencia de Fallos Sistema Hidráulico**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 58**

**Impacto Operacional Sistema Hidráulico**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 59**

**Flexibilidad Operacional Sistema Hidráulico**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 60**

**Costo de Mantenimiento Sistema Hidráulico**

Costo de Mantenimiento	Ponderación
Más de 70,000 US\$	4
Entre 50,000 US\$ y menos de 70,000 US\$	3
Menos de 50,000 US\$	2

**Tabla 61**

**Impacto SAH Sistema Hidráulico**

Impacto SAH	Ponderación
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sistema Hidráulico**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 4
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 5

$$\text{Consecuencia} = (6 \times 2) + 3 + 5$$

$$\text{Consecuencia} = 12 + 3 + 5 = 20$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 20
----------------	-------------------

Riesgo Sistema Hidráulico

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

#### 4.2.4.4. Análisis de criticidad para el Sistema Electrónico

Tabla 62  
Frecuencia de Fallos

	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 63**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 64**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 65**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 70,000 US\$	4
Entre 50,000 US\$ y menos de 70,000 US\$	3
Menos de 50,000 US\$	2

**Tabla 66**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sistema Electrónico**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 10
Flexibilidad = 3
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 0

$$\text{Consecuencia} = (10 \times 3) + 3 + 0$$

$$\text{Consecuencia} = 30 + 3 + 0 = 33$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 33
----------------	-------------------

Riesgo Sistema Electrónico

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**Tabla 67**

**Tabla de modelo de factores Ponderados para los sistemas**

SISTEMA	IO	FO	CM	SAH	CONSECUENCIA	FF	RIESGO
Unidad de Potencia	15	3	3	1	49	4	Critico
Tren de Fuerza	15	3	3	1	49	3	Critico
Hidráulico	6	2	3	5	20	3	Alerta
Electrónico	10	3	3	0	33	3	Alerta

LEYENDA	COLOR
Critico	Critico
Alerta	Alerta
Normal	Normal

La tabla presentada corresponde a un modelo de factores ponderados basado en la teoría del riesgo, donde se analiza la criticidad de los diferentes sistemas evaluados. A través del análisis de los indicadores IO (Índice de Ocurrencia), FO (Frecuencia de Ocurrencia), CM (Costo de Mantenimiento), SAH (Severidad de Afectación Humana), Consecuencia, FF (Frecuencia de Falla) y el nivel de Riesgo, se ha determinado que tanto el sistema de unidad de potencia como el tren de fuerza presentan los valores más altos en términos de criticidad, lo que los posiciona como los componentes más críticos dentro del análisis.

Estos resultados sugieren que dichos sistemas deben ser considerados prioritarios en las estrategias de mantenimiento y gestión de fallas. Por otro lado, aunque los sistemas hidráulico y electrónico muestran un riesgo de nivel medio, también son relevantes en esta evaluación, ya que presentan factores críticos específicos que podrían afectar el desempeño general del sistema si no se gestionan adecuadamente. Esta clasificación permite enfocar los recursos técnicos y operativos hacia las áreas con mayor impacto potencial sobre la seguridad, disponibilidad y funcionalidad del sistema en su conjunto.



#### 4.2.5. Análisis de criticidad para los subsistemas

##### 4.2.5.1. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Lubricacion de Aceite (Sistema unidad de potencia)

**Tabla 68**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 69**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 70**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 71**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 30,000 US\$	4
Entre 7,000 US\$ y menos de 30,000 US\$	3
Menos de 7,000 US\$	2

**Tabla 72**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sub Sistema Lubricacion de Aceite

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 4
Impacto Operacional = 10
Flexibilidad = 3
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 4

$$\text{Consecuencia} = (10 \times 3) + 3 + 4$$

$$\text{Consecuencia} = 30 + 3 + 4 = 37$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 4	Consecuencia = 37
----------------	-------------------

Riesgo Sub Sistema Lubricacion de Aceite

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**4.2.5.2. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Unidad Control de Combustible (Sistema unidad de potencia)**

**Tabla 73**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 74**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 75**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 76**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 30,000 US\$	4
Entre 7,000 US\$ y menos de 30,000 US\$	3
Menos de 7,000 US\$	2

**Tabla 77**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	<b>2</b>
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sub Sistema Unidad Control de Combustible**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 10
Flexibilidad = 1
Costo de Mantenimiento = 2
Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (10 \times 1) + 2 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 10 + 2 + 2 = 14$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 14
----------------	-------------------

Riesgo Sub Sistema Unidad Control de Combustible

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

4.2.5.3. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Inducción forzada de aire y escape (Sistema unidad de potencia)

**Tabla 78**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 79**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 80**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 81**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 30,000 US\$	4
Entre 7,000 US\$ y menos de 30,000 US\$	3
Menos de 7,000 US\$	2

**Tabla 82**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sub Sistema Induccion forzada de aire y escape

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 4
Impacto Operacional = 10
Flexibilidad = 3
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 4

$$\text{Consecuencia} = (10 \times 3) + 3 + 4$$

$$\text{Consecuencia} = 30 + 3 + 4 = 37$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 4	Consecuencia = 37
----------------	-------------------

Riesgo Sub Sistema Induccion forzada de aire y escape

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

4.2.5.4. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Motor (Sistema unidad de potencia)

**Tabla 83**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 84**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 85**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 86**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 30,000 US\$	4
Entre 7,000 US\$ y menos de 30,000 US\$	3
Menos de 7,000 US\$	2

**Tabla 87**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sub Sistema Motor**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 2
Impacto Operacional = 10
Flexibilidad = 3
Costo de Mantenimiento = 4
Impacto SAH = 0

$$\text{Consecuencia} = (10 \times 3) + 4 + 0$$

$$\text{Consecuencia} = 30 + 4 + 0 = 34$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 34
----------------	-------------------

Riesgo Sub Sistema Motor

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

4.2.5.5. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Diferencial (Sistema tren de fuerza)

Tabla 88

Frecuencia de Fallos

Frecuencia de Fallos	Ponderación
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

Tabla 89

Impacto Operacional

Impacto Operacional	Ponderación
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 90**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 91**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 150,000 US\$	4
Entre 90,000 US\$ y menos de 150,000 US\$	3
Menos de 90,000 US\$	2

**Tabla 92**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sub Sistema Diferencial

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 15
Flexibilidad = 3
Costo de Mantenimiento = 4
Impacto SAH = 3

$$\text{Consecuencia} = (15 \times 3) + 4 + 3$$

$$\text{Consecuencia} = 45 + 3 + 3 = 51$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 51
----------------	-------------------

Riesgo Sub Sistema Diferencial

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**4.2.5.6. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Convertidor de transmisión  
(Sistema tren de fuerza)**

**Tabla 93  
Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 94  
Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 95**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	<b>2</b>
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 96**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 150,000 US\$	4
Entre 90,000 US\$ y menos de 150,000 US\$	3
Menos de 90,000 US\$	<b>2</b>

**Tabla 30**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	<b>2</b>
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sub Sistema Convertidor de transmisión

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 10
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 2
Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (10 \times 2) + 2 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 20 + 2 + 2 = 24$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 24
----------------	-------------------

Riesgo Sub Sistema Convertidor de transmisión

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**4.2.5.7. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Mando Final (Sistema tren de fuerza)**

**Tabla 97**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	<b>2</b>
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 98**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	<b>6</b>
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 99**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 100**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 150,000 US\$	4
Entre 90,000 US\$ y menos de 150,000 US\$	3
Menos de 90,000 US\$	2

**Tabla 101**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sub Sistema Mando Final**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 2
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 1
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 0

$$\text{Consecuencia} = (6 \times 1) + 3 + 0$$

$$\text{Consecuencia} = 6 + 3 + 0 = 9$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 2	Consecuencia = 9
----------------	------------------

Riesgo Sub Sistema Mando Final

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

4.2.5.8. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Transmisión (Sistema tren de fuerza)

**Tabla 102**

**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	<b>2</b>
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 103**

**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	<b>10</b>
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 104**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 105**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 150,000 US\$	4
Entre 90,000 US\$ y menos de 150,000 US\$	3
Menos de 90,000 US\$	2

**Tabla 106**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sub Sistema Transmisión

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 10
Flexibilidad = 1
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (10 \times 1) + 3 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 10 + 3 + 2 = 15$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 2	Consecuencia = 15
----------------	-------------------

Riesgo Sub Sistema Transmisión

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

4.2.5.9. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Dirección (Sistema Hidráulico)

**Tabla 107**

**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 108**

**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 109**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 110**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 20,000 US\$	4
Entre 5,000 US\$ y menos de 20,000 US\$	3
Menos de 5,000 US\$	2

**Tabla 111**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sub Sistema Dirección

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 1

$$\text{Consecuencia} = (6 \times 2) + 3 + 1$$

$$\text{Consecuencia} = 12 + 3 + 1 = 14$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 14
----------------	-------------------

Riesgo Sub Sistema Dirección

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**4.2.5.10. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Levante Tolva (Sistema Hidráulico)**

**Tabla 112**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 113**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 114**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 115**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 20,000 US\$	4
Entre 5,000 US\$ y menos de 20,000 US\$	3
Menos de 5,000 US\$	2

**Tabla 116**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sub Sistema Levante de Tolva

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 4
Impacto Operacional = 15
Flexibilidad = 3
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (15 \times 3) + 3 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 45 + 3 + 2 = 50$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 4	Consecuencia = 50
----------------	-------------------

Riesgo Sub Sistema Levante Tolva

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**4.2.5.11. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Frenos de Servicio (Sistema Hidráulico)**

**Tabla 117**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 118**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 119**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 120**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 20,000 US\$	4
Entre 5,000 US\$ y menos de 20,000 US\$	3
Menos de 5,000 US\$	2

**Tabla 121**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sub Sistema Frenos de Servicio

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (6 \times 2) + 3 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 12 + 3 + 2 = 17$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 17
----------------	-------------------

Riesgo Sub Sistema Frenos de Servicio

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

4.2.5.12. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Cableado (Sistema Electrónico)

**Tabla 122**

**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 123**

**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 124**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 125**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 40,000 US\$	4
Entre 10,000 US\$ y menos de 40,000 US\$	3
Menos de 10,000 US\$	2

**Tabla 126**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sub Sistema Cableado

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 4
Impacto Operacional = 10
Flexibilidad = 1
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 5

$$\text{Consecuencia} = (10 \times 1) + 3 + 5$$

$$\text{Consecuencia} = 10 + 3 + 5 = 18$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 4	Consecuencia = 18
----------------	-------------------

Riesgo Sub Sistema Cableado

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**4.2.5.13. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Dispositivos Electrónicos  
(Sistema Electrónico)**

**Tabla 127  
Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	<b>2</b>
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 128  
Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	<b>6</b>
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 129**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 130**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 40,000 US\$	4
Entre 10,000 US\$ y menos de 40,000 US\$	3
Menos de 10,000 US\$	2

**Tabla 30**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sub Sistema Dispositivos Electrónicos

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 2
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 1
Costo de Mantenimiento = 4
Impacto SAH = 0

$$\text{Consecuencia} = (6 \times 1) + 4 + 0$$

$$\text{Consecuencia} = 6 + 4 + 0 = 10$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 2	Consecuencia = 10
----------------	-------------------

Riesgo Sub Sistema Dispositivos Electrónicos

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

#### 4.2.5.14. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Unidad de Control de Sensores (Sistema Electrónico)

**Tabla 26**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 131**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 132**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 133**  
**Costo de Mantenimiento**

Costo de Mantenimiento	Ponderación
Más de 40,000 US\$	4
Entre 10,000 US\$ y menos de 40,000 US\$	3
Menos de 10,000 US\$	2

**Tabla 134**  
**Impacto SAH**

Impacto SAH	Ponderación
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sub Sistema Unidad de Control de Sensores**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 4
Impacto Operacional = 10
Flexibilidad = 3
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (10 \times 3) + 3 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 30 + 3 + 2 = 35$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 4	Consecuencia = 35
----------------	-------------------

Riesgo Sub Sistema Unidad de Control de Sensores

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				



**4.2.5.15. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Unidad de Control de Sensor de Motor (Sistema Electrónico)**

**Tabla 135**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 136**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 137**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 138**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 40,000 US\$	4
Entre 10,000 US\$ y menos de 40,000 US\$	3
Menos de 10,000 US\$	2

**Tabla 139**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	<b>2</b>
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Sub Sistema Unidad de Control de Sensores de Motor**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (6 \times 2) + 3 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 12 + 3 + 2 = 17$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 17
----------------	-------------------

Riesgo Sub Sistema Unidad de Control de Sensores de Motor

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

Con el fin de identificar los componentes más críticos dentro del sistema evaluado, se desarrolló un modelo de factores ponderados basado en la teoría del riesgo. En este modelo, se analizaron diversos sub sistemas a partir de indicadores clave como el Índice de Ocurrencia (IO), la Frecuencia de Ocurrencia (FO), el Costo de Mantenimiento (CM), la Severidad de Afectación Humana (SAH), la Consecuencia, la Frecuencia de Falla (FF) y el nivel de Riesgo. Esta metodología permitió establecer un criterio objetivo para jerarquizar los sub sistemas según su criticidad, facilitando así la priorización de acciones correctivas o preventivas.

La tabla presenta los resultados obtenidos a partir de esta evaluación, destacando a sub sistemas como el sistema de levante de tolva, la unidad de control de sensores, la inducción forzada de aire y escape, y el sistema de lubricación de aceite, los cuales alcanzaron niveles elevados de riesgo y fueron clasificados como críticos. Esta información es esencial para enfocar los esfuerzos de mantenimiento y mejora continua en aquellos componentes cuyo fallo podría representar mayores consecuencias operativas, de seguridad o económicas. La clasificación obtenida servirá de base para la propuesta de estrategias técnicas que optimicen la confiabilidad y disponibilidad del sistema en su conjunto.

**Tabla 140**

**Tabla de modelo de factores Ponderados basados en la teoría del riesgo evaluamos los Sub Sistemas mediante la criticidad para hallar los Sub Sistemas mas críticos**

SUB - SISTEMA	IO	FO	CM	SAH	CONSECUENCIA	FF	RIESGO
Cableado	10	1	3	5	18	4	Alerta
Dispositivo Electrónico	6	1	4	0	10	2	Normal
Unidad de Control de Sensores	10	3	3	2	35	4	Critico
Unidad de Control de Sensores de Motor	6	2	3	2	17	3	Alerta
Dirección	6	2	3	1	14	3	Alerta
Levante Tolva	15	3	3	2	50	4	Critico
Frenos de Servicio	6	2	3	2	17	3	Alerta
Lubricación de Aceite	10	3	3	4	37	4	Critico
Unidad Control de Combustible	10	1	2	2	14	3	Alerta
Motor	10	3	4	0	34	3	Alerta
Inducción forzada de aire y escape	10	3	3	4	37	4	Critico
Convertidor de transmisión	10	2	2	2	24	3	Alerta
Diferencial	6	1	3	0	51	3	Critico
Mando Final	15	3	4	3	9	2	Normal
Transmisión	10	1	3	2	15	2	Normal

LEYENDA	COLOR
Critico	Critico
Alerta	Alerta
Normal	Normal

**Tabla 141**

**Tabla de modelo de factores Ponderados basados en la teoría del riesgo evaluamos los componentes mediante la criticidad para hallar los más críticos.**

COMPONENTE	IO	FO	CM	SAH	CONSECUENCIA	FF	RIESGO
Sensor Cámara de Presión	6	2	2	2	16	2	
Sensor de Velocidad	6	2	3	2	17	3	
Sensor de Agua en Combustible	6	1	3	2	11	2	
Sensor de Nivel en Combustible	6	1	2	2	10	3	
Sensor de Nivel en Refrigerante	6	2	3	2	17	1	
Sensor Presión Atmosférica	6	1	3	2	11	1	
Sensor Presión de Combustible	10	2	3	2	25	4	
Sensor Presión Riel de Combustible	10	2	3	2	25	4	
Cilindro Levante de Tolva	10	2	3	2	25	4	
Válvula Control de Levante	10	2	2	2	24	4	
Bomba Levante de Tolva	10	2	2	3	25	4	
Bomba de Aceite de Motor	10	2	4	4	28	4	
Bomba de Cebado de Lubricación	6	2	3	2	17	2	
Bomba de Pre Lubricación	10	2	3	4	25	3	
Enfriador de Aceite de Motor	6	2	2	0	14	3	
Bomba Limpieza Aceite de Motor	6	2	2	0	14	3	

Válvula Reguladora de Presión	10	2	3	5	33	4	Crítico
Aftercooler	10	2	4	4	28	4	Crítico
Turbo Cargador	15	3	3	4	52	1	Crítico
Válvula Baypas de Escape	6	1	3	0	7	4	Alerta
Colector de Admisión	6	2	2	0	14	2	Alerta
Colector de Escape	6	2	3	0	15	2	Alerta
Piñón - Corona	15	3	4	2	51	3	Crítico
Engranajes Diferenciales	15	3	3	2	50	2	Crítico
Engranajes Satelitales	6	2	3	2	17	3	Alerta
Semiejes	6	2	2	2	16	3	Alerta

LEYENDA	COLOR
Crítico	Crítico
Alerta	Alerta
Normal	Normal

### 4.3. Análisis de Modo y Efectos de Falla para el Camión Minero 797 F AMFE

Actividades propuestas para la optimización del Mantenimiento Proactivo del activo físico del Camión Minero 797 F

#### 4.3.1. Activo: Sistema Electrónico Camión Minero 797 F

**Tabla 142**  
**Componente**

AMFE: Sistema Electrónico Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de sensor de velocidad	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio		Código: 001		
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Componente: Sensor de Velocidad							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Emite señal de la velocidad de cada rueda el cual indica en el tablero del camion	Se pierde la comunicación del sensor de velocidad con las ruedas del camión, ya que cada rueda lleva un sensor de velocidad el cual tiene una calibración de señal de +/-5 %	Debido a que el sensor de velocidad es imantado y mediante ello transmite señal se encuentran expuestos al ambiente el cual afecta a que el imán no transmita buena señal por el polvo y/o lluvia.	<p><b>Efecto:</b> Se genera cuando no hay comunicación. empieza a bajar la potencia del camión aun acelerando cada rueda gira a distinta velocidad</p> <p><b>Consecuencia:</b> El operador no tiene control de la aceleración pareja de las 4 llantas y por ende pierde potencia el camión</p>	Mantenimiento Predictivo - Inspección Visual	Se procede con la limpieza del sensor con un paños se limpia y se verifica que la punta de zona de contacto este limpia y sin golpes luego se mide la holgura para ver el calibre del imán, ya que necesitan una distancia de tolerancia para que puedan enviar la señal la cual se regula, luego se mide con un multímetro verificando continuidad, resistencia, corto a tierra, se procede a probar el equipo.	Cada PM de 1000 Horas, va a depender del historial del componente	01 técnico 01 hora

AMFE: Sistema Electrónico Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Sensor de nivel en combustible	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio	Código: 002			
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Componente: Sensor de nivel en combustible							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Se encarga de medir el nivel de combustible el cual marca en el tablero del camión	El operador no puede visualizar el nivel de combustible Se muestra un testigo en el panel de control de alarma Se pierde potencia Se apaga el equipo solo	Por temas eléctricos del sensor, o temas de abastecimiento del combustible	<b>Efecto:</b> No se puede visualizar que en el camión cuantos km puede recorrer, <b>Consecuencia:</b> el sensor se puede malograr, y puede quedarse varado ya que no le da el aviso al operador de que el camión no tiene combustible	Inspección visual, limpieza eléctrica	Se acumula humedad y corrosión en el componente eléctrico, se hace limpieza con un lijador fino en los pines hembra y macho para que tenga un buen contacto, ahora también se utiliza un multímetro para ver si tiene pérdida de señal.	Se realiza en cada PM de 50 Hrs	01 técnico 01 hora

AMFE: Sistema Electrónico Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Sensor presión de combustible	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio	Código: 003			
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Componente: Sensor presión de combustible							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Se encarga de marcar en el tablero la presión de combustible mediante información que envía la bomba mediante presión	Cuando no hay presión el sistema pierde potencia, afecta al motor Diesel directamente	La causa de la falla viene por temas eléctricos, por la contaminación al tener contacto con el agua entonces el componente se descalibra ya que es un componente cerrado debido a la humedad y lluvia a pesar que tienen un filtro pero no regula completamente	<b>Efecto:</b> Mala lectura en los parámetros del motor el cual genera perdida de potencia <b>Consecuencia:</b> No hay una buena combustión debido a que no hay la suficiente inyección de gasolina y hay perdida de potencia con contaminación humo negro	Inspección visual y limpieza	Se verifica que los pines no estén rotos golpeados que tengan buena sujeción, se utiliza un spray dieléctrico para limpiar las imperfecciones	Se realiza en cada PM de 50 Hrs	01 técnico 01 hora

AMFE: Sistema Electrónico Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Sensor presión riel de combustible	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio	Código: 004			
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Componente: Sensor presión riel de combustible							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función ) b	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Capta la presión de combustible que hay en el riel el cual manda información a la computadora	Cuando no hay presión el sistema pierde potencia, afecta al motor Diesel directamente solo que en este caso se ve afectado el riel de combustible	Por contaminación y por tema eléctrico de sobre voltaje, ya que con problemas eléctricos se realiza con el camión energizado, cuando uno conecta un dispositivo al sensor se puede ver afectado al multímetro, pero existen herramientas específicas del fabricante que evitan el sobre voltaje	Efecto: Puede generar que a falta de presión en el riel, el riel se rompa <b>Consecuencia:</b> Manda una alarma de baja presión y pierde potencia el equipo	Se realiza inspección visual a los conectores	Limpieza e inspección	Cada 50 Hrs Pm Cada 50 Hrs Pm	01 técnico 01 hora

#### 4.3.2. Activo : Sistema Hidráulico Camión Minero 797 F

AMFE: Sistema Hidráulico camión Minero 797							
Nombre del proceso	Revisión de Cilindro levante de tolva	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio	Código: 005			
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Activo: Cilindro levante de tolva							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Permite dar recorrido el cilindro al vástago para levantar la tolva y poder descargar mineral de igual forma retraer la tolva	No permite levantar el mineral de la tolva, por ende no puede descargar mineral	Por el tema eléctrico debido a la contaminación y perdida de voltaje de alimentación y voltaje de señal de retorno, por tema de bomba fallas internas, verificando filtros si se encuentran partículas, si la bomba esta bien se regula el sistema	<b>Efecto:</b> No permite levantar la carga, ya que el operador acciona la palanca en la cabina del operador y no levanta <b>Consecuencia:</b> Genera fallas hidráulicas internas en la bombas en la línea hidráulica y en las válvulas de control	Mantenimiento preventivo Mantenimiento Preventivo	Se verifica sistema eléctrico Se verifica la bomba Se verifica filtros de levante, en donde los filtros se cambian si o si	Mantenimiento 500 horas cada PM	01 técnico 2 horas

AMFE: Sistema Hidráulico Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Válvula Control de levante	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio	Código: 006			
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Activo: Válvula Control de levante							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Se encarga de controlar el accionamiento de levante de la tolva	El operador cuando sube la palanca para que la tolva se levante, no hay control de subida y bajada de la tolva	Por contaminación interna del aceite hidráulico por el temas de la pureza del aceite de todo el sistema que afecta y produce desgaste interno	<b>Efecto:</b> El operador no tiene control de la tolva <b>Consecuencia:</b> El operador no puede cumplir con las horas de trabajo ya que el camión no puede cargar ni descargar material	Mantenimiento análisis predictivo	Se cambio filtros de levante y se toma análisis de aceite	Cada 250 Horas	01 técnico 02 horas

4.3.3. Activo : Sistema Unidad de Potencia Camión Minero 797 F

Tabla 143

Activo : Sistema Unidad de Potencia Camión Minero 797 F

AMFE: Sistema Hidráulico Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de <b>Bomba levante de tolva</b>	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio	Código: 007			
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Activo: Bomba levante de tolva							
Función	Falla Funcional (Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Se encarga de suministrar lubricación al sistema de levante	El sistema de levante y enfriamiento de frenos no funcionan, debido a la falta de lubricación de la bomba.	Falla interna de la bomba hidráulica	Efecto: Deterioro de los componentes del sistema de Levante Consecuencia: Daños en la rejilla de levante.	Mantenimiento análisis predictivo	Se inspecciona a que la bomba tenga la debida presión adecuada para lubricar el sistema	Cada 500 Horas	01 técnico 02 horas

AMFE: Sistema Hidráulico Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Bomba de Aceite de Motor	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio		Código: 008		
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Activo: Bomba de Aceite de Motor							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Generar flujo de aceite para el sistema de lubricación	Sistema sin lubricación	Desgaste de estriado impulsor	Desgaste de componentes por falta de lubricación	Aplicar la mejora recomendada por fábrica	Verificar el estado del impulsor, presión de aceite y asegurar cumplimiento de las recomendaciones del fabricante	Cada 250 Horas	01 técnico 02 horas

AMFE: Sistema Hidráulico Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Bomba de Cebado de Lubricación	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio		Código: 009		
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Activo: Bomba de Cebado de Lubricacion							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Suministrar combustible a la bomba de alta presión y purgar el aire posterior	Bomba de alta presión sin suministro de combustible y aire en el sistema	Sin voltaje de suministro por falla en el circuito eléctrico, motor eléctrico se quema	El motor no logra encender debido a la falta de suministro de combustible hacia la bomba de alta presión, lo que impide generar la presión requerida en el sistema. Esto puede causar paradas no programadas, pérdida de productividad y posibles daños en el sistema de inyección.	Determinar el tiempo de vida	Suministrar combustible a la bomba de alta presión y purgar el aire posterior	Cada 250 Horas	01 técnico 02 horas

AMFE: Sistema Hidráulico Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Bomba de Pre Lubricación	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio	Código: 010			
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Activo: Bomba de Pre Lubricación							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Lubricar las partes internas del motor antes del arranque	Sistema con escasa o sin lubricación antes y durante el arranque	Motor eléctrico se quema por falla de rodaje	Reducción de la vida en servicio de los principales componentes del motor	Asegurar el correcto funcionamiento y el operador no anule el sistema antes del arranque	Se inspecciona que la bomba tenga la debida presión adecuada para lubricar el sistema	Cada 250 Horas	01 técnico 02 horas

**Nota: Tomado de Martínez, F., & Pérez, O. (2017).**

AMFE: Sistema Hidráulico Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Enfriador de Aceite de Motor	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio		Código: 011		
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Activo: Enfriador de Aceite de Motor							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Mantener la temperatura del aceite en rango de operación normal	Temperatura alta del aceite motor	Taponamiento de conductos de refrigerante, contaminación de sistema de refrigerante y aceite motor por falla interna	Reducción de la vida en servicio de los principales componentes del motor	Monitoreo de tendencias de T° de aceite motor	Verificar periódicamente la temperatura del aceite y revisar posibles obstrucciones en el sistema de refrigeración	Cada 250 Horas	01 técnico 02 horas

**Nota: Tomado de Martínez, F., & Pérez, O. (2017).**

AMFE: Sistema Hidráulico Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Bomba Limpieza Aceite de Motor		Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio		Código: 012	
Fecha AMFE inicial	30/09/25		Lugar:	TruckShop			
Activo: Bomba Limpieza Aceite de Motor							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Transferir el aceite motor desde el Carter posterior al Carter delantero en pendientes positivas	Sistema con escasa o sin lubricación	Pernos de anclaje rotos	Fallas en los engranajes de distribución delantera y/o daños en los componentes internos por escasa lubricación	Aplicar la mejora recomendada por fabrica, inspeccionar pernos de anclaje en los PMS	Revisar estado y ajuste de pernos de anclaje y verificar el correcto funcionamiento del sistema de limpieza de aceite	Cada 500 Horas	01 técnico 02 horas

**Nota: Tomado de Martínez, F., & Pérez, O. (2017).**

AMFE: Sistema Unidad de Potencia Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Sensor de nivel en combustible	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio	Código: 013			
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Componente: Válvula reguladora de presión de aceite							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Controla al presión dentro del sistema de lubricación	Va a marcar una baja presión de aceite de motor en el sistema	Por deterioro de material, los resortes se llegan a vencer y por eso se genera una baja presión, baja presión en el sistema de lubricación del motor	<b>Efecto:</b> Daño de componente por baja lubricación <b>Consecuencia:</b> Falla catastrófica puede pasar que el motor se rompa por falta de presión de lubricación ya que hay un desgaste de metales en el cigüeñal el cual genera rotura de motor	Inspección visual	Se mide la altura del resorte y la regulación se realiza aumentándol e Shiem	5000 HRS	02 técnicos 4 horas

AMFE: Sistema Unidad de Potencia Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Sensor de nivel en combustible	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio	Código: 014			
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Componente: Aftercooler							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Reducir el calor producido por la compresión y la fricción cargada del aire	Cuando hay falla Habrá contaminación del aceite con el refrigerante	Por deterioro del material, abrazaderas, mangueras, y sellos	<p><b>Efecto:</b> Contaminación de fluidos ingresa refrigerante con aceite a diferente presión</p> <p><b>Consecuencia:</b> Dilución de aditivos el cual genera desgaste prematuros de componentes el cual también afecte a los metales de bancada y generar indisponibilidad del motor</p>	Inspección visual	Se revisa las mangueras y abrazaderas	500 horas	01 técnicos 02 horas

AMFE: Sistema Hidráulico Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Turbo cargador	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio	Código: 015			
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Activo: Turbo cargador							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Introduce aire a presión en los cilindros	No desplaza suficiente aire a los cilindros de combustión	Eje roto lado turbina	Apagado del motor por el operador antes de falla catastrófica del mismo por traba o incendio	Reemplazar los turbos a las horas recomendadas por el fabricante	Se inspecciona que la bomba tenga la debida presión adecuada para lubricar el sistema	Cada 500 Horas	01 técnico 02 horas

**Nota: Tomado de Martínez, F., & Pérez, O. (2017).**

AMFE: Sistema Hidráulico Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Válvula Baypas de Escape	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio	Código: 016			
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Activo: Valvula Baypas de Escape							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Regula qué cantidad de presión de refuerzo entra al sistema de admisión	Desplaza excesivo o insuficiente aire a los cilindros de combustión	Vástago roto, fugas de aire, atascamiento interno de sus mecanismos	Alta presión de admisión, temperatura elevada de escape y/o pérdida de potencia	Aplicar las mejoras de fábrica y determinar la vida del componente	Inspeccionar estado de la válvula y sus conexiones, revisar funcionamiento del vástago y detectar posibles obstrucciones o fugas	Cada 500 Horas	01 técnico 02 horas

**Nota: Tomado de Martínez, F., & Pérez, O. (2017).**

AMFE: Sistema Hidráulico Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Colector de Admisión	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio		Código: 017		
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Activo: Colector de Admisión							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Direccionar aire a presión a las culatas y cilindros	Insuficiente aire a los cilindros de combustión	Fugas por sellos o perforaciones	Temperaturas elevadas y/o pérdidas de potencia	Monitorear las tendencias de presión de refuerzo	Inspeccionar el colector de admisión durante los mantenimientos, verificando presión, estado de los sellos y posibles fugas visibles	Cada 500 Horas	01 técnico 02 horas

**Nota: Tomado de Martínez, F., & Pérez, O. (2017).**

AMFE: Sistema Hidráulico Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Colector de Escape	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio		Código: 018		
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Activo: Colector de Escape							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Direccionar gases de escape desde las culatas al resto del sistema de escape	No desplaza suficiente gases a los turbos	Fugas por abrazaderas o perforaciones en el mismo	Temperaturas elevadas y/o pérdidas de potencia	Monitorear las tendencias de presión de refuerzo y temperaturas de escape	Revisar el estado del colector y sus uniones, inspeccionando posibles fugas, deformaciones o daños visibles en las abrazaderas	Cada 500 Horas	01 técnico 02 horas

**Nota: Tomado de Martínez, F., & Pérez, O. (2017).**

4.3.4. Activo : Sistema Tren de Fuerza Camión Minero 797 F

Tabla 144

Activo: Sistema Tren de Fuerza Camión Minero 797 F

AMFE: Sistema Tren de Fuerza Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Sensor de nivel en combustible	Preparado por:		Cuba Nuñez, Luis Mauricio		Código: 019	
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:		TruckShop			
Componente: Piñon - Corona							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Permite la transferencia eficiente de energía y movimiento, transformando la velocidad y el par motor de manera precisa.	No hay fuerza transmitida de la transmisión, se genera golpeteo con sonido extraño en el diferencial.	Baja lubricación y temperatura alta generada por aceite que no es cambiado en los PM el cual contiene partículas contaminantes y generan una deformación del piñón – corona	Efecto: Desgaste prematuro del componente Consecuencia: Rotura del componente, rotura de dientes en la corona y semiejes.	Mantenimiento preventivo	Se realiza el cambio de aceite de diferencial y regulación de corona	2000 Horas	02 técnicos 02 horas

AMFE: Sistema Tren de Fuerza Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Sensor de nivel en combustible	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio	Código: 020			
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Componente: Engranaje Diferencial							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Se utiliza para distribuir el par de un solo eje para dos o más ejes.	El camión pierde tracción por ende pierde fuerza lo que genera que no tenga movimiento	Contaminación de aceite, aceites no indicados por fabricante, lo que genera alta temperatura por la perdida de propiedades lo cual conlleva a un desgaste acelerado del componente	Efecto: Rotura del engranaje desgaste prematuro componente Consecuencia: Perdida de tracción del camión	Mantenimiento preventivo	Cambio de aceite medición de juego axial de corona de 0.5 a 0.8 mm de rango valores normales si pasan esos valores necesita un ajuste	2000 Horas	02 técnicos 02 horas

AMFE: Sistema Tren de Fuerza Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Engranaje Satelital	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio	Código: 021			
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Componente: Engranaje Satelital							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Cumplen la función de aumentar y transmitir el par motor	Si se rompe un eje del diferencial produce que se rompa el eje del engranaje satelital	Por el tipo de material aleación no indicada por fabricante y contaminación de aceite, exceso de temperatura el cual daña el componente.	Efecto: Desprendimiento de material por alta temperatura Consecuencia: Daño catastrófico al sistema de propulsión del camión minero	Mantenimiento preventivo	Cambio de aceite y juego axial de corona de 0.5 a 0.8 mm de rango si pasan esos valores necesita un ajuste	5000 horas	01 técnico 01 hora

AMFE: Sistema Hidráulico Camión Minero 797 F							
Nombre del proceso	Revisión de Semiejes	Preparado por:	Cuba Nuñez, Luis Mauricio		Código: 022		
Fecha AMFE inicial	30/09/25	Lugar:	TruckShop				
Activo: Semiejes							
Función	Falla Funcional ( Pérdida de la Función )	Modo de Falla ( Causa de la Falla )	Efecto y Consecuencia de la Falla	Tipo de Mantenimiento	Actividad	Frecuencia	Técnicos
Transmitir la fuerza desde el diferencial hacia los mandos finales	Camión sin tracción	Eje roto	Daños en el diferencial y mando final	Reemplazar según la recomendación de fábrica	Inspeccionar visualmente el semieje en los mantenimientos preventivos, verificando fisuras, ruidos y holguras	Cada 350 Horas	01 técnico 02 horas

#### 4.4. Plan de mantenimiento proactivo para el Camión Minero 797 F

En este plan de mantenimiento proactivo se están considerando los componentes críticos que fueron evaluados mediante criticidad, los cuales se proponen para mejorar la disponibilidad del Camión Minero 797 F, cabe resaltar que el PM1 ahora es de 230 horas y los demás PM se mantiene en los rangos en horas establecidos anteriormente.

**Tabla 145**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Sensor de Velocidad**

Componente:	Sensor de Velocidad	
Actividad:	Limpieza, medición de holgura y verificación eléctrica	
Frecuencia (Horas):	1000	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	43	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
1000	43	12/10/2024
2000	86	24/11/2024
3000	129	06/01/2025
4000	172	18/02/2025
5000	215	02/04/2025
6000	258	15/05/2025
7000	301	27/06/2025
8000	344	09/08/2025
9000	387	21/09/2025
10000	430	03/11/2025
11000	473	16/12/2025
12000	516	28/01/2026
13000	559	12/03/2026

14000	602	24/04/2026
15000	645	06/06/2026
16000	688	19/07/2026
17000	731	31/08/2026



**Tabla 146**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Sensor de nivel en combustible**

Componente:	Sensor de nivel en combustible	
Actividad:	Limpieza de pines y verificación de señal con multímetro	
Frecuencia (Horas):	230	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	2	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
230	230	9/09/2024
460	460	19/09/2024
690	690	29/09/2024
920	920	9/10/2024
1150	1150	19/10/2024
1380	1380	29/10/2024
1610	1610	8/11/2024
1840	1840	18/11/2024
2070	2070	28/11/2024
2300	2300	8/12/2024
2530	2530	18/12/2024
2760	2760	28/12/2024
2990	2990	7/01/2025
3220	3220	17/01/2025
3450	3450	27/01/2025
3680	3680	6/02/2025
3910	3910	16/02/2025
4140	4140	26/02/2025
4370	4370	8/03/2025

4600	4600	18/03/2025
4830	4830	28/03/2025
5060	5060	7/04/2025
5290	5290	17/04/2025
5520	5520	27/04/2025
5750	5750	7/05/2025
5980	5980	17/05/2025
6210	6210	27/05/2025
6440	6440	6/06/2025
6670	6670	16/06/2025
6900	6900	26/06/2025
7130	7130	6/07/2025
7360	7360	16/07/2025
7590	7590	26/07/2025
7820	7820	5/08/2025
8050	8050	15/08/2025
8280	8280	25/08/2025
8510	8510	4/09/2025
8740	8740	14/09/2025
8970	8970	24/09/2025
9200	9200	4/10/2025
9430	9430	14/10/2025
9660	9660	24/10/2025
9890	9890	3/11/2025
10120	10120	13/11/2025
10350	10350	23/11/2025
10580	10580	3/12/2025
10810	10810	13/12/2025
11040	11040	23/12/2025

11270	11270	2/01/2026
11500	11500	12/01/2026
11730	11730	22/01/2026
11960	11960	1/02/2026
12190	12190	11/02/2026
12420	12420	21/02/2026
12650	12650	3/03/2026
12880	12880	13/03/2026
13110	13110	23/03/2026
13340	13340	2/04/2026
13570	13570	12/04/2026
13800	13800	22/04/2026
14030	14030	2/05/2026
14260	14260	12/05/2026
14490	14490	22/05/2026
14720	14720	1/06/2026
14950	14950	11/06/2026
15180	15180	21/06/2026
15410	15410	1/07/2026
15640	15640	11/07/2026
15870	15870	21/07/2026
16100	16100	31/07/2026
16330	16330	10/08/2026
16560	16560	20/08/2026
16790	16790	30/08/2026

**Tabla 147**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Sensor presión de combustible en la bomba**

Componente:	Sensor presión de combustible en la bomba	
Actividad:	Inspección de pines y limpieza con spray dieléctrico	
Frecuencia (Horas):	230	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	2	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
230	230	9/09/2024
460	460	19/09/2024
690	690	29/09/2024
920	920	9/10/2024
1150	1150	19/10/2024
1380	1380	29/10/2024
1610	1610	8/11/2024
1840	1840	18/11/2024
2070	2070	28/11/2024
2300	2300	8/12/2024
2530	2530	18/12/2024
2760	2760	28/12/2024
2990	2990	7/01/2025
3220	3220	17/01/2025
3450	3450	27/01/2025
3680	3680	6/02/2025
3910	3910	16/02/2025
4140	4140	26/02/2025
4370	4370	8/03/2025

4600	4600	18/03/2025
4830	4830	28/03/2025
5060	5060	7/04/2025
5290	5290	17/04/2025
5520	5520	27/04/2025
5750	5750	7/05/2025
5980	5980	17/05/2025
6210	6210	27/05/2025
6440	6440	6/06/2025
6670	6670	16/06/2025
6900	6900	26/06/2025
7130	7130	6/07/2025
7360	7360	16/07/2025
7590	7590	26/07/2025
7820	7820	5/08/2025
8050	8050	15/08/2025
8280	8280	25/08/2025
8510	8510	4/09/2025
8740	8740	14/09/2025
8970	8970	24/09/2025
9200	9200	4/10/2025
9430	9430	14/10/2025
9660	9660	24/10/2025
9890	9890	3/11/2025
10120	10120	13/11/2025
10350	10350	23/11/2025
10580	10580	3/12/2025
10810	10810	13/12/2025
11040	11040	23/12/2025

11270	11270	2/01/2026
11500	11500	12/01/2026
11730	11730	22/01/2026
11960	11960	1/02/2026
12190	12190	11/02/2026
12420	12420	21/02/2026
12650	12650	3/03/2026
12880	12880	13/03/2026
13110	13110	23/03/2026
13340	13340	2/04/2026
13570	13570	12/04/2026
13800	13800	22/04/2026
14030	14030	2/05/2026
14260	14260	12/05/2026
14490	14490	22/05/2026
14720	14720	1/06/2026
14950	14950	11/06/2026
15180	15180	21/06/2026
15410	15410	1/07/2026
15640	15640	11/07/2026
15870	15870	21/07/2026
16100	16100	31/07/2026
16330	16330	10/08/2026
16560	16560	20/08/2026
16790	16790	30/08/2026

**Tabla 148**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Sensor presión riel de combustible**

Componente:	Sensor presión riel de combustible	
Actividad:	Inspección y limpieza de conectores	
Frecuencia (Horas):	230	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	2	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
230	230	9/09/2024
460	460	19/09/2024
690	690	29/09/2024
920	920	9/10/2024
1150	1150	19/10/2024
1380	1380	29/10/2024
1610	1610	8/11/2024
1840	1840	18/11/2024
2070	2070	28/11/2024
2300	2300	8/12/2024
2530	2530	18/12/2024
2760	2760	28/12/2024
2990	2990	7/01/2025
3220	3220	17/01/2025
3450	3450	27/01/2025
3680	3680	6/02/2025
3910	3910	16/02/2025
4140	4140	26/02/2025
4370	4370	8/03/2025

4600	4600	18/03/2025
4830	4830	28/03/2025
5060	5060	7/04/2025
5290	5290	17/04/2025
5520	5520	27/04/2025
5750	5750	7/05/2025
5980	5980	17/05/2025
6210	6210	27/05/2025
6440	6440	6/06/2025
6670	6670	16/06/2025
6900	6900	26/06/2025
7130	7130	6/07/2025
7360	7360	16/07/2025
7590	7590	26/07/2025
7820	7820	5/08/2025
8050	8050	15/08/2025
8280	8280	25/08/2025
8510	8510	4/09/2025
8740	8740	14/09/2025
8970	8970	24/09/2025
9200	9200	4/10/2025
9430	9430	14/10/2025
9660	9660	24/10/2025
9890	9890	3/11/2025
10120	10120	13/11/2025
10350	10350	23/11/2025
10580	10580	3/12/2025
10810	10810	13/12/2025
11040	11040	23/12/2025

11270	11270	2/01/2026
11500	11500	12/01/2026
11730	11730	22/01/2026
11960	11960	1/02/2026
12190	12190	11/02/2026
12420	12420	21/02/2026
12650	12650	3/03/2026
12880	12880	13/03/2026
13110	13110	23/03/2026
13340	13340	2/04/2026
13570	13570	12/04/2026
13800	13800	22/04/2026
14030	14030	2/05/2026
14260	14260	12/05/2026
14490	14490	22/05/2026
14720	14720	1/06/2026
14950	14950	11/06/2026
15180	15180	21/06/2026
15410	15410	1/07/2026
15640	15640	11/07/2026
15870	15870	21/07/2026
16100	16100	31/07/2026
16330	16330	10/08/2026
16560	16560	20/08/2026
16790	16790	30/08/2026

**Tabla 149**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Cilindro levante de tolva**

Componente:	Cilindro levante de tolva	
Actividad:	Verificación eléctrica, bomba y cambio de filtros	
Frecuencia (Horas):	230	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	2	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
230	230	9/09/2024
460	460	19/09/2024
690	690	29/09/2024
920	920	9/10/2024
1150	1150	19/10/2024
1380	1380	29/10/2024
1610	1610	8/11/2024
1840	1840	18/11/2024
2070	2070	28/11/2024
2300	2300	8/12/2024
2530	2530	18/12/2024
2760	2760	28/12/2024
2990	2990	7/01/2025
3220	3220	17/01/2025
3450	3450	27/01/2025
3680	3680	6/02/2025
3910	3910	16/02/2025
4140	4140	26/02/2025
4370	4370	8/03/2025

4600	4600	18/03/2025
4830	4830	28/03/2025
5060	5060	7/04/2025
5290	5290	17/04/2025
5520	5520	27/04/2025
5750	5750	7/05/2025
5980	5980	17/05/2025
6210	6210	27/05/2025
6440	6440	6/06/2025
6670	6670	16/06/2025
6900	6900	26/06/2025
7130	7130	6/07/2025
7360	7360	16/07/2025
7590	7590	26/07/2025
7820	7820	5/08/2025
8050	8050	15/08/2025
8280	8280	25/08/2025
8510	8510	4/09/2025
8740	8740	14/09/2025
8970	8970	24/09/2025
9200	9200	4/10/2025
9430	9430	14/10/2025
9660	9660	24/10/2025
9890	9890	3/11/2025
10120	10120	13/11/2025
10350	10350	23/11/2025
10580	10580	3/12/2025
10810	10810	13/12/2025
11040	11040	23/12/2025

11270	11270	2/01/2026
11500	11500	12/01/2026
11730	11730	22/01/2026
11960	11960	1/02/2026
12190	12190	11/02/2026
12420	12420	21/02/2026
12650	12650	3/03/2026
12880	12880	13/03/2026
13110	13110	23/03/2026
13340	13340	2/04/2026
13570	13570	12/04/2026
13800	13800	22/04/2026
14030	14030	2/05/2026
14260	14260	12/05/2026
14490	14490	22/05/2026
14720	14720	1/06/2026
14950	14950	11/06/2026
15180	15180	21/06/2026
15410	15410	1/07/2026
15640	15640	11/07/2026
15870	15870	21/07/2026
16100	16100	31/07/2026
16330	16330	10/08/2026
16560	16560	20/08/2026
16790	16790	30/08/2026

**Tabla 150**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Válvula Control de levante**

Componente:	Válvula Control de levante	
Actividad:	Cambio de filtros y análisis de aceite	
Frecuencia (Horas):	230	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	11	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
230	230	9/09/2024
460	460	19/09/2024
690	690	29/09/2024
920	920	9/10/2024
1150	1150	19/10/2024
1380	1380	29/10/2024
1610	1610	8/11/2024
1840	1840	18/11/2024
2070	2070	28/11/2024
2300	2300	8/12/2024
2530	2530	18/12/2024
2760	2760	28/12/2024
2990	2990	7/01/2025
3220	3220	17/01/2025
3450	3450	27/01/2025
3680	3680	6/02/2025
3910	3910	16/02/2025
4140	4140	26/02/2025
4370	4370	8/03/2025

4600	4600	18/03/2025
4830	4830	28/03/2025
5060	5060	7/04/2025
5290	5290	17/04/2025
5520	5520	27/04/2025
5750	5750	7/05/2025
5980	5980	17/05/2025
6210	6210	27/05/2025
6440	6440	6/06/2025
6670	6670	16/06/2025
6900	6900	26/06/2025
7130	7130	6/07/2025
7360	7360	16/07/2025
7590	7590	26/07/2025
7820	7820	5/08/2025
8050	8050	15/08/2025
8280	8280	25/08/2025
8510	8510	4/09/2025
8740	8740	14/09/2025
8970	8970	24/09/2025
9200	9200	4/10/2025
9430	9430	14/10/2025
9660	9660	24/10/2025
9890	9890	3/11/2025
10120	10120	13/11/2025
10350	10350	23/11/2025
10580	10580	3/12/2025
10810	10810	13/12/2025
11040	11040	23/12/2025

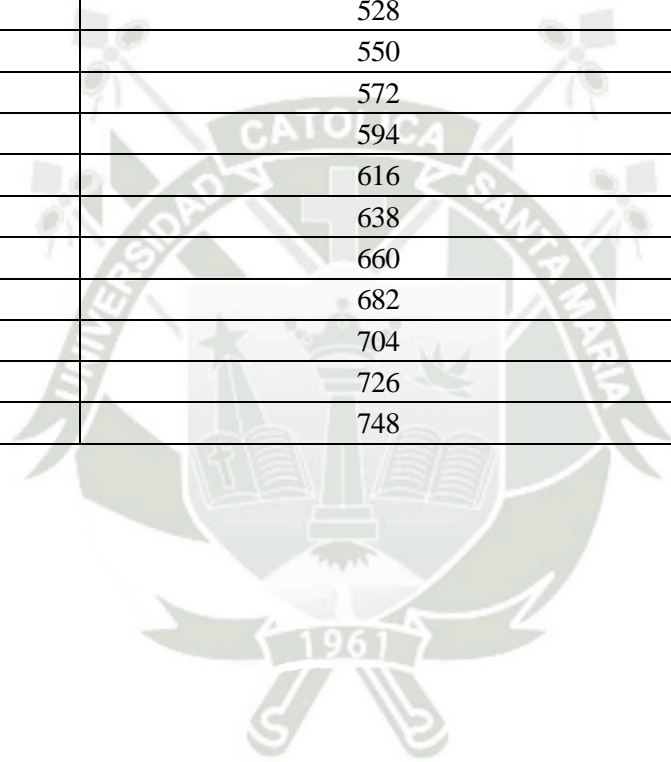
11270	11270	2/01/2026
11500	11500	12/01/2026
11730	11730	22/01/2026
11960	11960	1/02/2026
12190	12190	11/02/2026
12420	12420	21/02/2026
12650	12650	3/03/2026
12880	12880	13/03/2026
13110	13110	23/03/2026
13340	13340	2/04/2026
13570	13570	12/04/2026
13800	13800	22/04/2026
14030	14030	2/05/2026
14260	14260	12/05/2026
14490	14490	22/05/2026
14720	14720	1/06/2026
14950	14950	11/06/2026
15180	15180	21/06/2026
15410	15410	1/07/2026
15640	15640	11/07/2026
15870	15870	21/07/2026
16100	16100	31/07/2026
16330	16330	10/08/2026
16560	16560	20/08/2026
16790	16790	30/08/2026

**Tabla 151**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Bomba levante de tolva**

Componente:	Bomba levante de tolva	
Actividad:	Inspección presión adecuada para lubricar	
Frecuencia (Horas):	500	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	22	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
500	22	21/09/2024
1000	44	13/10/2024
1500	66	04/11/2024
2000	88	26/11/2024
2500	110	18/12/2024
3000	132	09/01/2025
3500	154	31/01/2025
4000	176	22/02/2025
4500	198	16/03/2025
5000	220	07/04/2025
5500	242	29/04/2025
6000	264	21/05/2025
6500	286	12/06/2025
7000	308	04/07/2025
7500	330	26/07/2025
8000	352	17/08/2025
8500	374	08/09/2025
9000	396	30/09/2025
9500	418	22/10/2025

10000	440	13/11/2025
10500	462	05/12/2025
11000	484	27/12/2025
11500	506	18/01/2026
12000	528	09/02/2026
12500	550	03/03/2026
13000	572	25/03/2026
13500	594	16/04/2026
14000	616	08/05/2026
14500	638	30/05/2026
15000	660	21/06/2026
15500	682	13/07/2026
16000	704	04/08/2026
16500	726	26/08/2026
17000	748	17/09/2026



**Tabla 152**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Bomba de Aceite de Motor**

Componente:	Bomba de Aceite de Motor	
Actividad:	Verificar estado impulsor y presión	
Frecuencia (Horas):	250	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	11	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
250	11	10/09/2024
500	22	21/09/2024
750	33	02/10/2024
1000	44	13/10/2024
1250	55	24/10/2024
1500	66	04/11/2024
1750	77	15/11/2024
2000	88	26/11/2024
2250	99	07/12/2024
2500	110	18/12/2024
2750	121	29/12/2024
3000	132	09/01/2025
3250	143	20/01/2025
3500	154	31/01/2025
3750	165	11/02/2025
4000	176	22/02/2025
4250	187	05/03/2025
4500	198	16/03/2025
4750	209	27/03/2025

5000	220	07/04/2025
5250	231	18/04/2025
5500	242	29/04/2025
5750	253	10/05/2025
6000	264	21/05/2025
6250	275	01/06/2025
6500	286	12/06/2025
6750	297	23/06/2025
7000	308	04/07/2025
7250	319	15/07/2025
7500	330	26/07/2025
7750	341	06/08/2025
8000	352	17/08/2025
8250	363	28/08/2025
8500	374	08/09/2025
8750	385	19/09/2025
9000	396	30/09/2025
9250	407	11/10/2025
9500	418	22/10/2025
9750	429	02/11/2025
10000	440	13/11/2025
10250	451	24/11/2025
10500	462	05/12/2025
10750	473	16/12/2025
11000	484	27/12/2025
11250	495	07/01/2026
11500	506	18/01/2026
11750	517	29/01/2026
12000	528	09/02/2026

12250	539	20/02/2026
12500	550	03/03/2026
12750	561	14/03/2026
13000	572	25/03/2026
13250	583	05/04/2026
13500	594	16/04/2026
13750	605	27/04/2026
14000	616	08/05/2026
14250	627	19/05/2026
14500	638	30/05/2026
14750	649	10/06/2026
15000	660	21/06/2026
15250	671	02/07/2026
15500	682	13/07/2026
15750	693	24/07/2026
16000	704	04/08/2026
16250	715	15/08/2026
16500	726	26/08/2026
16750	737	06/09/2026

**Tabla 153**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Bomba de Cebado de Lubricación**

Componente:	Bomba de Cebado de Lubricación	
Actividad:	Suministrar y purgar aire	
Frecuencia (Horas):	250	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	11	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
250	11	10/09/2024
500	22	21/09/2024
750	33	02/10/2024
1000	44	13/10/2024
1250	55	24/10/2024
1500	66	04/11/2024
1750	77	15/11/2024
2000	88	26/11/2024
2250	99	07/12/2024
2500	110	18/12/2024
2750	121	29/12/2024
3000	132	09/01/2025
3250	143	20/01/2025
3500	154	31/01/2025
3750	165	11/02/2025
4000	176	22/02/2025
4250	187	05/03/2025
4500	198	16/03/2025
4750	209	27/03/2025

5000	220	07/04/2025
5250	231	18/04/2025
5500	242	29/04/2025
5750	253	10/05/2025
6000	264	21/05/2025
6250	275	01/06/2025
6500	286	12/06/2025
6750	297	23/06/2025
7000	308	04/07/2025
7250	319	15/07/2025
7500	330	26/07/2025
7750	341	06/08/2025
8000	352	17/08/2025
8250	363	28/08/2025
8500	374	08/09/2025
8750	385	19/09/2025
9000	396	30/09/2025
9250	407	11/10/2025
9500	418	22/10/2025
9750	429	02/11/2025
10000	440	13/11/2025
10250	451	24/11/2025
10500	462	05/12/2025
10750	473	16/12/2025
11000	484	27/12/2025
11250	495	07/01/2026
11500	506	18/01/2026
11750	517	29/01/2026
12000	528	09/02/2026

12250	539	20/02/2026
12500	550	03/03/2026
12750	561	14/03/2026
13000	572	25/03/2026
13250	583	05/04/2026
13500	594	16/04/2026
13750	605	27/04/2026
14000	616	08/05/2026
14250	627	19/05/2026
14500	638	30/05/2026
14750	649	10/06/2026
15000	660	21/06/2026
15250	671	02/07/2026
15500	682	13/07/2026
15750	693	24/07/2026
16000	704	04/08/2026
16250	715	15/08/2026
16500	726	26/08/2026
16750	737	06/09/2026

**Tabla 154**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Bomba de Pre Lubricación**

Componente:	Bomba de Pre Lubricación	
Actividad:	Verificar presión antes del arranque	
Frecuencia (Horas):	250	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	11	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
250	11	10/09/2024
500	22	21/09/2024
750	33	02/10/2024
1000	44	13/10/2024
1250	55	24/10/2024
1500	66	04/11/2024
1750	77	15/11/2024
2000	88	26/11/2024
2250	99	07/12/2024
2500	110	18/12/2024
2750	121	29/12/2024
3000	132	09/01/2025
3250	143	20/01/2025
3500	154	31/01/2025
3750	165	11/02/2025
4000	176	22/02/2025
4250	187	05/03/2025
4500	198	16/03/2025
4750	209	27/03/2025

5000	220	07/04/2025
5250	231	18/04/2025
5500	242	29/04/2025
5750	253	10/05/2025
6000	264	21/05/2025
6250	275	01/06/2025
6500	286	12/06/2025
6750	297	23/06/2025
7000	308	04/07/2025
7250	319	15/07/2025
7500	330	26/07/2025
7750	341	06/08/2025
8000	352	17/08/2025
8250	363	28/08/2025
8500	374	08/09/2025
8750	385	19/09/2025
9000	396	30/09/2025
9250	407	11/10/2025
9500	418	22/10/2025
9750	429	02/11/2025
10000	440	13/11/2025
10250	451	24/11/2025
10500	462	05/12/2025
10750	473	16/12/2025
11000	484	27/12/2025
11250	495	07/01/2026
11500	506	18/01/2026
11750	517	29/01/2026
12000	528	09/02/2026

12250	539	20/02/2026
12500	550	03/03/2026
12750	561	14/03/2026
13000	572	25/03/2026
13250	583	05/04/2026
13500	594	16/04/2026
13750	605	27/04/2026
14000	616	08/05/2026
14250	627	19/05/2026
14500	638	30/05/2026
14750	649	10/06/2026
15000	660	21/06/2026
15250	671	02/07/2026
15500	682	13/07/2026
15750	693	24/07/2026
16000	704	04/08/2026
16250	715	15/08/2026
16500	726	26/08/2026
16750	737	06/09/2026

**Tabla 155**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Enfriador de Aceite de Motor**

Componente:	Enfriador de Aceite de Motor	
Actividad:	Verificar temperatura y obstrucciones	
Frecuencia (Horas):	250	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	11	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
250	11	10/09/2024
500	22	21/09/2024
750	33	02/10/2024
1000	44	13/10/2024
1250	55	24/10/2024
1500	66	04/11/2024
1750	77	15/11/2024
2000	88	26/11/2024
2250	99	07/12/2024
2500	110	18/12/2024
2750	121	29/12/2024
3000	132	09/01/2025
3250	143	20/01/2025
3500	154	31/01/2025
3750	165	11/02/2025
4000	176	22/02/2025
4250	187	05/03/2025
4500	198	16/03/2025
4750	209	27/03/2025

5000	220	07/04/2025
5250	231	18/04/2025
5500	242	29/04/2025
5750	253	10/05/2025
6000	264	21/05/2025
6250	275	01/06/2025
6500	286	12/06/2025
6750	297	23/06/2025
7000	308	04/07/2025
7250	319	15/07/2025
7500	330	26/07/2025
7750	341	06/08/2025
8000	352	17/08/2025
8250	363	28/08/2025
8500	374	08/09/2025
8750	385	19/09/2025
9000	396	30/09/2025
9250	407	11/10/2025
9500	418	22/10/2025
9750	429	02/11/2025
10000	440	13/11/2025
10250	451	24/11/2025
10500	462	05/12/2025
10750	473	16/12/2025
11000	484	27/12/2025
11250	495	07/01/2026
11500	506	18/01/2026
11750	517	29/01/2026
12000	528	09/02/2026

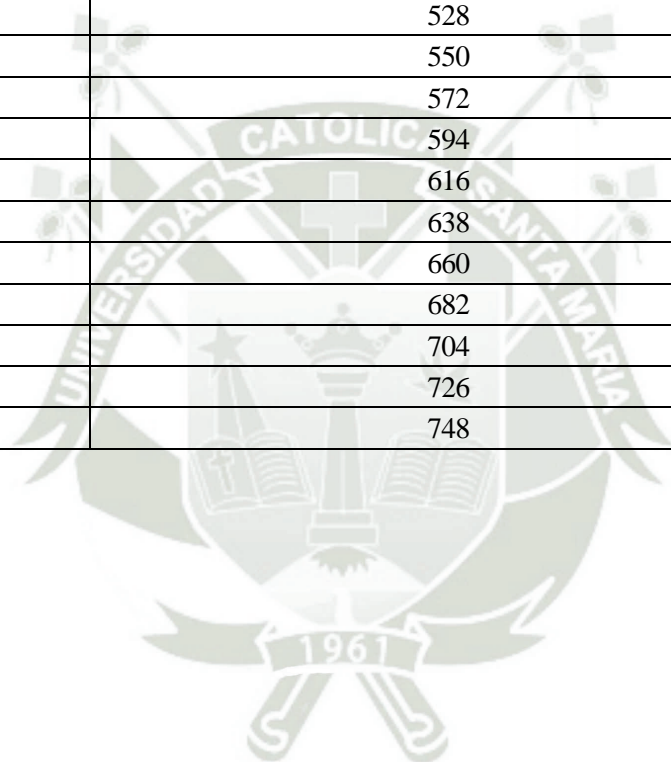
12250	539	20/02/2026
12500	550	03/03/2026
12750	561	14/03/2026
13000	572	25/03/2026
13250	583	05/04/2026
13500	594	16/04/2026
13750	605	27/04/2026
14000	616	08/05/2026
14250	627	19/05/2026
14500	638	30/05/2026
14750	649	10/06/2026
15000	660	21/06/2026
15250	671	02/07/2026
15500	682	13/07/2026
15750	693	24/07/2026
16000	704	04/08/2026
16250	715	15/08/2026
16500	726	26/08/2026
16750	737	06/09/2026

**Tabla 156**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Bomba Limpieza Aceite de Motor**

Componente:	Bomba Limpieza Aceite de Motor	
Actividad:	Inspección pernos y funcionamiento	
Frecuencia (Horas):	500	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	22	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
500	22	21/09/2024
1000	44	13/10/2024
1500	66	04/11/2024
2000	88	26/11/2024
2500	110	18/12/2024
3000	132	09/01/2025
3500	154	31/01/2025
4000	176	22/02/2025
4500	198	16/03/2025
5000	220	07/04/2025
5500	242	29/04/2025
6000	264	21/05/2025
6500	286	12/06/2025
7000	308	04/07/2025
7500	330	26/07/2025
8000	352	17/08/2025
8500	374	08/09/2025
9000	396	30/09/2025
9500	418	22/10/2025

10000	440	13/11/2025
10500	462	05/12/2025
11000	484	27/12/2025
11500	506	18/01/2026
12000	528	09/02/2026
12500	550	03/03/2026
13000	572	25/03/2026
13500	594	16/04/2026
14000	616	08/05/2026
14500	638	30/05/2026
15000	660	21/06/2026
15500	682	13/07/2026
16000	704	04/08/2026
16500	726	26/08/2026
17000	748	17/09/2026



**Tabla 157**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente**

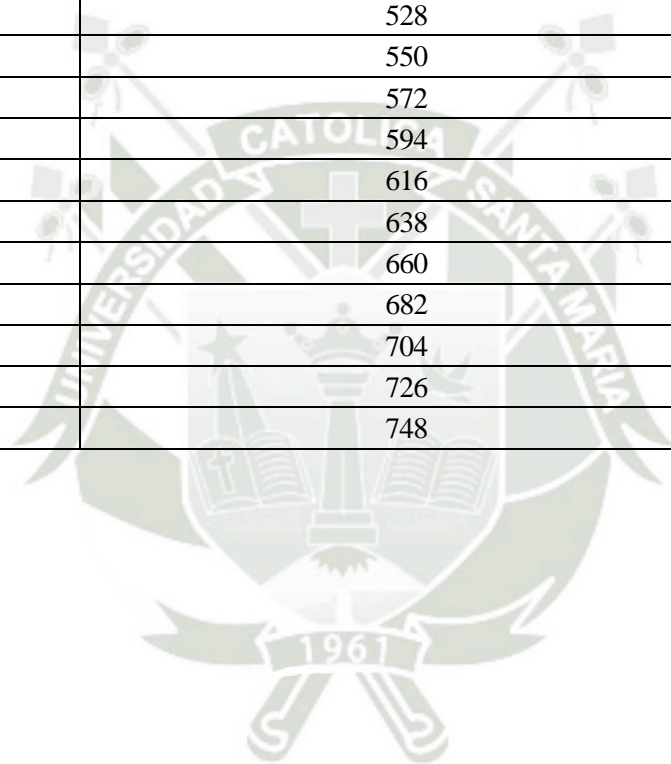
Componente:	Válvula reguladora de presión de aceite	
Actividad:	Medir resorte y regular con Shiem	
Frecuencia (Horas):	5000	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	217	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
5000	217	04/04/2025
10000	434	07/11/2025
15000	651	12/06/2026
20000	868	15/01/2027

**Tabla 158**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Aftercooler**

Componente:	Aftercooler	
Actividad:	Revisar mangueras y abrazaderas	
Frecuencia (Horas):	500	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	22	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
500	22	21/09/2024
1000	44	13/10/2024
1500	66	04/11/2024
2000	88	26/11/2024
2500	110	18/12/2024
3000	132	09/01/2025
3500	154	31/01/2025
4000	176	22/02/2025
4500	198	16/03/2025
5000	220	07/04/2025
5500	242	29/04/2025
6000	264	21/05/2025
6500	286	12/06/2025
7000	308	04/07/2025
7500	330	26/07/2025
8000	352	17/08/2025
8500	374	08/09/2025
9000	396	30/09/2025
9500	418	22/10/2025

10000	440	13/11/2025
10500	462	05/12/2025
11000	484	27/12/2025
11500	506	18/01/2026
12000	528	09/02/2026
12500	550	03/03/2026
13000	572	25/03/2026
13500	594	16/04/2026
14000	616	08/05/2026
14500	638	30/05/2026
15000	660	21/06/2026
15500	682	13/07/2026
16000	704	04/08/2026
16500	726	26/08/2026
17000	748	17/09/2026



**Tabla 159**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Turbo cargador**

Componente:	Turbo cargador	
Actividad:	Verificar presión adecuada sistema	
Frecuencia (Horas):	500	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	22	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
500	22	21/09/2024
1000	44	13/10/2024
1500	66	04/11/2024
2000	88	26/11/2024
2500	110	18/12/2024
3000	132	09/01/2025
3500	154	31/01/2025
4000	176	22/02/2025
4500	198	16/03/2025
5000	220	07/04/2025
5500	242	29/04/2025
6000	264	21/05/2025
6500	286	12/06/2025
7000	308	04/07/2025
7500	330	26/07/2025
8000	352	17/08/2025
8500	374	08/09/2025
9000	396	30/09/2025
9500	418	22/10/2025

10000	440	13/11/2025
10500	462	05/12/2025
11000	484	27/12/2025
11500	506	18/01/2026
12000	528	09/02/2026
12500	550	03/03/2026
13000	572	25/03/2026
13500	594	16/04/2026
14000	616	08/05/2026
14500	638	30/05/2026
15000	660	21/06/2026
15500	682	13/07/2026
16000	704	04/08/2026
16500	726	26/08/2026
17000	748	17/09/2026

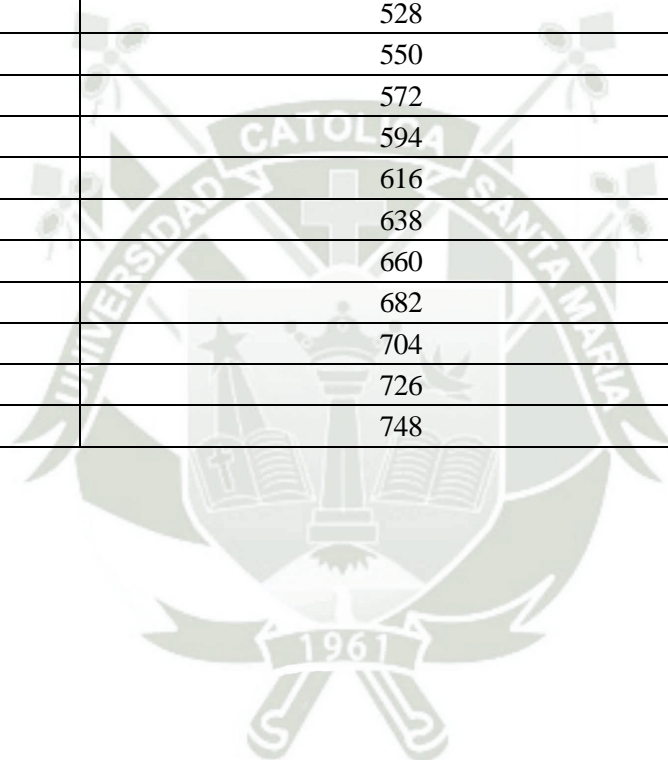


**Tabla 160**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Válvula Baypas de Escape**

Componente:	Válvula Baypas de Escape	
Actividad:	Inspección vástago y conexiones	
Frecuencia (Horas):	500	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	22	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
500	22	21/09/2024
1000	44	13/10/2024
1500	66	04/11/2024
2000	88	26/11/2024
2500	110	18/12/2024
3000	132	09/01/2025
3500	154	31/01/2025
4000	176	22/02/2025
4500	198	16/03/2025
5000	220	07/04/2025
5500	242	29/04/2025
6000	264	21/05/2025
6500	286	12/06/2025
7000	308	04/07/2025
7500	330	26/07/2025
8000	352	17/08/2025
8500	374	08/09/2025
9000	396	30/09/2025
9500	418	22/10/2025

10000	440	13/11/2025
10500	462	05/12/2025
11000	484	27/12/2025
11500	506	18/01/2026
12000	528	09/02/2026
12500	550	03/03/2026
13000	572	25/03/2026
13500	594	16/04/2026
14000	616	08/05/2026
14500	638	30/05/2026
15000	660	21/06/2026
15500	682	13/07/2026
16000	704	04/08/2026
16500	726	26/08/2026
17000	748	17/09/2026

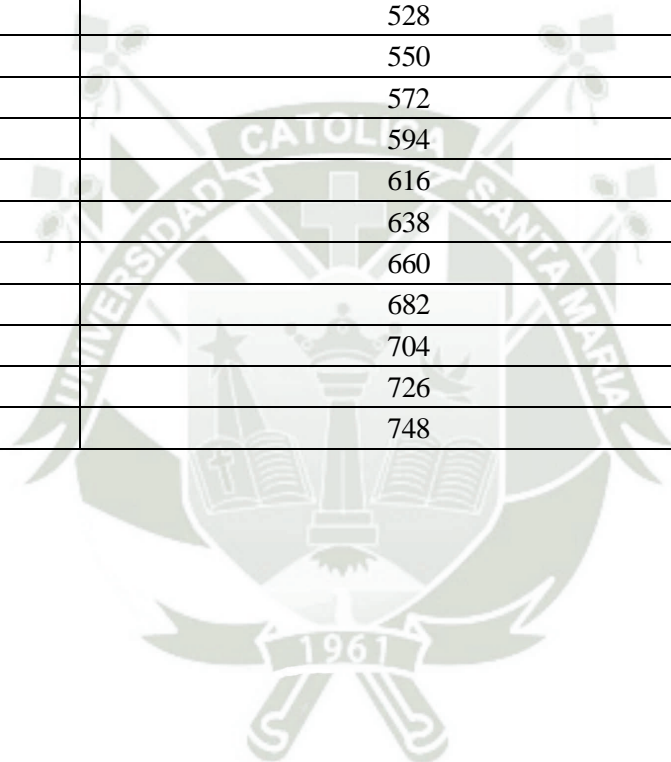


**Tabla 161**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Colector de Admisión**

Componente:	Colector de Admisión	
Actividad:	Inspección presión, sellos y fugas	
Frecuencia (Horas):	500	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	22	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
500	22	21/09/2024
1000	44	13/10/2024
1500	66	04/11/2024
2000	88	26/11/2024
2500	110	18/12/2024
3000	132	09/01/2025
3500	154	31/01/2025
4000	176	22/02/2025
4500	198	16/03/2025
5000	220	07/04/2025
5500	242	29/04/2025
6000	264	21/05/2025
6500	286	12/06/2025
7000	308	04/07/2025
7500	330	26/07/2025
8000	352	17/08/2025
8500	374	08/09/2025
9000	396	30/09/2025
9500	418	22/10/2025

10000	440	13/11/2025
10500	462	05/12/2025
11000	484	27/12/2025
11500	506	18/01/2026
12000	528	09/02/2026
12500	550	03/03/2026
13000	572	25/03/2026
13500	594	16/04/2026
14000	616	08/05/2026
14500	638	30/05/2026
15000	660	21/06/2026
15500	682	13/07/2026
16000	704	04/08/2026
16500	726	26/08/2026
17000	748	17/09/2026

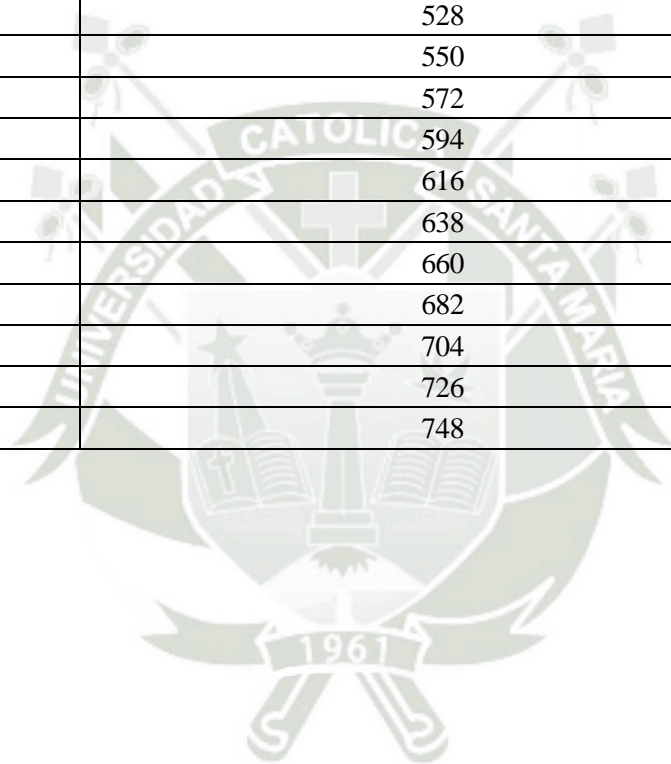


**Tabla 162**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Colector de Escape**

Componente:	Colector de Escape	
Actividad:	Revisar estado del colector y uniones	
Frecuencia (Horas):	500	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	22	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
500	22	21/09/2024
1000	44	13/10/2024
1500	66	04/11/2024
2000	88	26/11/2024
2500	110	18/12/2024
3000	132	09/01/2025
3500	154	31/01/2025
4000	176	22/02/2025
4500	198	16/03/2025
5000	220	07/04/2025
5500	242	29/04/2025
6000	264	21/05/2025
6500	286	12/06/2025
7000	308	04/07/2025
7500	330	26/07/2025
8000	352	17/08/2025
8500	374	08/09/2025
9000	396	30/09/2025
9500	418	22/10/2025

10000	440	13/11/2025
10500	462	05/12/2025
11000	484	27/12/2025
11500	506	18/01/2026
12000	528	09/02/2026
12500	550	03/03/2026
13000	572	25/03/2026
13500	594	16/04/2026
14000	616	08/05/2026
14500	638	30/05/2026
15000	660	21/06/2026
15500	682	13/07/2026
16000	704	04/08/2026
16500	726	26/08/2026
17000	748	17/09/2026



**Tabla 163**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Piñón - Corona**

Componente:	Piñón - Corona	
Actividad:	Cambio de aceite y regulación de corona	
Frecuencia (Horas):	2000	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	87	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
2000	87	25/11/2024
4000	174	20/02/2025
6000	261	18/05/2025
8000	348	13/08/2025
10000	435	08/11/2025
12000	522	03/02/2026
14000	609	01/05/2026
16000	696	27/07/2026
18000	783	22/10/2026

**Tabla 164**

**Plan de mantenimiento proactivo del componente Engranaje Diferencial**

Componente:	Engranaje Diferencial	
Actividad:	Cambio de aceite y juego axial	
Frecuencia (Horas):	2000	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	87	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
2000	87	25/11/2024
4000	174	20/02/2025
6000	261	18/05/2025
8000	348	13/08/2025
10000	435	08/11/2025
12000	522	03/02/2026
14000	609	01/05/2026
16000	696	27/07/2026
18000	783	22/10/2026

**Tabla 165****Plan de mantenimiento proactivo del componente Engranaje Satelital**

Componente:	Engranaje Satelital	
Actividad:	Cambio de aceite y juego axial	
Frecuencia (Horas):	5000	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	217	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
5000	217	04/04/2025
10000	434	07/11/2025
15000	651	12/06/2026
20000	868	15/01/2027

**Tabla 166****Plan de mantenimiento proactivo del componente Semiejes**

Componente:	Semiejes	
Actividad:	Inspección visual de fisuras, ruidos y holguras	
Frecuencia (Horas):	350	
Fecha de inicio:	30/08/2024	
Horas por día:	23	
Días por frecuencia (redondeado):	15	
Frecuencia acumulada (Horas)	Días acumulados	Fecha estimada
350	15	14/09/2024
700	30	29/09/2024

1050	45	14/10/2024
1400	60	29/10/2024
1750	75	13/11/2024
2100	90	28/11/2024
2450	105	13/12/2024
2800	120	28/12/2024
3150	135	12/01/2025
3500	150	27/01/2025
3850	165	11/02/2025
4200	180	26/02/2025
4550	195	13/03/2025
4900	210	28/03/2025
5250	225	12/04/2025
5600	240	27/04/2025
5950	255	12/05/2025
6300	270	27/05/2025
6650	285	11/06/2025
7000	300	26/06/2025
7350	315	11/07/2025
7700	330	26/07/2025
8050	345	10/08/2025
8400	360	25/08/2025
8750	375	09/09/2025
9100	390	24/09/2025
9450	405	09/10/2025
9800	420	24/10/2025
10150	435	08/11/2025
10500	450	23/11/2025
10850	465	08/12/2025

11200	480	23/12/2025
11550	495	07/01/2026
11900	510	22/01/2026
12250	525	06/02/2026
12600	540	21/02/2026
12950	555	08/03/2026
13300	570	23/03/2026
13650	585	07/04/2026
14000	600	22/04/2026
14350	615	07/05/2026
14700	630	22/05/2026
15050	645	06/06/2026
15400	660	21/06/2026
15750	675	06/07/2026
16100	690	21/07/2026
16450	705	05/08/2026
16800	720	20/08/2026
17150	735	04/09/2026



## 5. Análisis de Resultados

Se presenta en la siguiente tabla los valores de los componentes evaluados que después de aplicar la propuesta del mantenimiento proactivo, se muestran los componentes en riesgo bajo

**Tabla 167**

**Tabla de modelo de factores Ponderados basados en la teoría del riesgo después de la aplicación**

COMPONENTE	IO	FO	CM	SAH	CONSECUENCIA	FF	RIESGO (estimado)
Sensor de Velocidad	4	2	2	2	12	2	
Sensor de Nivel en Combustible	4	1	2	1	9	1	
Sensor Presión de Combustible	4	2	2	2	14	2	
Sensor Presión Riel de Combustible	4	2	2	2	14	2	
Cilindro Levante de Tolva	4	2	2	2	14	2	
Válvula Control de Levante	4	2	2	1	13	2	
Bomba Levante de Tolva	4	2	3	2	15	2	
Bomba de Aceite de Motor	4	2	2	2	14	2	
Bomba de Pre Lubricacion	3	2	2	0	8	1	
Enfriador de Aceite de Motor	3	2	2	0	8	1	

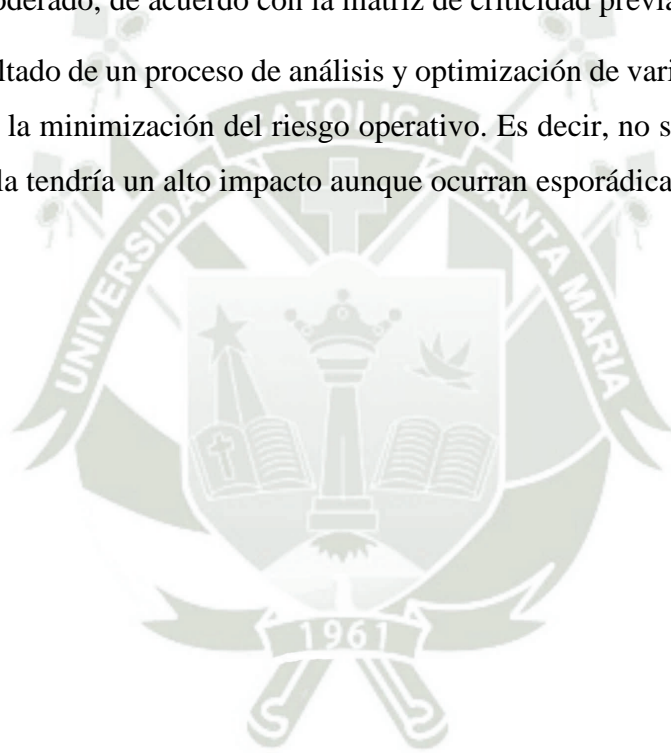
Bomba Limpieza Aceite de Motor	4	2	3	2	15	2	
Válvula Reguladora de Presión	4	2	3	2	15	2	
Aftercooler	5	2	3	2	17	2	
Turbo Cargador	3	1	2	0	5	1	
Valvula Baypas de Escape	5	2	3	2	17	2	
Piñon - Corona	5	2	3	2	17	2	
Engranajes Diferenciales	4	2	2	2	14	2	
Engranajes Satelitales	3	1	2	0	5	1	
Semiejes	5	2	3	2	17	2	

LEYENDA	COLOR
<b>Critico</b>	
<b>Alerta</b>	
<b>Normal</b>	

La Tabla representa los resultados obtenidos tras la aplicación de un modelo de evaluación de riesgo basado en factores ponderados, el cual se apoya en principios de la teoría del riesgo. Este enfoque permite estimar de manera más precisa la criticidad de distintos componentes mediante la cuantificación de variables clave que influyen en la consecuencia de una posible falla.

A través de la combinación ponderada de estas variables, se calcula el valor de la Consecuencia, la cual ha sido ajustada para mantenerse dentro de un rango entre 5 y 17 puntos, lo cual representa niveles bajos a moderados de impacto. En paralelo, se observa que la Frecuencia de Falla (FF) ha sido reducida a valores de 1 o 2, lo que indica una baja probabilidad de ocurrencia. Esta combinación ubica a la mayoría de los componentes en zonas de riesgo bajo o moderado, de acuerdo con la matriz de criticidad previamente establecida.

Esta reducción no es aleatoria, sino el resultado de un proceso de análisis y optimización de variables, lo que evidencia una estrategia orientada a la gestión eficiente del mantenimiento y la minimización del riesgo operativo. Es decir, no solo se busca intervenir componentes con fallas frecuentes, sino también aquellos cuya falla tendría un alto impacto aunque ocurran esporádicamente.



## 5.1. Cálculo de los indicadores

### 5.1.1. Indicador de disponibilidad operativa

Este indicador permite conocer el porcentaje de tiempo que el equipo estuvo disponible para operar, en función del tiempo total programado durante el mes.

$$\text{Disponibilidad} = \left( \frac{T_d - T_i}{T_d} \right) \times 100$$

Donde:

$T_d$  es el tiempo total disponible mensual (en horas)

$T_i$  es el tiempo de inactividad por fallas o mantenimiento correctivo (en horas)

Para un de 30 días, se tiene:

$$T_d = 30 \times 24 = 720 \text{ horas}$$

Antes de implementar la propuesta (mantenimiento reactivo):

$$\text{Disponibilidad} = \left( \frac{720 - 80}{720} \right) \times 100 = \left( \frac{640}{720} \right) \times 100 = 88.89\%$$

**Tabla 168**

### **Tabla de impacto operacional ( IO ) camión Minero 797 F**

#### **Información impacto operacional camión minero 797 F**

<b>Componentes</b>	<b>Fecha</b>	<b>Duración</b>	<b>Horas</b>
Sensor de nivel en combustible, Sensor presión de combustible en la bomba, Sensor presión riel de combustible, Cilindro levante de tolva Válvula Control de levante	9/09/2024	08:47:46	230
Sensor de nivel en combustible, Sensor presión de combustible en la bomba, Sensor presión riel de combustible, Cilindro levante de tolva Válvula Control de levante, Carter, Turbo compresor, Aftercooler	19/09/2024	12:06:47	460
Sensor de nivel en combustible, Sensor presión de combustible en la bomba, Sensor presión riel de combustible, Cilindro levante de tolva	29/09/2024	04:21:50	690
	Total	25:16:23	

Después de implementar la propuesta (mantenimiento proactivo):

$$Disponibilidad = \left( \frac{720 - 25}{720} \right) \times 100 = \left( \frac{695}{720} \right) \times 100 = 96.53\%$$

La disponibilidad operativa se incrementa debido a la reducción de fallas imprevistas y tiempos muertos asociados a reparaciones urgentes. Al implementar el mantenimiento proactivo, las intervenciones se planifican estratégicamente, lo cual evita paradas prolongadas e innecesarias. Esta mejora garantiza que el equipo esté disponible durante un mayor porcentaje del tiempo programado, optimizando su utilización y permitiendo una mayor productividad en las operaciones mineras.

### 5.1.2. Costo mensual de mantenimiento

Este indicador refleja el gasto promedio mensual asociado al mantenimiento del equipo, considerando tanto mantenimientos correctivos no programados como actividades planificadas.

Antes de la implementación de la propuesta, los costos estaban compuestos principalmente por reparaciones mayores, cambios de componentes tras fallas, horas hombre y repuestos, alcanzando un valor promedio de:

$$\text{Costo mensual antes} = S/. 145000$$

Después de implementar el plan de mantenimiento proactivo, al disminuir la cantidad de fallas y programar las intervenciones de manera anticipada, el costo mensual se reduce a:

$$\text{Costo mensual después} = S/. 95000$$

El ahorro mensual estimado es:

$$\text{Ahorro mensual} = 145000 - 95000 = S/. 50000$$

El porcentaje de ahorro obtenido es:

$$\left( \frac{145000 - 95000}{145000} \right) \times 100 = \left( \frac{50000}{145000} \right) \times 100 = 34.48\%$$

## 5.2. Cuadro resumen de costos del camión minero CAT 797F

Categoría de mantenimiento	Costo antes del plan (USD)	Costo después del plan (estimado)	Ahorro estimado (USD)
Cambios de componentes mayores (motor, bombas, etc.)	\$29,141.22 anuales	No especificado	Significativo
Costo mensual promedio (antes)	\$2,428.44	Reducción considerable	No cuantificado
Fallas anuales estimadas	96 fallas	Reducción significativa	—
Inactividad mensual por fallas	82.96 horas	Reducción estimada	—

Se estimó un ahorro considerable como resultado de la implementación del mantenimiento proactivo en el camión minero CAT 797F. Aunque el valor exacto del nuevo costo mensual no fue detallado en cifras, el documento señala una reducción importante respecto al promedio anterior de **\$2,428.44 mensuales**. Esta reducción no solo se reflejó en los costos directos por reemplazo de componentes y repuestos, sino también en la mejora de la disponibilidad operativa y la disminución de horas de inactividad.

## CONCLUSIONES

- Primero.** La implementación del mantenimiento proactivo en el camión minero CAT 797F permitió reducir fallas no planificadas, mejorar la disponibilidad operativa y disminuir los costos mensuales de mantenimiento. Gracias a la evaluación de criticidad y al enfoque preventivo aplicado, se optimizó la gestión del equipo, confirmando que esta estrategia es eficaz y rentable para operaciones mineras de alta exigencia.
- Segundo.** Se logró identificar un total de 96 fallas anuales en el camión minero CAT 797F, con una duración promedio de 10.37 horas por evento, lo cual representa una inactividad mensual aproximada de 82.96 horas. Este diagnóstico detallado permitió determinar que los sistemas más afectados eran los sensores de presión, cilindros de levante, y la válvula de control. El análisis permitió establecer con claridad el impacto operativo de estos fallos, sentando las bases para una intervención más eficaz y preventiva.
- Tercero.** A través de la aplicación del modelo de factores ponderados, se identificaron componentes con criticidad alta, como la culata, piñón-corona y engranajes diferenciales, cuyos valores de consecuencia llegaron hasta 17 puntos, ubicándolos en la categoría de crítico. La frecuencia de fallas fue optimizada a valores de 1 o 2, lo que evidenció la eficacia del proceso de priorización y su aporte al diseño estratégico de intervenciones en los puntos más vulnerables del equipo.
- Cuarto.** La implementación del plan proactivo permitió reducir significativamente la ocurrencia de fallas y los tiempos de parada. Esto se reflejó en una mejora sustancial del indicador de disponibilidad operativa, el cual aumentó gracias a la planificación de actividades preventivas y predictivas que eliminaron intervenciones de emergencia y permitieron una programación más eficiente.
- Quinto.** El costo mensual de mantenimiento antes de implementar el plan proactivo alcanzaba un promedio de \$2,428.44, incluyendo gastos por cambios de componentes, horas hombre y repuestos urgentes. Con la estrategia proactiva, estos costos se redujeron notablemente al eliminar intervenciones correctivas no planificadas. Si bien no se precisa el nuevo monto final, el informe señala un ahorro mensual considerable, lo cual demuestra que el enfoque proactivo no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también representa una alternativa económicamente viable.

## RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Implementar un sistema de monitoreo continuo que utilice sensores avanzados para medir presión, vibraciones y temperatura en los componentes críticos, permitiendo una detección temprana de posibles fallos.
- SEGUNDA:** Concentrar los recursos del mantenimiento proactivo en los componentes prioritarios identificados en la matriz de criticidad, diseñando protocolos específicos de inspección y reparación.
- TERCERA:** Establecer un calendario de mantenimiento basado en datos operativos y análisis predictivos, asegurando que las intervenciones sean oportunas y que se reduzcan los tiempos de inactividad.
- CUARTA:** Capacitar al personal técnico en el uso de herramientas de diagnóstico avanzadas y adoptar tecnologías especializadas que faciliten el análisis y la ejecución eficiente de las actividades de mantenimiento.
- QUINTA:** Implementar un sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) para garantizar el cumplimiento del cronograma, realizar un seguimiento efectivo de las actividades y optimizar la utilización de los recursos disponibles.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Alban, N. (2017). *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad de las maquinarias en la Empresa Construcciones Reyes S.R.L. para incrementar la productividad*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial].
- Algor Cards. (2018). *La Prehistoria y la Edad de Piedra*. Obtenido de <https://cards.algoreducation.com/es/content/n-jDfKBh/prehistoria-quimica-moderna>
- Andrea, E., & Sierra, C. (2018). *Técnicas de mantenimiento en instalaciones mineras*.
- Barsallo Coico, M. L. (2019). *Análisis de la gestión del mantenimiento en los vehículos de la empresa Induamerica Servicios Logísticos S.A.C– Lambayeque*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Industrial] Universidad Señor de Sipán Chiclayo.
- Bascompta et al . (2018). Safety culture maturity assessment for mining activities in South America. *Work*, 61(1), 125-133.
- Becerra, A., & Chavestán, R. (2024). *Propuesta de seguridad basada en el comportamiento de los operarios de la planta de beneficio de la Empresa Sociedad Minera Los Conquistadores S.A.S para la prevención de accidentes por riesgo mecánico*.
- Bravo, H., & Castro, L. (2012). *Plan de mantenimiento preventivo de maquinaria pesada de la empresa Inser S. A. S*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico e Mecatrónico].
- Calle, V. a. (Octubre de 2017). *ELECTRONIC FRONTIER FOUNDATION*. Obtenido de <https://www.eff.org/pages/face-recognition>
- Cetfomin. (2020). *Evolucion de las maquinas*.
- Chacin, R. (2019). Análisis de Criticidad Integral de Activos., (pág. 33).
- Costos, R. (2021). *Impacto de las TIC en la Disponibilidad de la Maquinaria*.
- Glover, E. (2020). *¿Qué es la inteligencia artificial (IA)?* Obtenido de <https://builtin.com/artificial-intelligence>
- Iberdrola. (2025). *Mantenimiento predictivo: la técnica basada en datos clave para anticipar errores*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/innovacion/mantenimiento-predictivo>
- Instituto Tecnológico de Orizaba. (2016). *Historia y Evolucion de la Calidad*.

- International Business Machines . (2023). *¿Qué es el mantenimiento preventivo?* Obtenido de [https://www.ibm.com/es-es/topics/what-is-preventive-maintenance?mhsrc=ibmsearch\\_a&mhq=%26quest%3BQu%26eacute%3B%20es%20el%20mantenimiento%20preventivo%26quest%3B%20](https://www.ibm.com/es-es/topics/what-is-preventive-maintenance?mhsrc=ibmsearch_a&mhq=%26quest%3BQu%26eacute%3B%20es%20el%20mantenimiento%20preventivo%26quest%3B%20)
- Kennedy, R. (2006). *Examen de los procesos de RCM y TPM: ¿Qué logra en última instancia? ¿Son compatibles los dos enfoques?*
- Lameirinhas, G. (2019). *Equipos Predictivos por el Mantenimiento Industrial*.
- Limited, W. P. (2019). *Guidelines for Hazard Operability Studies (HAZOP)*. Newbury, Inglaterra: Woodhouse Partnership Limited.
- Maquinaria Carran. (2022). *Breve recorrido histórico de la maquinaria pesada para la construcción* . Obtenido de <https://www.maquinariacarran.cl/historia-de-la-maquinaria-pesada/>
- Martyka, J., & Lebecki, K. ( 2014). Safety culture in high-risk industries . *International journal of occupational safety and ergonomics*, 20(4), 561-572.
- Medium. (2015). *Tecnología, invención, aplicación y más*. Obtenido de <https://medium.com/technology-invention-and-more/everything-you-need-to-know-about-artificial-neural-networks-57fac18245a1>
- Mosquera, M. (2016). *Los Neumáticos*.
- Moubray, J. (1997). *El camino hacia el RCM - Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*. Industrial Press Inc.
- Moubray, J. (2001). *Reliability Centered Maintenance*.
- Moubray, J. (Enero de 2004). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*. Lutterworth, Reino Unido: Aladon Network Founder.
- Pardo, C. (2017). *HOG Histograma de Gradientes Orientados*. Obtenido de <https://carlosjuliopardoblog.wordpress.com/2017/12/04/hog-histograma-de-gradientes-orientados/>
- Paredes et al . (2022). Seguridad y salud en el trabajo para operarios de maquinaria pesada en la industria de la construcción. *Revista Investigación En Salud Universidad de Boyacá*, 9(1), 149-165.

- Parra, C., & Crespo, A. (2020). *Criticality Analysis Methods. Based on the Risk Assessment Process*. Sevilla, España: Ingema.
- Ramos, M. A. (2022). *Máquinaria Herramienta*.
- Reliability and Risk Management. (2023). Análisis de criticidad y Análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. *Metodologías de Confiabilidad I* (pág. 125). México: R2M. S.A Reliability and Risk Management.
- Rosas, M. (2023). *Industrialización y productividad de los entornos*.
- Ruiz, J. D. (2009). *Implementación de un programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la Empresa Inverglobal INC LTDA* ([Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico] ed.). [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico].
- Sandoval Moscoso, G. A. (2016). *Mejora en la confiabilidad operacional del sistema power shift de un camión minero Caterpillar modelo 797F: desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico] Universidad Católica de Santa María.
- Solórzano, G. (2019). Taxonomía de activos físicos . *XX Congreso Iberoamericano de Mantenimiento 2019*, (pág. 24). Santa Cruz.
- Suazo, L. (30 de 01 de 2025). *Las mejores técnicas de Mantenimiento Predictivo*. Obtenido de 2025: <https://tractian.com/es/blog/mantenimiento-predictivo-tecnicas>
- Suniaga, S. (24 de 05 de 2023). *Mantenimiento proactivo: clave para prevenir fallas y maximizar la eficiencia*. Obtenido de <https://www.fractal.com/es/blog/mantenimiento-proactivo>
- Suya, C. (2017). *Proyecto integral de la municipalidad de San Jun de Marcona*.
- Suzuki, T. (1994). *TPM en industrias de proceso*. Porland: Productivity Press.
- Taopparts. (2016). *Excavadora de cadenas*. Obtenido de <https://www.taopparts.com/blog/es/category/excavadora-de-cadenas-2/>
- Tokutaro, S. (2017). TPM en industrias de proceso. *Japan Institute of Plant Maintenance*, 39.
- Valverde, A. D. (2021). *Plan de mantenimiento preventivo para maquinaria pesada en minera Chinalco Perú S.A* ([Tesis para optar el título de Maestría en Ingeniería Mecánica] ed.). [[Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico].

Vassem et al . (2017). Factores constituintes da cultura de segurança: olhar sobre a indústria de mineração. *Gestão & Produção*, 24( 4), 719-730.

Vedan, A. (2025). *¿Cómo se manifiesta el desgaste de una máquina?*

Vedan, Alex. (2016). *Las mejores técnicas de Mantenimiento Predictivo*. Obtenido de <https://traction.com/es/blog/tecnicas-de-mantenimiento-predictivo-utilizadas-en-la-industria>

Woodhause, J. (2019). *Criticality Analysis Revisited*.





**Anexo 1**

**Fichas de recolección de datos**

1. FICHA DE INSPECCIÓN TÉCNICA – CAMIÓN MINERO CAT 797F

Fecha	Hora	Operador	Turno	Componente Inspeccionado	Estado	Observaciones	Acción
							Correctiva Sugerida
					Bueno /		
					Regular /		
					Malo		

2. FICHA DE REGISTRO DE FALLAS

Fecha	Turno	Equipo	Sistema Afectado	Componente	Tipo de Falla	Duración (HH:MM Aproximado)	Costo	Observaciones
					Mecánica			
					/			
					Eléctrica			
					/			
					Hidráulica			

3. FICHA DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO (PM)

Fecha de Ejecución	Tipo de Equipo de PM	Horas de Uso Acumuladas	Actividades Realizadas	Materiales Utilizados	Personal Responsable
	PM1 -				
	PM7				

4. FICHA DE COSTO DE MANTENIMIENTO

Fecha Equipo Componente	Tipo de Mantenimiento	Costo (S/.)	Justificación Técnica	Responsable
	Preventivo / Correctivo			
	/ Predictivo			

5. FICHA DE IMPACTO OPERACIONAL (IO)

Fecha Equipo	Tipo de Parada	Duración (HH:MM)	Impacto en Producción (%)	Observaciones
	Programada / No Programada			

## 6. MATRIZ DE CRITICIDAD DE COMPONENTES

<b>Componente</b>	<b>Frecuencia de Falla</b>	<b>Gravedad del Impacto</b>	<b>Tiempo de Recuperación</b>	<b>Criticidad Total (Ponderada)</b>	<b>Nivel de Prioridad</b>
					Alta / Media
					/ Baja

## 7. FICHA DE MONITOREO PREDICTIVO

<b>Fecha</b>	<b>Equipo</b>	<b>Técnica Usada</b>	<b>Resultado</b>	<b>Componente Afectado</b>	<b>Nivel de Riesgo</b>	<b>Acción Recomendada</b>
		Ultrasonido /			Bajo /	
		Termografía /			Medio /	
		Vibraciones			Alto	

## 6. Análisis de criticidad por componentes

### 6.1. Sistema unidad de potencia

#### 6.1.1. Análisis de criticidad para el Sub Sistema Lubricación de Aceite, Componente Bomba de Aceite de Motor

Tabla 169 Frecuencia de Fallos

Frecuencia de Fallos	Ponderación
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

Tabla 170 Impacto Operacional

Impacto Operacional	Ponderación
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

Tabla 171 Flexibilidad Operacional

Flexibilidad Operacional	Ponderación
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 172**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 5000,00 US\$	4
Entre 1000,00 US\$ y menos de 5000,00 US\$	3
Menos de 1000,00 US\$	2

**Tabla 173**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Bomba de Aceite de Motor**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 4
Impacto Operacional = 10
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 4

Impacto SAH = 4

$$\text{Consecuencia} = (10 \times 2) + 4 + 4$$

$$\text{Consecuencia} = 20 + 4 + 4 = 28$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 4	Consecuencia = 28
----------------	-------------------

Riesgo Componente Bomba de Aceite de Motor

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

### 6.1.2. Análisis de criticidad para el Sub Sistema Lubricación de Aceite, Componente Bomba de Cebado de lubricación

**Tabla 174**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 175**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 176**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 177**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 5000,00 US\$	4
Entre 1000,00 US\$ y menos de 5000,00 US\$	3
Menos de 1000,00 US\$	2

**Tabla 178**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	<b>2</b>
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Bomba de Cebado de lubricación**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (6 \times 2) + 3 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 12 + 3 + 2 = 17$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 17
----------------	-------------------

Riesgo Componente Bomba de Cebado de lubricación

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

6.1.3. Análisis de criticidad para el Sub Sistema Lubricación de Aceite, Componente Bomba de pre Lubricación

**Tabla 179**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 180**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 181**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 182**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 5000,00 US\$	4
Entre 1000,00 US\$ y menos de 5000,00 US\$	3
Menos de 1000,00 US\$	2

**Tabla 183**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Bomba de pre Lubricación

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 10
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 4

$$\text{Consecuencia} = (10 \times 2) + 3 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 20 + 3 + 2 = 25$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 25
----------------	-------------------

Riesgo Componente Bomba de pre lubricación

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20		40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**6.1.4. Análisis de criticidad para el Sub Sistema lubricación de Aceite, Componente Enfriador de Aceite de Motor**

**Tabla 184**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 185**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 186**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 187**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 5000,00 US\$	4
Entre 1000,00 US\$ y menos de 5000,00 US\$	3
Menos de 1000,00 US\$	2

**Tabla 188**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Enfriador de Aceite de Motor**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 2
Impacto SAH = 0

$$\text{Consecuencia} = (6 \times 2) + 2 + 0$$

$$\text{Consecuencia} = 12 + 2 + 0 = 14$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 14
----------------	-------------------

Riesgo Componente Enfriador de Aceite de motor

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

### 6.1.5. Análisis de criticidad para el Sub Sistema lubricación de Aceite, Componente Bomba limpieza de Aceite de Motor

**Tabla 189**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 190**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 191**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 192**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 5000,00 US\$	4
Entre 1000,00 US\$ y menos de 5000,00 US\$	3
Menos de 1000,00 US\$	2

**Tabla 193**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Bomba limpieza Aceite de Motor**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 2
Impacto SAH = 0

$$\text{Consecuencia} = (6 \times 2) + 3 + 0$$

$$\text{Consecuencia} = 12 + 2 + 0 = 14$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 14
----------------	-------------------

Riesgo Componente Bomba limpieza Aceite de Motor

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10		30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**6.1.6. Análisis de criticidad para el Sub Sistema lubricación de Aceite, Componente Válvula Reguladora de Presión**

**Tabla 194**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 195**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 196**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 197**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 5000,00 US\$	4
Entre 1000,00 US\$ y menos de 5000,00 US\$	3
Menos de 1000,00 US\$	2

**Tabla 30**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Válvula Reguladora de Presión

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 4
Impacto Operacional = 10
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 5

$$\text{Consecuencia} = (10 \times 2) + 3 + 5$$

$$\text{Consecuencia} = 20 + 3 + 25 = 33$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 4	Consecuencia = 33
----------------	-------------------

Riesgo Componente Válvula Reguladora de Presión

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**6.1.7. Análisis de criticidad para el Sub Sistema Inducción Forzada de Aire y Escape, Componente Aftercooler**

**Tabla 198**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 199**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 200**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 201**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 6000,00 US\$	4
Entre 500,00 US\$ y menos de 6000,00 US\$	3
Menos de 500,00 US\$	2

**Tabla 202**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Aftercooler**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 4
Impacto Operacional = 10
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 4

Impacto SAH = 4

$$\text{Consecuencia} = (10 \times 2) + 4 + 4$$

$$\text{Consecuencia} = 20 + 4 + 4 = 28$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 4	Consecuencia = 28
----------------	-------------------

Riesgo Componente Aftercooler

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

### 6.1.8. Análisis de criticidad para el Sub Sistema Inducción Forzada de Aire y Escape, Componente Turbo Cargador

**Tabla 203**  
**Frecuencia de Fallos**

Frecuencia de Fallos	Ponderación
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 204**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 205**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 206**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 6000,00 US\$	4
Entre 500,00 US\$ y menos de 6000,00 US\$	3
Menos de 500,00 US\$	2

**Tabla 207**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Turbo Cargador**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 1
Impacto Operacional = 15
Flexibilidad = 3
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 4

$$\text{Consecuencia} = (15 \times 3) + 3 + 4$$

$$\text{Consecuencia} = 45 + 3 + 4 = 52$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 1	Consecuencia = 52
----------------	-------------------

Riesgo Componente Turbo Cargador

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**6.1.9. Análisis de criticidad para el Sub Sistema Inducción Forzada de Aire y Escape, Componente Válvula de Baypas de Escape**

**Tabla 208**

**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 209**

**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 210**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 211**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 6000,00 US\$	4
Entre 500,00 US\$ y menos de 6000,00 US\$	3
Menos de 500,00 US\$	2

**Tabla 212**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Válvula de Baypas de Escape

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 4
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 1
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 0

$$\text{Consecuencia} = (4 \times 1) + 3 + 0$$

$$\text{Consecuencia} = 4 + 3 + 0 = 7$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 4	Consecuencia = 7
----------------	------------------

Riesgo Componente Válvula de Baypas de Escape

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**6.1.10. Análisis de criticidad para el Sub Sistema Inducción Forzada de Aire y Escape, Componente Colector de Admisión**

**Tabla 213**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 214**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 215**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 216**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 6000,00 US\$	4
Entre 500,00 US\$ y menos de 6000,00 US\$	3
Menos de 500,00 US\$	2

**Tabla 217**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Colector de Admisión**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 2

Impacto SAH = 0

$$\text{Consecuencia} = (6 \times 2) + 2 + 0$$

$$\text{Consecuencia} = 12 + 2 + 0 = 14$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 14
----------------	-------------------

Riesgo Componente Colector de Admisión

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
	<b>CONSECUENCIA</b>					

### 6.1.11. Análisis de criticidad para el Sub Sistema Inducción Forzada de Aire y Escape, Componente Colector de Escape

**Tabla 218**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 219**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 220**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 221**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 6000,00 US\$	4
Entre 500,00 US\$ y menos de 6000,00 US\$	3
Menos de 500,00 US\$	2

**Tabla 30**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Colector de Escape**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 0

$$\text{Consecuencia} = (6 \times 2) + 3 + 0$$

$$\text{Consecuencia} = 12 + 3 + 0 = 15$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 15
----------------	-------------------

Riesgo Componente Colector de Escape

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**Sub Sistema Diferencial**

**6.2. Sistema tren de fuerza**

**6.2.1. Análisis de criticidad para el Sub Sistema Diferencial , Componente Piñón - Corona**

**Tabla 222**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 223**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 224**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 225**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 2500,00 US\$	4
Entre 1000,00 US\$ y menos de 2500,00 US\$	3
Menos de 600,00 US\$	2

**Tabla 226**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	<b>2</b>
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Piñón – Corona**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 15
Flexibilidad = 3
Costo de Mantenimiento = 4
Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (15 \times 3) + 4 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 45 + 4 + 2 = 51$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 51
----------------	-------------------

Riesgo Componente Piñón - Corona

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**6.2.2. Análisis de criticidad para el Sub Sistema Diferencial, Componente Transmisión – Engranajes Diferenciales**

**Tabla 227**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	<b>2</b>
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 228**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	<b>15</b>
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 229**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 230**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 2500,00 US\$	4
Entre 1000,00 US\$ y menos de 2500,00 US\$	3
Menos de 600,00 US\$	2

**Tabla 231**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Engranajes Diferenciales

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 2
Impacto Operacional = 15
Flexibilidad = 3
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (15 \times 3) + 3 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 45 + 3 + 2 = 50$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 2	Consecuencia = 50
----------------	-------------------

Riesgo Componente Engranaje Diferencial

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**6.2.3. Análisis de criticidad para el Sub Sistema Diferencial , Componente Engranajes Satelitales**

**Tabla 232**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 233**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 234**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 235**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 2500,00 US\$	4
Entre 1000,00 US\$ y menos de 2500,00 US\$	3
Menos de 600,00 US\$	2

**Tabla 236**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Engranaje Satelital**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 3

Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (6 \times 2) + 3 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 12 + 3 + 2 = 17$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 17
----------------	-------------------

### Riesgo Componente Engranajes Satelitales

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

#### 6.2.4. Análisis de criticidad para el Sub Sistema Diferencial, Componente Semiejes

**Tabla 237**  
**Frecuencia de Fallos**

Frecuencia de Fallos	Ponderación
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tala 238**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 239**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 240**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 2500,00 US\$	4
Entre 1000,00 US\$ y menos de 2500,00 US\$	3
Menos de 600,00 US\$	2

**Tabla 241**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	<b>2</b>
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Semiejes**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

Frecuencia de Fallas = 2
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 2
Impacto SAH = 2

$$(6 \times 2) + 2 + 2$$

$$12 + 2 + 2 = 16$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 2	Consecuencia = 16
----------------	-------------------

### Riesgo Componente Semiejes

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

### 6.3. Sistema Hidráulico

#### 6.3.1. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Levante Tolva, Componente Válvula Levante de Tolva

**Tabla 242**

**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	<b>2</b>
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 243**

**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	<b>2</b>

**Tabla 244**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 245**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 4000,00 US\$	4
Entre 1500,00 US\$ y menos de 4000,00 US\$	3
Menos de 1500,00 US\$	2

**Tabla 246**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Válvula Levante de Tolva

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 2
Impacto Operacional = 2
Flexibilidad = 1
Costo de Mantenimiento = 2
Impacto SAH = 0

$$\text{Consecuencia} = (2 \times 1) + 2 + 0$$

$$\text{Consecuencia} = 2 + 2 + 0 = 4$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 2	Consecuencia = 4
----------------	------------------

Riesgo Componente Válvula Levante de Tolva

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**6.3.2. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Levante Tolva, Componente Cilindro Levante de Tolva**

**Tabla 247**

**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 248**

**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 249**

**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 250**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 4000,00 US\$	4
Entre 1500,00 US\$ y menos de 4000,00 US\$	3
Menos de 1500,00 US\$	2

**Tabla 30**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Cilindro Levante de Tolva**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 4
Impacto Operacional = 10
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 3

Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (10 \times 2) + 3 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 20 + 3 + 2 = 25$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 4	Consecuencia = 25
----------------	-------------------

Riesgo Componente Cilindro Levante de Tolva

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

### 6.3.3. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Levante Tolva, Válvula Control de Levante

**Tabla 251**

**Frecuencia de Fallos**

Frecuencia de Fallos	Ponderación
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 252**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 253**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 254**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 4000,00 US\$	4
Entre 1500,00 US\$ y menos de 4000,00 US\$	3
Menos de 1500,00 US\$	2

**Tabla 255**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	<b>2</b>
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Válvula Control de Levante**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 4
Impacto Operacional = 10
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 2
Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (10 \times 2) + 2 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 20 + 2 + 2 = 24$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 4	Consecuencia = 24
----------------	-------------------

Riesgo Componente Válvula Control de Levante

<b>FRECUENCIA</b>	4	B	B	A	A	A
	3	B	B	B	A	A
	2	C	C	B	B	A
	1	C	C	C	B	A
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

6.3.4. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Levante Tolva, Componente Bomba Levante de Tolva

**Tabla 256**  
Frecuencia de Fallos

Frecuencia de Fallos	Ponderación
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 257**  
Impacto Operacional

Impacto Operacional	Ponderación
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 258**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 259**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 4000,00 US\$	4
Entre 1500,00 US\$ y menos de 4000,00 US\$	3
Menos de 1500,00 US\$	2

**Tabla 260**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Bomba Levante de Tolva

Sustituyendo los valores en la fórmula:

Frecuencia de Fallas = 4
Impacto Operacional = 10
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 2
Impacto SAH = 3

$$(10 \times 2) + 2 + 3$$

$$20 + 2 + 3 = 25$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 4	Consecuencia = 25
----------------	-------------------

Riesgo Componente Bomba levante de Tolva

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

#### 6.4. Sistema electrónico

##### 6.4.1. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Unidad de Control de Sensores, Componente Sensor Cámara de Presión

**Tabla 261**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	<b>2</b>
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 262**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	<b>6</b>
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 263**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	<b>2</b>
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 264**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 500,00 US\$	4
Entre 150,00 US\$ y menos de 500,00 US\$	3
Menos de 150,00 US\$	<b>2</b>

**Tabla 265**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	<b>2</b>
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Sensor Cámara de Presión

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 2
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 2
Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (6 \times 2) + 2 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 12 + 2 + 2 = 16$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 2	Consecuencia = 16
----------------	-------------------

Riesgo Componente Sensor Cámara de Presión

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**6.4.2. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Unidad de Control de Sensores,  
Componente Sensor Cámara de Velocidad**

**Tabla 266**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	<b>2</b>
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 267**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	<b>6</b>
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 268**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	<b>2</b>
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 269**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 500,00 US\$	4
Entre 150,00 US\$ y menos de 500,00 US\$	3
Menos de 150,00 US\$	2

**Tabla 270**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Sensor Cámara de Velocidad**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 2

Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 2

Consecuencia = (6x2)+3+2

Consecuencia = 12+3+2 = 17

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 17
----------------	-------------------

Riesgo Componente Sensor Cámara de Velocidad

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**6.4.3. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Unidad de Control de Sensores, Componente Sensor de Agua en el Combustible**

**Tabla 271**  
**Frecuencia de Fallos**

Frecuencia de Fallos	Ponderación
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	<b>2</b>
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 272**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 273**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 274**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 500,00 US\$	4
Entre 150,00 US\$ y menos de 500,00 US\$	3
Menos de 150,00 US\$	2

**Tabla 275**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	<b>2</b>
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Sensor de Agua en el Combustible**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 2
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 1
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (6 \times 1) + 3 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 6 + 3 + 2 = 11$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 2	Consecuencia = 11
----------------	-------------------

Riesgo Componente Sensor de Agua en el Combustible

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**6.4.4. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Unidad de Control de Sensores, Componente Sensor de Nivel de Combustible**

**Tabla 276**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 277**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 278**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 279**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 500,00 US\$	4
Entre 150,00 US\$ y menos de 500,00 US\$	3
Menos de 150,00 US\$	2

**Tabla 280**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Sensor Nivel de Combustible

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 3
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 1
Costo de Mantenimiento = 2
Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (6 \times 1) + 2 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 6 + 2 + 2 = 10$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 3	Consecuencia = 10
----------------	-------------------

Riesgo Componente Sensor Nivel de Combustible

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**6.4.5. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Unidad de Control de Sensores,  
Componente Sensor Nivel de Refrigerante**

**Tabla 281**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 282**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 283**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 284**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 500,00 US\$	4
Entre 150,00 US\$ y menos de 500,00 US\$	3
Menos de 150,00 US\$	2

**Tabla 30**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Sensor Nivel de Refrigerante**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) \\ + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 1
Impacto Operacional = 6

Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (6 \times 2) + 3 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 12 + 3 + 2 = 17$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 1	Consecuencia = 17
----------------	-------------------

Riesgo Componente Sensor Nivel de Refrigerante

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

#### 6.4.6. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Unidad de Control de Sensores, Componente Sensor Presión Atmosférica

Tabla 285

Frecuencia de Fallos

Frecuencia de Fallos	Ponderación
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 286**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 287**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 288**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 500,00 US\$	4
Entre 150,00 US\$ y menos de 500,00 US\$	3
Menos de 150,00 US\$	2

**Tabla 289**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	<b>2</b>
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Sensor Presión atmosférica**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 1
Impacto Operacional = 6
Flexibilidad = 1
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (6 \times 1) + 3 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 6 + 3 + 2 = 11$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 1	Consecuencia = 11
----------------	-------------------

Riesgo Componente Sensor Presión Atmosférica

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**6.4.7. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Unidad de Control de Sensores, Componente Sensor Presión de Combustible**

**Tabla 290**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 291**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 292**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 293**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 500,00 US\$	4
Entre 150,00 US\$ y menos de 500,00 US\$	3
Menos de 150,00 US\$	2

**Tabla 294**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

### Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Sensor Presión de Combustible

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 4
Impacto Operacional = 10
Flexibilidad = 2
Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 2

$$\text{Consecuencia} = (10 \times 2) + 3 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 20 + 3 + 2 = 25$$

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 4	Consecuencia = 25
----------------	-------------------

### Riesgo Componente Sensor Presión de Combustible

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**6.4.8. Análisis de criticidad para el Sub Sistema – Unidad de Control de Sensores,  
Componente Sensor Presión Riel de Combustible**

**Tabla 295**  
**Frecuencia de Fallos**

<b>Frecuencia de Fallos</b>	<b>Ponderación</b>
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 7 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1

**Tabla 296**  
**Impacto Operacional**

<b>Impacto Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta la Disponibilidad del equipo una bahía de trabajo y personal técnico	15
Afecta en el tiempo de detención del equipo en el PM	10
Se programa la detención y se cumple en los tiempos programados en el PM	6
No afecta a la detención del equipo	2

**Tabla 297**  
**Flexibilidad Operacional**

<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Ponderación</b>
El equipo no retoma actividad de Carguío excediendo el tiempo de PM	3
El Equipo entra a PM en el tiempo programado retomando actividades de Carguío	2
El equipo puede seguir en actividad de Carguío	1

**Tabla 298**  
**Costo de Mantenimiento**

<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Ponderación</b>
Más de 500,00 US\$	4
Entre 150,00 US\$ y menos de 500,00 US\$	3
Menos de 150,00 US\$	2

**Tabla 299**  
**Impacto SAH**

<b>Impacto SAH</b>	<b>Ponderación</b>
Afecta a la seguridad humana	5
Afecta al medio ambiente (daños reversibles)	4
Afecta instalaciones causando daños severos	3
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental dentro de normas	1
No provoca ningún daño	0

**Cálculo de Consecuencia y frecuencia para Componente Sensor Riel de Combustible**

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Impacto SAH}$$

Frecuencia de Fallas = 4
Impacto Operacional = 10
Flexibilidad = 2

Costo de Mantenimiento = 3
Impacto SAH = 2

Consecuencia = (10x2)+3+2

Consecuencia = 20+3+2 = 25

Matriz de Riesgo Final

Frecuencia = 4	Consecuencia = 25
----------------	-------------------

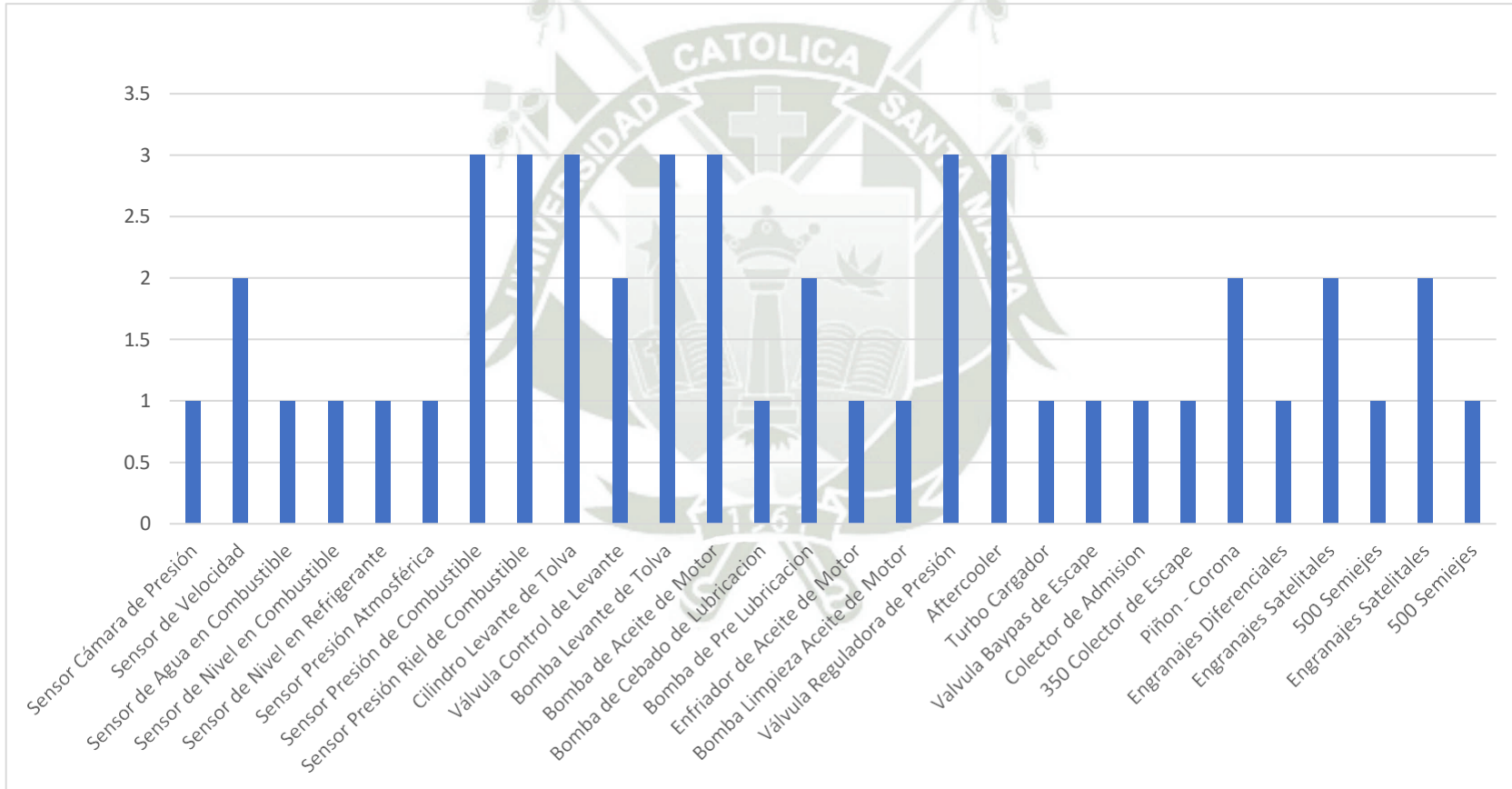
Riesgo Componente Sensor Riel de Combustible

<b>FRECUENCIA</b>	4	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	3	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
	2	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	1	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

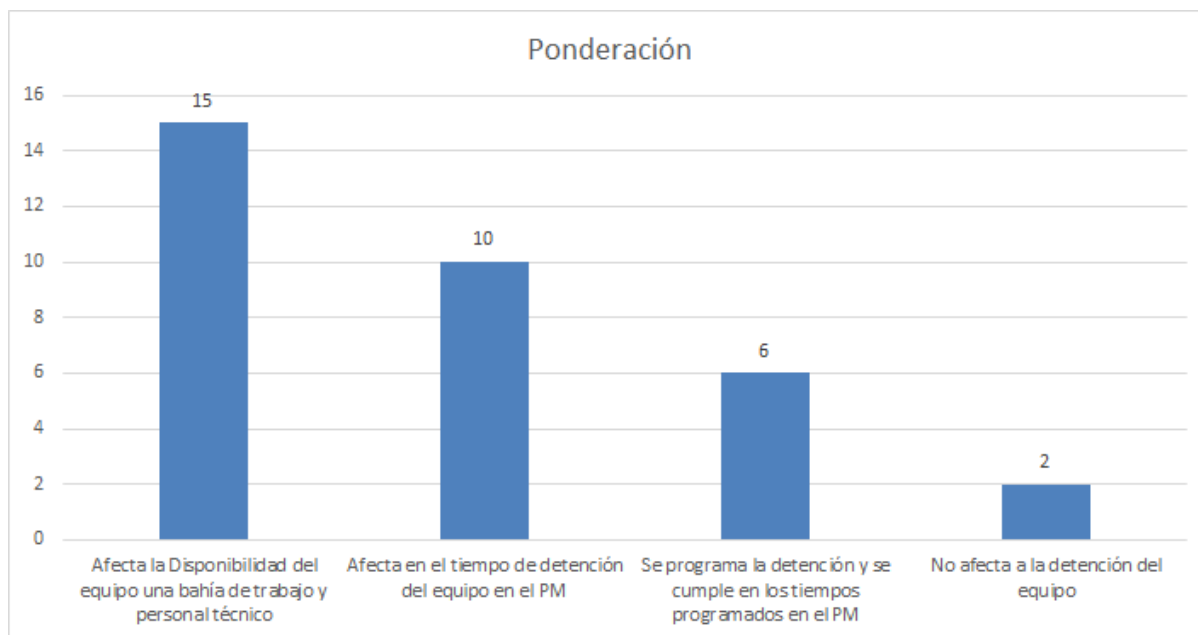
**Anexo 2**  
**Gráficos estadísticos**

**Figura 18**

**Frecuencia de los componentes según criticidad**



**Figura 19**  
**Muestra de ponderación**



La asignación de ponderaciones en esta tabla se justifica en función de la **relevancia operativa del impacto** que tiene cada evento sobre el sistema productivo. Se otorgan valores más altos a los casos en que la falla afecta directamente la disponibilidad del equipo, compromete infraestructura (como una bahía de mantenimiento) o requiere personal técnico adicional. Estas situaciones tienen consecuencias operativas significativas que pueden traducirse en costos elevados y pérdida de eficiencia productiva. Por ello, las ponderaciones son proporcionalmente más altas en función de la gravedad del impacto.

En contraste, los eventos programados o que no interfieren con la operatividad del equipo reciben puntuaciones menores, ya que no representan un riesgo crítico para la operación continua del equipo.